



UNIVERSITE PARIS DESCARTES, INSTITUT DE PSYCHOLOGIE

OCTOBRE 2013

ERGONOMIE POUR L'INNOVATION HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT PAR STEPHANIE BUISINE

COMPOSITION DU JURY :

- Pr. Améziane Ouassat, Arts et Métiers ParisTech (examinateur)
- Pr. Christian Bastien, Université de Metz (président)
- Pr. Nathalie Bonnardel, Aix-Marseille Université (rapporteur)
- Pr. Guy Boy, NASA et Florida Institute of Technology (examinateur)
- Pr. Todd Lubart, Université Paris Descartes (coordinateur)
- Pr. Jean-Claude Sagot, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (rapporteur)
- Pr. Bernard Yannou, Ecole Centrale Paris (rapporteur)

HABILITATION PREPAREE AU SEIN DU
LABORATOIRE CONCEPTION DE PRODUITS ET INNOVATION D'ARTS ET METIERS PARISTECH



REMERCIEMENTS

Les femmes travaillent en moyenne 1h28 de plus par jour que les hommes¹ car elles cumulent activités professionnelles et tâches domestiques. Heureusement certains hommes du 21^{ème} siècle nous aident à faire bouger ces statistiques et permettent aux femmes, en plus de leur travail et de leurs enfants, de passer des HDR (...et donc de travailler encore plus... il doit y avoir une faille dans mon raisonnement). Bref, j'ai la chance d'avoir un de ces hommes extraordinaires à la maison : merci infiniment, Fred, de t'occuper (presque) autant que moi des enfants. Merci infiniment, aussi, pour l'inspiration et les conseils que tu m'apportes au quotidien. Tout ça c'est grâce à toi.

Qu'est-ce qu'il faut d'autre pour l'HDR ? Ah oui, il faut un contenu à valoriser : Améziane, mille mercis pour ton soutien, pour nos co-directions, et pour toutes les responsabilités que tu m'as confiées, qui m'ont permis de me dépasser. Je mesure aujourd'hui tout le chemin que j'ai parcouru au LCPI, et je suis impressionnée.

Pour l'HDR il faut aussi une université d'accueil : quand j'ai demandé à Todd de parrainer ma candidature, il m'a expliqué (avec l'accent) « *Une HDR, c'est 50 pages : 25 pages de bilan, et 25 pages de projet* ». Waow, je n'ai pas réussi à écrire 25 pages de projet mais ce conseil m'a permis, lui aussi, de me dépasser et d'exprimer mon potentiel créatif : merci Todd, t'es vraiment super fort.

Merci aussi à tous les membres de mon jury, pour avoir accepté de lire et de commenter mes travaux. C'est un grand honneur pour moi d'avoir soutenu devant un aussi beau jury. Merci pour vos compliments, mais aussi pour vos très nombreuses questions qui m'ont ouvert autant de nouvelles perspectives : là c'est sûr, les 25 pages de projet, je pourrais les atteindre. Largement.

Merci aux étudiants et aux collègues dont les travaux sont cités dans ce mémoire, et en particulier Ornella, Marianne, Lara, Jérôme, Julien, Julie, Amandine et Jessy. Vous ne m'avez pas seulement apporté les briques de l'HDR, vous m'avez aussi beaucoup appris scientifiquement et humainement.

Merci enfin aux collègues et amis du LCPI : Fab, Fred 2, Fred 1, Nico, Christine, Sev, Ioana, Vince, Kerstin, Claude, les anciens, Pascal, Céline, et tous les autres, quel bonheur d'être à vos côtés tous les jours, quelle intarissable source d'inspiration. Merci encore.

¹ INSEE. (2010). Enquête emploi du temps 2009-2010.

SOMMAIRE

<u>CURRICULUM VITAE</u>	6
<u>INTRODUCTION AUX TRAVAUX DE RECHERCHE</u>	22
PREAMBULE	22
RESUME	25
INNOVATION INDUSTRIELLE	26
ERGONOMIE POUR L'INNOVATION	29
<u>PARTIE I : FAVORISER L'INVENTION</u>	35
CONCEPTION PILOTEE PAR L'ERGONOMIE	35
ERGONOMIE DES OUTILS DE CREATIVITE	41
PERSPECTIVES	46
<u>PARTIE II : FAVORISER LA RENCONTRE D'UN MARCHE</u>	50
ANALYSE PROSPECTIVE DES USAGES	50
NOUVELLES TECHNOLOGIES, NOUVELLES METHODES	55
PERSPECTIVES	63
<u>PROJET DE RECHERCHE</u>	66
PROJET ERGONOMIE / PSYCHOLOGIE	68
PROJET GENIE INDUSTRIEL	71
PROJET IHM / INFORMATIQUE	75
CONCLUSION GENERALE	78
<u>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	80
<u>ANNEXES</u>	88

CURRICULUM VITAE

OCTOBRE 2013

STEPHANIE BUISINE

Ingénieur de Recherche

Née le 3 février 1978, Nationalité française

Vie maritale, 2 enfants

Coordonnées :

Arts et Métiers ParisTech, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

LCPI – Laboratoire Conception de Produits et Innovation (EA 3927)

151 boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France

Tel. 01. 44. 24. 63. 77 ; Fax. 01. 44. 24. 63. 59

stephanie.buisine@ensam.eu

FORMATION

2006 : Qualification CNU section n°16, Psychologie.

2005 : **Doctorat de Psychologie cognitive – Ergonomie**, Université de Paris 5, Félicitations du jury.

Jury : F. Détienne, Directrice de Recherche en Ergonomie, INRIA (rapporteur)
A. Lancry, Professeur de Psychologie, Université de Picardie (président)
JC. Martin, Maître de Conférences en Informatique, LIMSI-CNRS (co-directeur)
C. Pelachaud, Professeur d’Informatique, Université de Paris 8 (rapporteur)
JC. Sperandio, Professeur d’Ergonomie, Université de Paris 5 (directeur)
M. Wolff, Maître de Conférences HDR en Ergonomie, Université de Paris 5 (examinateuse)

2002 : DESS d’Ergonomie, Université de Paris 5, mention Bien, majore de promotion.

2001 : DEA de Psychologie, Université de Lille 3, mention Très Bien, majore de promotion.

1996-2000 : DEUG, Licence, Maîtrise de Psychologie, Université de Lille 3, mention Bien.

1996-1998 : DEUG de Philosophie, Université de Lille 3, mention Assez Bien.

POSTES OCCUPÉS

Depuis 2005 : Ingénieur de Recherche, Arts et Métiers ParisTech, LCPI.

2004-2005 : Attachée Temporaire d’Enseignement et de Recherche, Arts et Métiers ParisTech, LCPI.

2002-2005 : Doctorante CNRS, LIMSI-CNRS – Laboratoire d’Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l’Ingénier (UPR 3251).

1999-2001 : Etudiante en Maîtrise puis DEA, Université de Lille 1, Laboratoire de Neurosciences du Comportement.

PROJETS DE RECHERCHE NATIONAUX

ANR-CREATIVENESS (2013-2016) : Créativité collective en environnement virtuel, médiatisée par des avatars.

Partenariat : LATI Université Paris Descartes, PsyCLE Aix-Marseille Université, LCPI. Post-doc de Jérôme Guegan.

Institut Carnot ARTS (2012-2014) : Projet FUSION (Futurs USages Input/Output et Neurotechnologies), post-doc d'Amélie Afonso. Création d'une plateforme technologique et méthodologique en analyse des usages.

Contrat doctoral (2011-2014) : Projet de thèse de Jessy Barré « Vers de nouveaux outils pour l'ergonomie de prospection ».

Contrat doctoral (2007-2011) : Projet de thèse de Julien Nelson « Contribution à l'analyse prospective des usages dans les projets d'innovation ».

ANR-BUIS (Boîtier Utilisateur Intelligent et Simple, 2006-2009) : Agents intelligents pour la télévision interactive, analyse des usages à distance. Partenariat : LIP6, Iwedia Technologies, LIMSI-CNRS.

ANR-DigiTable (2006-2008) : Créativité collaborative sur table interactive. Partenariat : Orange Labs, IntuiLab, LIG, LIMSI-CNRS, Université de Bretagne Sud, LCPI.

AFM – Association Française contre les Myopathies (2005-2011) : Projet de thèse d'Ornella Plos « Innover pour et par le handicap. Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche : Application au marché du handicap moteur ».

ANR RNRT-TVi (2002-2004) : La télévision interactive de demain, conception d'une interface multimodale, conception de services. Partenariat : LCPI, LIMSI-CNRS, Medialive.

RELATIONS INTERNATIONALES

Projet Européen NICE (Natural Interactive Communication for Edutainment, 2002-2005) : Conception d'un jeu éducatif sur les contes d'Andersen. Conception d'agents conversationnels animés, interface multimodale bidirectionnelle.

Partenariat : NIS-Lab (Danemark), Teliasonera (Suède), Liquid Media (Suède), Philips / Scansoft (Allemagne), LIMSI-CNRS (France).

Séjour de recherche au NIS-Lab (Natural Interactive System Laboratory) Université d'Odense (Danemark), Pr. Niels Ole Bernsen, avril 2004.

Séjour de recherche chez Teliasonera (Suède), Pr. Joakim Gustafson & Dr Anders Lindström, décembre 2004.

PRIX ET DISTINCTIONS

Prix « Coup de cœur » des Trophées du Grand Âge et du Bien Vieillir 2013 (projet Alzheimer avec l'AP-HP).

Prix de « l'Innovation technique au service des patients » des Trophées APinnov 2013 (projet Alzheimer avec l'AP-HP).

Prix de recherche et d'innovation Charles Foix 2010 (projet Alzheimer avec l'AP-HP).

Prix de recherche et d'innovation Charles Foix 2006 (projet Adap'table avec l'AFM).

Prix Noblanc 2006 du meilleur projet ANR (projet DigiTable).

Best paper award Conférence Intelligent Virtual Agents 2006.

Best paper award Colloque Conférence 2006, 2009, 2011.

Bourse d'étude sur critères universitaires 2001.

RESPONSABILITES SCIENTIFIQUES ET ADMINISTRATIVES

Coordination pédagogique : Depuis 2005, je coordonne le Master 2 Recherche *Innovation Conception Ingénierie (ICI)* d'Arts et Métiers ParisTech (20-25 étudiants par an, promotions pluridisciplinaires), ce qui inclut les tâches suivantes : recrutement des étudiants, organisation des enseignements (150 h), prospection industrielle pour les projets de recherche, organisation des événements pédagogiques (séminaires, projets pédagogiques, examens, soutenances, jurys, etc.).

Actions remarquables :

- Mise en place d'un séminaire annuel de 2 jours rassemblant étudiants et enseignants pour travailler sur les problématiques de recherche dans un contexte convivial.
- Création d'un colloque annuel sur l'innovation, à destination des acteurs socioéconomiques.
- Mise en place d'un atelier méthodologique (équipement d'une salle avec 15 PC et logiciels et conception, TDC Need et TDC Structure de Knowlence, CREAQ, Question Data et Statbox Pro de Grimmersoft, CAPTIV de TEA Ergo) ainsi que d'un TD de 3h sur ces outils.
- Mise en place d'un partenariat avec l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts Appliqués et des Métiers d'Art (Olivier de Serres) dans le cadre des projets pluridisciplinaires pédagogiques (projets industriels de 5 semaines).

Depuis 2013, je coordonne également le Mastère Spécialisé *Manager l'innovation et le développement d'activité* (490 h) accrédité par la Conférence des Grandes Ecoles, en co-habilitation avec l'école d'ingénieurs du CESI. J'ai également participé au montage du dossier d'accréditation.

Expertise scientifique :

- **Jurys et comités de thèse :**
 - Examinatrice dans le jury de thèse d'Emilie Loup-Escande : « Vers une conception centrée sur l'utilité : Une analyse de la co-construction participative et continue des besoins dans le contexte des technologies émergentes », sous la direction de S. Richir, H. Christofol (Arts et Métiers ParisTech) et JM. Burkhardt (Université Paris Descartes), décembre 2010.
 - Examinatrice dans le jury de thèse de Ning Tan : « Posture and space in virtual characters : Application to ambient interaction and affective interaction », sous la direction de JC. Martin et Y. Bellik (LIMSI-CNRS), janvier 2012.
 - Membre du comité de thèse d'Anne-Marie Hébert : « Design activities and interactional mechanisms : An ethnographic study of a musical video game design », sous la direction de F. Détienne et C. Licoppe (Télécom ParisTech), juin 2010.
 - Membre du comité de thèse de Julie Marlier : « Rôle des TIC dans l'engagement des jeunes au débat public territorial », sous la direction de B. Conein (Université de Nice Sophia Antipolis) et N. Ferrand (Cemagref Montpellier), février 2010.
- **Expert ANR** pour les appels à projets CONTINT (Contenus et Interactions), TECSAN (Technologies pour la Santé et l'Autonomie), INOV (Sociétés Innovantes) et Programme Blanc 2009, 2011, 2012, 2013.
- **Expert pour la Swiss National Science Foundation**, appel à projets 2012.
- **Expert pour le conseil régional d'Aquitaine**, appel à projets 2006.
- **Expertise de plus de 100 articles** pour les revues et conférences suivantes :
 - Revues : Interacting with Computers, International Journal of Human-Computer Studies, Journal on Multimodal User Interfaces, Computers in Human Behavior, Co-Design, International Journal of Design Creativity and Innovation, International Journal of Design and Innovation Research, Interfaces Numériques, Technique et Science Informatiques, International Journal of Product Development, Human Technology, Journal of Computer Assisted Learning, La Recherche (dans le cadre du « Prix La Recherche »)

- Conférences : CHI – International Conference on Human Factors in Computing Systems ; IHM – Conférence francophone sur l’Interaction Homme-Machine ; Intelligent Virtual Agents ; Interactive Tabletop and Surfaces ; ErgoIHM ; International Conference on Engineering Design ; International Conference on Universal Design ; Knowledge, Information and Creativity Support Systems ; Tangible Embedded and Embodied Interaction ; International Conference on Multimodal Interaction ; Language Resources and Evaluation ; Workshop sur les Agents Conversationnels Animés ; Engineering Systems Design and Analysis

Organisation de rencontres scientifiques :

- Confere 2014 – Colloque francophone sur les sciences de l’innovation,
- Confere 2012 (Venise, Italie),
- Confere 2006 (Marrakech, Maroc),
- Colloque innovation 2013 « TRIZ success stories » (Arts et Métiers ParisTech, Paris),
- Colloque innovation 2012 « Innovation et Santé » (Arts et Métiers ParisTech, Paris),
- Colloque innovation 2011 « Luxe et Innovation » (Arts et Métiers ParisTech, Paris),
- Colloque innovation 2010 « L’innovation en réseau » (Arts et Métiers ParisTech, Paris),
- Workshop ErgoIA 2013, animation d’un atelier de brainstorming sur table interactive pendant 2 jours (DGA, Bagneux),
- Workshop sur les Agents Conversationnels Animés 2010 (Lille),
- Atelier « Tables interactive » à la conférence IHM 2007 (Paris),
- Journée des Doctorants 2003 (LIMSI-CNRS, Orsay),
- Student Volunteer CHI 2004 (Vienne, Autriche).

Responsabilité de contrats :

- **Projets ANR** : Responsable scientifique pour le LCPI Arts et Métiers ParisTech pour les projets CREATIVENESS (budget 114 k€) et DigiTable (budget 112 k€).
- **Projet Institut Carnot ARTS** : Responsable technique du projet FUSION (budget 315 k€).
- **Projets industriels** : Responsable scientifique de nombreux projets d’innovation en milieu industriel, de 1 à 6 mois, pour un chiffre d’affaire total de 410 k€ (en moyenne 46 k€ / an) : Association Française contre les Myopathies, Assistance Publique – Hôpitaux de Paris, Fondation SFR-Cegetel, Cartier Lunettes, Cartier Joaillerie, QOOQ / UNOWHY, Orfidée / Ubiquiet, Tactineo, Biomérieux, Sysnav, Université de Technologie de Compiègne, Rougier & Plé, Visimmo 3D, Kalenji, Via Noveo, Cité scolaire de Louhans, Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, OGF, Elyo-Suez, L’Oréal, Volfonni, Siemens, CLAAS Renault Agriculture, Saint-Gobain Vetrotex International, Nexter...

Participation à la vie du laboratoire :

- Refonte du site internet du LCPI (2012)
- Réalisation de la plaquette (hors graphisme) du LCPI (2011)
- Réalisation des plaquettes « Recherche et Innovation » (hors graphisme) du LCPI (2011)
- Représentante des doctorants à la Commission Doctorants du LIMSI-CNRS (2004-2005)
- Webmaster du site intranet des doctorants du LIMSI (2004-2005)

ENCADREMENT

Encadrement postdoctoral :

- Jérôme Guegan (2013-2014), Créativité médiatisée par des avatars, financement ANR projet CREATIVENESS.
- Amandine Afonso (2012-2014), projet FUSION (Futurs Usages Input/Output et Neurotechnologies) financé par l’Institut Carnot ARTS.

Encadrement doctoral (à 50% avec Améziane Ouassat) :

- Jessy Barré (2011-2014), Vers de nouveaux outils pour l’ergonomie de prospection, contrat doctoral (en cours).
- Julien Nelson (2007-2011) « Contribution à l’analyse prospective des usages dans les projets d’innovation », contrat doctoral (thèse soutenue en juin 2011). Aujourd’hui Maître de Conférences à l’Université Paris Descartes.
- Ornella Plos (2005-2011) « Innover pour et par le handicap. Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche : Application au marché du handicap moteur », thèse financée par l’Association Française contre les Myopathies (soutenue en février 2011). Aujourd’hui Ergonome à la Caisse d’Assurance Retraite et de SAnté au Travail Nord Picardie.

Encadrement pré-doctoral :

En 9 ans au LCPI, j’ai encadré l’équivalent de 38,5 étudiants niveau M2 (et 2 étudiants niveau M1 auparavant).

Année	Sujet et financement	Niveau	Taux
2012/13	Conception d’une plateforme de créativité en monde virtuel ; Projet ANR-CREATIVENESS	M2 Innovation	1*50%
2012/13	Conception et évaluation de tablettes tactiles pour l’éducation ; QOOQ / UNOWHY	M2 Innovation	1*100%
2012/13	Technologies persuasives pour la modification des habitudes alimentaires ; QOOQ / UNOWHY	M2 Innovation	1*100%
2012/13	Analyse des besoins en conception innovante	M2 Innovation	1*100%
2012/13	Intégration de technologies de localisation dans des produits pour véhicules et pour piétons ; SYSNAV	M2 Innovation	1*100%
2012/13	Allier stratégie d'accès au marché et ingénierie pour concevoir l'innovation ; Via Noveo	M2 Innovation	<rec0%
2012/13	Qualification d'un produit innovant ; Doris Engineering	M2 Innovation	1*100%
2011/13	Conception d'une gamme d'appareils de fitness accessibles aux personnes à mobilité réduite ; Body Boomers	M2 Innovation	2*50%
2010/13	Ergonomie et innovation dans le domaine de la lunetterie ; Cartier Lunettes	M2 Innovation	3*100%
2011/12	Pilotage de projets d'innovation ; Cartier Joaillerie	M2 Innovation	1*100%
2011/12	Mise en place d'une stratégie de management des idées ; Siemens	M2 Innovation	1*50%
2011/12	Structuration du département conception de produits ; Volfonni	M2 Innovation	1*100%
2011/12	Illusion et packaging ; L'Oréal	M2 Innovation	1*100%
2011/12	Eco-conception d'un désinfecteur pour le domicile ; ADEME	M2 Innovation	1*50%
2009/11	Table interactive de collaboration ; Département CIRD Arts et Métiers ParisTech	M2 Innovation	2*100%
2009/11	Support d'activités sensorimotrices et cognitives pour patients atteints de la maladie d'Alzheimer ; AP-HP	M2 Innovation	2*50%
2010/11	Captiver les visiteurs de salons virtuels 3D ; Visimmo 3D	M2 Innovation	1*100%
2010/11	Innover dans le secteur des beaux arts et loisirs créatifs ; Rougier & Plé Graphigro	M2 Innovation	1*50%
2009/10	Table tactile interactive pour la conception préliminaire collaborative ; UTC	M2 Innovation	1*100%

2009/10	Visualisation et manipulation de données sur interface multi-touch ; Tactineo	M2 Innovation	1*100%
2008/10	Intégration et évaluation d'agents animés ; Projet Autisme, LIMSI-CNRS	M2 Innovation	2*100%
2009/10	Optimisation d'un prototype d'analyse d'œuvres d'art ; C2RMF, Le Louvre	M2 Innovation	1*50%
2006/09	Analyse des usages en conception : Application à la télévision interactive ; Projet ANR-BUIS	M2 Innovation	3*100%
2008/09	Bureau à ergonomie variable pour personne à mobilité réduite ; Lycée Léonard de Vinci	M2 Innovation	1*50%
2008/09	L'intégration de l'ergonomie et du marketing en conception	M2 Innovation	1*100%
2007/08	Conception d'un terminal d'accès ergonomique aux nouvelles technologies ; MG Concept	M2 Innovation	1*100%
2005/07	Table interactive pour le travail collaboratif : Application à la créativité ; Projet ANR DigiTable	M2 Innovation	3*100%
2006/07	Elaboration d'une méthodologie de validation anthropocentré adaptée au processus de conception ; CLAAS Renault Agriculture	M2 Innovation	1*100%
2006/07	Interaction de l'ergonomie avec les autres métiers dans un projet de conception ; Nexter	M2 Innovation	1*100%
2005/06	Conception d'un jouet multimédia innovant ; Porteur de projet	M2 Innovation	1*50%
2005/06	Comparaison Axiomatic Design et Méthode de Conception de Produits Nouveaux pour la conception d'un simulateur biomécanique ; La Filière FFSA	M2 Innovation	1*100%
2005/06	Matérialisation d'un nouveau concept d'IHM pour l'automobile ; Valeo	M2 Innovation	1*50%
2004/05	Adaptation de terminaux mobiles pour les personnes en situation de handicap ; Fondation SFR-Cegetel	M2 Innovation	2*100%
2004/05	Reconception d'un joystick ; JVLEC	M2 Innovation	1*50%
2004/05	Intégration de la dimension sécurité pour la conception de machines ; Saint-Gobain Vetrotex international	M2 Innovation	1*100%
2003/04	Evaluation expérimentale d'agents conversationnels multimodaux ; Projet européen NICE	M1 Psychologie	2*50%
2003/04	Analyse du comportement multimodal ; Projet européen NICE	M1 Psychologie	1*50%
2002/03	IHM multimodale pour la télévision interactive ; Projet ANR TVi	M1 Informatique	1*50%

ENSEIGNEMENT

Je réalise environ 70h eqTD d'enseignement par an à Arts et Métiers ParisTech (Ergonomie et Formation à la Recherche). J'ai également réalisé 77h eqTD (Ergonomie et Statistiques) dans d'autres établissements.

Cours magistraux d'Ergonomie à Arts et Métiers ParisTech :

- **En moyenne 24h de CM par an depuis 9 ans (2004-2013)**
- Cursus :
 - M2 Recherche Innovation Conception Ingénierie,
 - M2 Formation d'ingénieur UE Développement de Produits,
 - Formation doctorale
 - M2 Recherche Knowledge Integration in Mechanical Production (cours en Anglais)
 - M1 International (cours en Anglais)

- Contenus :
 - Introduction à l'ergonomie (concepts généraux, méthodes, exemples de produits)
 - Conception centrée utilisateur, processus d'intervention
 - Ergonomie de conception (analyse des usages, conception universelle)
 - Ergonomie IHM : logiciel et web (heuristiques, méthodes d'inspection)
 - Ergonomie des interfaces avancées et multimodales (analyse du comportement, simulation)
 - Ergonomie du poste de travail (analyse de l'activité, TMS, anthropométrie)
 - Techniques d'ergonomie (prototypage papier, annotation vidéo, recueil d'observables)
 - Notions de psychométrie (construction d'un questionnaire, sensibilité, fidélité)
 - Notions de statistiques (descriptives, inférentielles, non paramétriques, factorielles)

Travaux dirigés d'Ergonomie et de méthodologie de Conception à Arts et Métiers ParisTech :

- En moyenne 21h de TD par an depuis 9 ans (2004-2013)
- M2 Recherche Innovation Conception Ingénierie
- Contenu :
 - Atelier d'Ergonomie dans le cadre des Projets Pluridisciplinaires Pédagogiques, sur des cas industriels réels. Enquête d'usage, maquettage low-fi et hi-fi, tests utilisateurs...
 - Atelier méthodologique généraliste sur PC : Analyse Fonctionnelle Externe sur TDC Need, SADT sur TDC Structure de Knowlence, annotation vidéo sur CAPTIV de TEA Ergo, TRIZ sur CREAX, questionnaire sur Question Data et Statbox Pro de Grimmerson.

Formation à la Recherche à Arts et Métiers ParisTech :

- M2 Recherche Innovation Conception Ingénierie : 6h de CM, 4h de TD (dans le cadre de séminaires)
- Contenu : Identification d'une problématique de recherche, rédaction d'un état de l'art, rédaction d'un protocole expérimental

Cours magistraux d'Ergonomie dans d'autres établissements :

- M2 Professionnel d'Ergonomie, Université de Paris Sud-11, 3h de CM (2005-2008)
- M2 Réseau Multimédia Internet, Univ. La Réunion (cours en visioconférence), 10h de CM (2002-2003)
- MS Management Stratégique du Changement par l'Innovation, Pôle Méditerranéen de l'Innovation, 6h de CM (2005-2006)
- M2 Professionnel Nouvelles Technologies et Handicap, Université de Paris 8, 5h de CM (2004-2006)
- M2 Recherche en Informatique, Université de Paris Sud-11, 1h30 de CM (2003-2004)

Travaux dirigés de Statistiques :

- L1 et L2 de Psychologie, Université de Paris 5, 39h de TD (2003-2004)
- Contenu : Protocoles et variables, indices descriptifs, inférence statistique, loi normale, décomposition et analyse de la variance, T de Student, corrélation et régression linéaires, Khi²

Formations professionnelles :

- Formation à l'Ergonomie pour L'OREAL (2013)
- Formation à la créativité pour l'ANVIE, Sciences Humaines et Entreprises (2013)

PUBLICATIONS

LEGENDE :

***PUBLICATIONS INDEXEES DANS LES BASES ISI, PsycINFO ou ERGONOMICS ABSTRACTS ;

ETUDIANTS AYANT TRAVAILLE SOUS MON ENCADREMENT DIRECT

REVUES

1. ***Nelson, J., Buisine, S., Auissat, A., Gazo, C. (accepté). Generating prospective scenarios of use in innovation projects. *Le Travail Humain*, numéro spécial “Ergonomie prospective”.
2. ***Afonso, A., Buisine, S., Barré, J., Auissat, A., Vernier, F. (sous presse). Trains of thought on the tabletop: Visualizing association of ideas improves creativity. *Personal and Ubiquitous Computing*.
3. ***Buisine, S., Courgeon, M., Charles, A., Clavel, C., Martin, J.C., Tan, N., Grynszpan, O. (sous presse). The role of body posture in the recognition of emotion in contextually-rich scenarios. *International Journal of Human-Computer Interaction*.
4. ***Nelson, J., Buisine, S., Auissat, A. (sous presse). Anticipating the use of future things: Towards a framework for prospective use analysis in innovation design projects. *Applied Ergonomics*.
5. ***Plos, O., Buisine, S., Auissat, A., Mantelet, F., Dumas, C. (2012). A Universalist strategy for the design of Assistive Technology. *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 42, pp. 533-541.
6. ***Schmitt, L., Buisine, S., Chaboissier, J., Auissat, A., Vernier, F. (2012). Dynamic tabletop interfaces for increasing creativity. *Computers in Human Behavior*, vol. 28, pp. 1892-1901.
7. ***Nelson, J., Buisine, S., Auissat, A. (2012). A methodological proposal to assist scenario-based design in the early stages of innovation projects. *Le Travail Humain*, vol. 75, pp. 279-305.
8. ***Buisine, S., Besacier, G., Auissat, A., Vernier, F. (2012). How do interactive tabletop systems influence collaboration? *Computers in Human Behavior*, vol. 28, pp. 49-59.
9. ***Buisine, S., Wang, Y., Grynszpan, O. (2010). Empirical investigation of the temporal relations between speech and facial expressions of emotion. *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 3, pp. 263-270.
10. Buisine, S.. (2010). Quantitative assessment of collaboration. *International Reports on Socio-Informatics*, vol. 7 (special issue), pp. 32-39.
11. Nelson, J., Buisine, S., Auissat, A. (2009). Assisting designers in the anticipation of future product use. *Asian International Journal of Science and Technology - Production and Manufacturing Engineering*, vol. 2, pp. 25-39.
12. ***Buisine, S., Martin, J.C. (2007). The effects of speech-gesture cooperation in animated agents' behavior in multimedia presentations. *Interacting with Computers*, vol. 19, pp. 484-493.
13. Buisine, S., Hartmann, B., Mancini, M., Pelachaud, C. (2006). Conception et évaluation d'un modèle d'expressivité pour les gestes des agents conversationnels. *Revue d'Intelligence Artificielle*, vol. 20, pp. 621-638.
14. ***Martin, J.C., Buisine, S., Pitel, G., Bernsen, N.O. (2006). Fusion of children's speech and 2D gestures when conversing with 3D characters. *Signal Processing*, vol. 86, pp. 3596-3624.
15. ***Martin, J.C., Niewiadomski, R., Devillers, L., Buisine, S., Pelachaud, C. (2006). Multimodal complex emotions: Gesture expressivity and blended facial expressions. *International Journal of Humanoid Robotics*, vol. 3, pp. 269-292.
16. ***Navetour, J., Buisine, S., Gruzelier, J.H. (2005). The influence of anxiety on electrodermal responses to distractors. *International Journal of Psychophysiology*, vol. 56, pp. 261-269.

17. ***Reeves, L.M., Lai, J., Larson, J.A., Oviatt, S., Balaji, T.S., Buisine, S., Collings, P., Cohen, P., Kraal, B., Martin, J.C., McTear, M., Raman, T.V., Stanney, K.M., Su, H., Wang, Q.Y. (2004). Guidelines for multimodal user interface design. *Communications of the ACM*, vol. 47(1), pp. 57-59.
18. Hot, P., Buisine, S., Navetuer, J., Leconte, P., Sequeira, H. (2000). Diurnal variation of electrodermal activity in morning- and evening-type subjects (abstract). *Journal of Psychophysiology*, 14, s44.

PUBLICATIONS SOUMISES

1. ***Barré, J., Afonso, A., Buisine, S., Auossat, A. (soumis). L'imagerie cérébrale et la conception de produit : Vers de nouveaux outils d'évaluation. *Le Travail Humain*.
2. ***Maranzana, N., Segonds, F., Buisine, S., Mantelet, F. (soumis). Collaborative design tools: A comparison between free software and PLM solutions in engineering education. *International Journal of Technology and Design Education*.

BREVETS

1. Banoun, B., Mantelet, F., Buisine, S. (2012). Kit de biberons gigognes. FR 2012/51867 (extension US en cours).
2. Roosen, C., Inacio, E., Buisine, S., Maranzana, N. (2010). Tableau de manipulation pour patients atteints de la maladie d'Alzheimer. FR 2010/0055754 et WO 2012/007484.

CHAPITRES D'OUVRAGES

1. Buisine, S., Plos, O., Auossat, A. (2011). La conception universelle, inclusive (fiche pratique). Déployer l'innovation, Paris : Techniques de l'Ingénieur.
2. Buisine, S., Plos, O., Auossat, A. (2011). Innovons pour les personnes en situation de handicap (fiche pratique). Déployer l'innovation, Paris : Techniques de l'Ingénieur.
3. Turner, W.A., Buisine, S., Ganascia, J.G., Eveque, L., Fouladi, K., Marlier, J., Retamales, M. (2010). La conception innovante des objets à intelligence incorporée. In: J.M. Noyer, B. Juanals (Eds.), Les technologies intellectuelles au cœur de la transformation socio-technique, Paris : Lavoisier Hermès Science.
4. Buisine, S., Martin, J.C. (2010). The influence of user's personality and gender on the processing of virtual agents' multimodal behavior. In: A.M. Columbus (Ed.), Advances in Psychology Research, vol. 65: The Psychology of Extraversion, Chapter 14, pp. 289-302, New York: Nova Science Publishers.
5. Buisine, S., Roussel, B. (2008). Analyse de l'usage. In: B. Yannou, H. Christofol, D. Jolly, N. Troussier (Eds.), La conception industrielle de produits, vol. 3: Ingénierie de l'évaluation et de la décision, Chapitre 2, pp. 43-60, Paris : Lavoisier Hermès Science.
6. ***Buisine, S., Abrilian, S., Martin, J.C. (2004). Evaluation of Multimodal Behaviour of Embodied Agents. In: Zs. Ruttkay, C. Pelachaud (Eds.), From Brows to Trust: Evaluating Embodied Conversational Agents, Chapter 8, pp. 217-238, Kluwer Academic Publishers.

CONFERENCES AVEC ACTES ET COMITE DE LECTURE

1. Courgeon, M., Grynszpan, O., Buisine, S., Martin, J.C. (2012). Interactive expressive virtual characters: Challenges for conducting experimental studies about multimodal social interaction. ICDVRAT 2012 International Conference Series on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies.
2. Kendira, A., Jones, A., Lehoux, G., Gidel, T., Buisine, S., Lenne, D. (2010). Project Tatin: Creativity and collaboration during a preliminary product design session using an interactive tabletop surface. IDMME Virtual Concept 2010, pp. 158-164.

3. Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (2010). Creativity as a tool for prospective use analysis in the design of innovative products. ErgoIA 2010 Colloque francophone sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée, pp. 162-169, ACM Press.
4. Buisine, S., Fouladi, K., Nelson, J., Turner, W. (2010). Optimiser le processus d'innovation grâce aux traces informatiques d'usages. IC'2010 Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, pp. 145-156.
5. ***Courgeon, M., Buisine, S., Martin, J.C. (2009). Impact of expressive wrinkles on perception of a virtual character's facial expressions of emotions. In: Zs. Ruttkay et al. (Eds.): IVA'09, International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNAI 5773, pp. 201-214, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
6. ***Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A., Duchamp, R. (2009). Elaboration of innovative safety equipment concepts for infants. ICED 2009 International Conference on Engineering Design, vol. 9, pp. 103-114.
7. Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (2009). Design in use: Some methodological considerations. CIRP 2009 International Conference on Manufacturing Systems (full paper), 7p.
8. Nelson, J., Weber, A., Buisine, S., Aoussat A., Duchamp R. (2008). L'analyse des besoins pour la conception de produits destinés aux jeunes enfants : Le cas des équipements de protection individuelle. ErgoIA'08 Colloque francophone sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée (poster), 2p.
9. ***Buisine, S., Aoussat, A., Martin, J.C. (2007). Embodied Creative Agents: A social-cognitive framework. In: C. Pelachaud et al. (Eds.): IVA'07 International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNAI 4722, pp. 304-316, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
10. ***Buisine, S., Besacier, G., Najm, M., Aoussat, A., Vernier, F. (2007). Computer-supported creativity: Evaluation of a tabletop mind-map application. In: D. Harris (Ed.): Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, HCII 2007, LNAI 4562, pp. 22-31, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
11. ***Besacier, G., Rey, G., Najm, M., Buisine, S., Vernier, F. (2007). Paper metaphor for tabletop interaction design. In: J. Jacko (Ed.): Human-Computer Interaction, Part II, HCII 2007, Lecture Notes in Computer Science 4551, pp. 758-767, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
12. Plos, O., Buisine, S., Aoussat, A., Dumas, C. (2007). Analysis and translation of user needs for assistive technology design. ICED'07 International Conference on Engineering Design (full paper), 12p.
13. ***Plos, O., Buisine, S., Dupin, M., Aoussat, A., Dumas, C. (2007). Universal Design : Proposition d'une nouvelle approche appliquée à la conception d'une table adaptative. Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française, pp. 339-348.
14. ***Buisine, S., Abrilian, S., Niewiadomski, R., Martin, J.C., Devillers, L., Pelachaud, C. (2006). Perception of blended emotions: From video corpus to expressive agent. In: J. Gratch et al. (Eds.): IVA'06 International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNAI 4133, pp. 93-106, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. **Best Paper Award**
15. Plos, O., Buisine, S. (2006). Universal design of mobile phones: A case study. CHI'06 International Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1229-1234, ACM Press.
16. Evrard, H., Buisine, S., Duchamp, R. (2006). Assessment of the respective benefits of 'axiomatic design' and 'new products design method' for the design of a biomechanical simulator. ICAD'06 International Conference on Axiomatic Design (full paper), 8p.
17. Plos, O., Buisine, S. (2006). Décomposition Multimodale de l'Activité : Vers un outil d'aide à la conception. ErgoIA'06 Colloque francophone sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée (full paper), 7p.
18. Buisine, S., Martin, J.C. (2005). Children's and adults' multimodal interaction with 2D conversational agents. CHI'05 International Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1240-1243, ACM Press.

19. Buisine, S., Martin, J.C., Bernsen, N.O. (2005). Children's gesture and speech in conversation with 3D characters. HCII'05 Human Computer Interaction International (full paper), 10p.
20. Abrilian, S., Devillers, L., Buisine, S., Martin, J.C. (2005). EmoTV1: Annotation of real-life emotions for the specification of multimodal affective interfaces. HCII'05 Human Computer Interaction International (full paper), 10p.
21. Buisine, S., Martin, J.C. (2005). Conception d'une interface multimodale à partir des comportements utilisateurs. CPI'05 Colloque francophone Conception et Production Intégrées (full paper), 15p.
22. Hartmann, B., Mancini, M., Buisine, S., Pelachaud, C. (2005). Design and evaluation of expressive gesture synthesis for embodied conversational agents. AAMAS'05 International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (poster), pp. 1095-1096, ACM Press.
23. Buisine, S., Martin, J.C. (2003). Experimental evaluation of bi-directional multimodal interaction with conversational agents. INTERACT'03 International Conference on Human Computer Interaction (full paper), pp. 168-175, IFIP, IOS Press.
24. Abrilian, S., Martin, J.C., Buisine, S. (2003). Algorithms for controlling cooperation between output modalities in 2D Embodied Conversational Agents. ICMI'03 International Conference on Multimodal Interfaces (poster), pp. 293-296, ACM Press.

CONFERENCES INVITEES

1. Buisine, S. (2013). Technologies de créativité en groupe. Séminaire Euromime, Université de Poitiers.
2. Buisine, S. (2013). La place de l'ergonomie dans les projets d'innovation. Colloque de l'ADEO (Association des Ergonomes d'Orsay), Orsay.
3. Buisine, S. (2012). Créativité 2.0 grâce aux interfaces innovantes. Conférence plénière à ErgolHM, Conférence conjointe sur l'Ergonomie et l'Interaction Homme-Machine, Biarritz.
4. Buisine, S. (2012). Conception universelle de produits et de technologies pour l'autonomie. Urbaccess, Salon européen de l'accessibilité et de la conception universelle. CNIT La Défense, Paris.
5. Buisine, S. (2011). L'apport de la créativité pour l'intervention ergonomique en innovation. Journée d'étude du GERRA (Groupe d'Ergonomie de la Région Rhône-Alpes) "Créativité et Ergonomie". Université de Lyon 2.
6. Richir, S., Buisine, S. (2011). Virtual and augmented reality for user-centred innovation. European Sensory Network workshop on "Futuristic approaches". Rome, Italie.
7. Buisine, S. (2011). Facteurs humains et processus de conception industriel. Journée thématique AFIS (Association Française d'Ingénierie Système) "Les facteurs humains en ingénierie système". Paris.
8. Plos, O., Dumas, C., Buisine, S., Auossat, A. (2006). Innovation, Conception, Handicap. Conférence Handicap'06. Paris.
9. Martin, J.C., Buisine, S. (2004). Evaluation of cooperation between modalities in ECAs. Dagstuhl Seminar on Evaluating Embodied Conversational Agents, Wadern-Dagstuhl, Allemagne.
10. Buisine, S., Martin, J.C. (2003). Experimental evaluation of multimodal interfaces based on multimodal corpora analysis. Nordic Symposium on Multimodal Communication, Copenhague, Danemark.

VULGARISATION

1. Conception : Tous unis vers elle. Interview pour Aires Libres, Juin 2012, pp.15-16.
2. Le luxe mêle technologie et émotions. Interview pour Arts et Métiers Magazine (suite au colloque « Luxe et Innovation »), Juin-Juillet 2011, pp.32-34.
3. Tipatsma stimule les sens. Interview pour Arts et Métiers Magazine, Février 2011, pp.18-19.
4. La réalité augmentée restera-t-elle un gadget ? Interview pour Capital.fr, 21 janvier 2011.
5. Dans les laboratoires d'Arts et Métiers ParisTech : La DigiTable. Interview pour iQ-TV, Juin 2008.

6. Une table interactive pour faciliter le travail collaboratif. Interview pour Les Echos, 8 février 2007, p.24.

MEMOIRES UNIVERSITAIRES

1. **Buisine, S.** (2005). Conception et évaluation d'agents conversationnels multimodaux bidirectionnels. Thèse de doctorat en Psychologie Cognitive – Ergonomie, sous la direction de JC. Martin, LIMSI-CNRS, et JC. Sperandio, Laboratoire d'Ergonomie Informatique, Université Paris Descartes.
2. **Buisine, S.** (2002). Conception d'un cadre méthodologique pour l'évaluation et le développement d'interfaces multimodales. DESS d'Ergonomie, sous la direction de JC. Martin, LIMSI-CNRS.
3. **Buisine, S.** (2001). Personnalité anxieuse et distractibilité - Approche psychophysiologique. DEA de Psychologie, sous la direction de J. Navetuer et H. Sequeira, Laboratoire de Neurosciences du Comportement, Université de Lille 1.
4. **Buisine, S.** (2000). Variations diurnes de l'activité électrodermale chez des sujets matinaux et vespéraux. Maîtrise de Psychologie, sous la direction de J. Navetuer et H. Sequeira, Laboratoire de Neurosciences du Comportement, Université de Lille 1.
5. **Buisine, S.** (1999). Discrimination visuelle et performance motrice chez l'enfant Infirme Moteur Cérébral. Licence de Psychologie, sous la direction de Y. Coello, Université de Lille 3, Centre de Rééducation Motrice Marc Sautelet (Villeneuve d'Ascq).
6. **Buisine, S.** (1999). Psychologie Clinique, service des soins palliatifs. Rapport de stage de Licence de Psychologie, Centre Hospitalier d'Auxerre.

AUTRES CONTRIBUTIONS (COLLOQUES, WORKSHOPS...)

1. **Franco, J., Buisine, S.** (2013). Les NTIC au service du plaisir et de la santé. Confere'13 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
2. **Prié, E., Buisine, S.** (2013). L'anthropométrie dans l'amélioration du confort de lunettes. Confere'13 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
3. **Mors, M., Buisine, S., Herlin, S.** (2013). Relativizing positive and negative impact through World Value, contextualized in product design modeling. Confere'13 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
4. **Barré, J., Afonso Jaco, A., Buisine, S., Aoussat, A.** (2012). L'utilisation de l'EEG pour l'analyse des usages. Confere'12 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
5. **Sagne, S., Buisine, S., Freu, P., Mendiburu, B.** (2012). Structuration de la conception de produit et développement du travail collectif. Confere'12 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
6. **Sauvage, M., Buisine, S.** (2012). Les spécificités de l'innovation dans le domaine du luxe et plus particulièrement dans celui de la joaillerie. Confere'12 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
7. **Durand-Yamamoto, M., Buisine, S.** (2012). Illusion et packaging. Confere'12 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
8. **Maistre, A., Buisine, S., Maranzana, N.** (2012). Proposition d'une méthode d'éco-conception simple d'utilisation. Confere'12 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
9. **Tebourbi, H., Buisine, S.** (2011). Conception d'une interface de table interactive basée sur la théorie SIAM. Confere'11 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
10. **Duchossoy, M., Buisine, S., Maranzana, N., Roosen, C.** (2011). Conception d'un protocole d'évaluation ergonomique d'un produit destiné aux patients atteints de troubles sévères de la maladie d'Alzheimer. Confere'11 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation. **Best Paper Award**

11. Delas, A., Buisine, S., Maranzana, N., Mantelet, F. (2011). Impulser l'activité d'innovation: Contexte spécifique d'une PME distributeur. Confere'11 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
12. Barré, J., Buisine, S., Pitel, G., Soubrevilla, L. (2011). Innovation pour les salons virtuels online. Confere'11 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
13. Ledru-Tinseau, A., Buisine, S., Poloni, D. (2011). Elaboration d'une méthode d'évaluation anthropocentré du confort d'une lunette de luxe. Confere'11 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
14. Schmitt, L., Chaboissier, J., Buisine, S., Vernier, F. (2010). Activité collaborative médiée par table interactive en environnement dynamique. Confere'10 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
15. Lehoux, G., Kendira, A., Gidel, T., Buisine, S. (2010). Projet Tatin: Vers l'analyse de la créativité en phase de conception préliminaire collaborative autour d'une table interactive. Confere'10 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
16. Macias, B., Buisine, S. (2010). Intégration de l'usage dans la démarche de conception de produits par la mise en place d'un indice d'idéalité. Confere'10 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
17. Esteves, C., Buisine, S. (2009). L'intégration de l'ergonomie et du marketing en conception. Confere'09 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, 12p.
18. Sorin, N., Vervliet, N., Buisine, S. (2009). Mise en place d'une démarche qualité: Expérience d'un laboratoire de recherche. Confere'09 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, 12p.
19. Vu, G., Mantelet, F., Buisine, S. (2009). Comment intégrer le concept de confort dans la conception d'un produit afin d'en optimiser l'utilisabilité. Confere'09 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, 12p.
20. Wang, Y., Buisine, S., Courgeon, M., Martin, J.C. (2009). Intégration et évaluation d'agents animés. Confere'09 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, 7p. **Best Paper Award**
21. Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (2008). Prescriptions et innovations dans l'usage : Vers un modèle collaboratif des interactions concepteurs-usagers. Confere'08 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, 4p.
22. Perier-Muzet, J., Buisine, S. (2008). L'adaptation d'une démarche Market-pull à un produit orienté Techno-push. Confere'08 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, 4p.
23. Eveque, L., Buisine, S., Turner, W. (2008). Conception assistée par l'usage in situ d'un décodeur TNT à intelligence incorporée. Confere'08 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, 3p.
24. Montferrat, P., Apostolopoulou, A., Besacier, G., Buisine, S., Rey, G., Vernier, F. (2007). Brainstorming and mind-mapping on DiamondTouch: Creativity unleashed. DiamondTouch Workshop (abstract).
25. Apostolopoulou, A., Montferrat, P., Besacier, G., Rey, G., Buisine, S., Vernier, F. (2007). Building a portable video projector mount for the DiamondTouch. DiamondTouch Workshop (abstract).
26. Besacier, G., Rey, G., Apostolopoulou, A., Montferrat, P., Buisine, S., Vernier, F. (2007). Space- and data-sharing in co-located creativity: Tabletop computer and pencil-and-paper cases. Shareable Interfaces Workshop (abstract).
27. Buisine, S., Martin, J.C. (2007). The influence of personality on the perception of ECAs' multimodal behavior. Gesture'07 ISGS International Workshop on Integrating Gestures (abstract).
28. Martin, J.C., Abrilian, S., Buisine, S., Devillers, L. (2007). Individual differences in the perception of spontaneous gesture expressivity. Gesture'07 ISGS International Workshop on Integrating Gestures (abstract).
29. Marlier, J., Buisine, S., Turner, W. (2007). Vers un outil de co-conception produits-usages. Confere'07 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 11-16.

30. Apostolopoulou, A., Besacier, G., Montferrat, P., Rey, G., Buisine, S., Vernier, F. (2007). Les tables interactives d'aide à la créativité. Confere'07 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 98-103.
31. Montferrat, P., Apostolopoulou, A., Besacier, G., Rey, G., Buisine, S., Vernier, F. (2007). L'évaluation du travail collaboratif au travers des styles d'interactions innovants sur Tabletops. Confere'07 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 168-173.
32. Dupin, M., Plos, O., Mantelet, F., Buisine, S. (2007). Intégration du style dans une démarche d'Universal Design en vue d'améliorer l'acceptabilité des aides techniques par la population générale. Confere'07 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 155-160.
33. Dejeux, C., Kujawa, L., Buisine, S. (2007). Interactions de l'ergonomie avec d'autres métiers dans un projet de conception de produit industriel. Confere'07 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 17-22.
34. Loise, T., Buisine, S. (2007). Mise en place d'une méthodologie de conception anthropocentré chez un constructeur de tracteurs. Confere'07 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 23-28.
35. Buisine, S., Abrilian, S., Niewiadomski, R., Martin, J.C., Devillers, L., Pelachaud, C. (2006). Perception d'émotions mélangées: Du corpus vidéo à l'agent expressif. WACA'06 second Workshop francophone sur les Agents Conversationnels Animés, pp. 83-91.
36. Buisine, S., Martin, J.C. (2006). L'étude de Corpus par Analyse en Composantes Principales. WACA'06 second Workshop francophone sur les Agents Conversationnels Animés, pp. 63-71.
37. Najm, M., Besacier, G., Buisine, S., Vernier, F. (2006). La réalité augmentée dans le cadre du travail collaboratif. Confere'06 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 275-281.
38. Plos, O., Buisine, S., Ouassat, A., Dumas, C. (2006). Innover par et pour le handicap. Confere'06 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 193-197. **Best Paper Award**
39. Greffet, A., Buisine, S., Dubois, P. (2006). Vers un optimum intégration/modularité pour la conception modulaire. Confere'06 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 143-148.
40. Evrard, H., Buisine, S., Duchamp, R. (2006). Assessment of the respective benefits of Axiomatic Design and New Products Design method for the design of a biomechanical simulator. Confere'06 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. supp. 24-25.
41. Cabrol, P., Bouchard, C., Buisine, S. (2006). Mise en place d'une méthodologie d'innovation chez un système automobile. Confere'06 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. supp. 7-12.
42. Buisine, S., Martin, J.C. (2005). Comment un Agent Conversationnel doit-il naviguer dans un environnement 3D? WACA'05 premier Workshop francophone sur les Agents Conversationnels Animés, pp. 147-148.
43. Plos, O., Tching, L., Foucher, A., Buisine, S. (2005). HTMA, un modèle d'analyse des tâches : Proposition d'un outil d'aide à la conception. Confere'05 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
44. Tching, L., Plos, O., Buisine, S. (2005). Sélection de produits par "Reverse Universal Design". Confere'05 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
45. Rougier, S., Lesage, F., Jamain, Y., Buisine, S. (2005). L'ergonomie comme source d'innovation de présentation. Confere'05 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
46. Rajsiri, V., Font, D., Buisine, S. (2005). Intégration de la dimension Sécurité dans le processus de conception de machines. Confere'05 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
47. Martin, J.C., Buisine, S., Abrilian, S. (2004). 2D gestural and multimodal behavior of users interacting with embodied agents. Workshop on Balanced Perception and Action in ECAs, AAMAS'04.

48. **Buisine, S.**, Abrilian, S., Martin, J.C. (2003). Evaluation of individual multimodal behavior of 2D Embodied Agents in presentation tasks. Workshop on Embodied Conversational Characters as Individuals, pp. 22-28, AAMAS'03.
49. **Buisine, S.**, Martin, J.C. (2003). Design principles for cooperation between modalities in bi-directional multimodal interfaces. Workshop on Principles for Multimodal User Interface Design, CHI'03.
50. Abrilian, S., **Buisine, S.**, Rendu, C., Martin, J.C. (2002). Specifying cooperation between modalities in lifelike animated agents. Workshop on Lifelike Animated Agents Tools, Affective Functions, and Applications, pp. 3-8, PRICAI'02.
51. **Buisine, S.**, Abrilian, S., Rendu, C., Martin, J.C. (2002). Towards experimental specification and evaluation of lifelike multimodal behavior. Workshop "Embodied conversational agents - let's specify and compare them!", pp. 42-48, AAMAS'02.

INTRODUCTION AUX TRAVAUX DE RECHERCHE

PREAMBULE

C'est avant tout la curiosité qui a animé mon parcours, et enrichi considérablement mes expériences professionnelles. Attrirée par la Psychologie depuis l'adolescence, je me suis lancée dans ce domaine en 1996 à l'université de Lille 3, en double cursus avec une inscription en Philosophie, matière qui m'avait passionnée en Terminale. Pas évident à l'époque de s'imaginer que je serais un jour recrutée aux Arts et Métiers avec ce bagage pour le moins exotique.

Tant qu'on n'a pas fait Psycho on n'en connaît que les versants clinique et pathologique. Dès la première année j'ai découvert la Psychologie cognitive et expérimentale, j'avais trouvé ma voie. Ainsi qu'une autre certitude : celle de faire de la recherche. Je ne savais pas encore vraiment de quoi il s'agissait mais ce qu'on en devinait des cours des enseignants chercheurs m'avait déjà convaincue. En Maîtrise les choses sérieuses commencent, alors avant même le début de l'année j'avais prospecté (et été retenue) pour faire mon projet de Maîtrise au Laboratoire de Neurosciences du Comportement, à mes yeux le meilleur labo de Psycho sur Lille. J'y ai été encadrée notamment par Janick Navetuer, qui m'a « tout » appris en deux ans : la recherche, la rigueur scientifique, l'analyse bibliographique, l'art de la rédaction. La première année j'ai travaillé sur les rythmes circadiens électrodermaux, sans doute un test de la part de mes encadrants car le protocole impliquait de faire venir chaque participant (des étudiants de 20 ans) deux fois au labo pour des enregistrements, une fois le matin et une fois le soir. Il a fallu être persévérente et gérer les refus, les retards, les lapins, les oubliés, etc. Le test a dû être concluant, puisqu'ils m'ont gardée une seconde année au Laboratoire de Neurosciences du Comportement, pour mon DEA. Nous avons alors combiné l'étude de la personnalité anxieuse, l'analyse de la cognition attentionnelle et l'approche psychophysiologique – un sujet riche, pointu et passionnant. L'anxiété est un vrai problème de société, l'une des souffrances humaines les plus communes avec la dépression (Nesse, 1999). D'un point de vue cognitif, elle affecte principalement les processus attentionnels (Eysenck, 1992), la littérature est abondante sur ce point (hypervigilance, biais d'attention sélective...), mais il reste encore beaucoup de théories et d'observations contradictoires. A cet égard l'approche psychophysiologique que nous avons adoptée est originale et nous a permis d'isoler les réactions attentionnelles de façon plus précise que les protocoles basés uniquement sur des mesures de performance. Nous avons ainsi pu mettre en évidence au moins un avantage qu'il peut y avoir à être anxieux : une meilleure résistance à la distraction lors de la réalisation d'une tâche d'attention soutenue. Un résultat qui, j'espère, fera plaisir aux anxieux, dont la personnalité est souvent consubstantielle à une mésestime de soi.

A la suite de ces deux excellentes années, nous n'avons cependant pas pu concrétiser de projet de thèse, il était donc nécessaire pour moi de partir vers de nouvelles aventures. Les Neurosciences n'étaient pas mon seul centre d'intérêt. Nous étions en 2001, nous venions d'échapper au bug de l'an 2000², il y avait aussi eu la bulle Internet³ et l'Informatique en général faisait couler beaucoup

² Je le définis pour nos enfants qui ne sauront jamais de quoi il s'agissait : le bug de l'an 2000 était un problème de conception des systèmes informatiques dans lesquels les deux premiers chiffres de l'année n'étaient pas

d'encre. Quel rapport avec la Psychologie ? L'informatique ne dématérialise pas seulement les valeurs économiques, elle dématérialise aussi l'activité des opérateurs et de tous ceux qui l'utilisent dans la sphère professionnelle et privée. Elle entraîne en conséquence une hypertrophie de la composante mentale de l'activité (Sperandio, 1988, 1996) qui est à l'origine de réelles difficultés cognitives pour les utilisateurs et a donné lieu au développement d'une nouvelle discipline issue de la Psychologie : l'Ergonomie cognitive. Dans cette approche, les connaissances sur le fonctionnement cognitif de l'être humain sont mises à profit pour analyser et améliorer l'Interaction Humain-Machine. En retour, le fait de confronter des utilisateurs avec des interfaces ou des produits nouveaux nous en apprend beaucoup sur l'être humain, ou du moins fait naître de nouveaux questionnements de recherche. En parallèle de mes recherches de thèse à Paris, je me suis donc inscrite en DESS d'Ergonomie à l'université Paris Descartes (Paris 5 à l'époque). Et c'est dans ce domaine en émergence depuis à peine 10 ans à l'époque (l'un des ouvrages fondateurs en étant «Usability engineering» de Jakob Nielsen, 1993) que j'ai trouvé mon projet de thèse. Pour valider mon DESS j'avais décroché un stage au LIMSI-CNRS (Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur) pour développer auprès de Jean-Claude Martin une approche expérimentale pour l'évaluation d'interfaces multimodales, dans la veine des travaux de Sharon Oviatt (1999; 2003) qui ont été une grande source d'inspiration pour moi. L'environnement de travail au LIMSI était de très grande qualité, dans la petite équipe d'informaticiens du groupe AMI (Architectures et Modèles pour l'Interaction) auprès de laquelle j'ai beaucoup appris et à laquelle j'avais le sentiment d'être utile, en matière d'évaluation. Car tout était à construire. Jean-Claude m'a aussi offert la possibilité de collaborer à des projets de recherche variés avec de nombreux partenaires, et de développer ainsi une approche transverse, que je n'ai plus quittée depuis car elle me semble essentielle à l'intervention ergonomique.

A la suite de ce stage, j'ai saisi l'opportunité de poursuivre ce travail en thèse et nous nous sommes concentrés sur un type d'interface particulier : les personnages virtuels interactifs, ou « Agents Conversationnels Animés », un domaine qui a été largement stimulé à l'époque par les travaux de Justine Cassell au MIT (Bickmore & Cassell, 1999; Cassell et al., 2000). Quoi de plus passionnant pour une psychologue que de développer des humains virtuels ? Dans ma thèse nous avons adopté un double point de vue. D'une part nous avons analysé le comportement des utilisateurs face aux personnages virtuels, pour caractériser cette interaction au niveau langagier et comportemental en regard de la communication Humain-Humain et de la communication Humain-Machine. C'était presque émouvant de voir des enfants d'une dizaine d'années s'adresser à nos personnages virtuels avec des mots choisis et des formules de politesse, incarnant le phénomène de *Media Equation* (Reeves & Nass, 1996) qui nous pousse à avoir des comportements sociaux avec les systèmes informatiques. D'autre part mon rôle était aussi de contribuer à la spécification, au paramétrage du comportement des personnages virtuels pour augmenter le réalisme et/ou l'efficacité de la communication avec les utilisateurs. Dans cette deuxième partie nous avons particulièrement travaillé sur la coopération sémantique entre parole et gestes, dans des scénarios pédagogiques (le personnage virtuel est l'enseignant, l'utilisateur est l'apprenant). L'un des résultats les plus marquants que nous ayons obtenus est d'avoir pu augmenter la mémorisation de l'apprenant de

spécifiés, et qui risquaient donc de revenir à 1900 après 1999, ce qui aurait pu déstabiliser l'économie mondiale – mais n'a finalement pas eu lieu.

³ Il s'agissait d'une bulle spéculative sur les valeurs technologiques, liée notamment à la nature immatérielle des produits numériques et informatiques. Avant d'éclater, elle a engendré une croissance spectaculaire qui a été le point de départ de la Nouvelle Economie.

20% en manipulant simplement cette coopération parole / geste chez le personnage virtuel, sans modifier le contenu de la leçon bien sûr. Enfin, à la fin de ma thèse nous avons ouvert des perspectives d'étude des expressions faciales des personnages virtuels, perspectives sur lesquelles nous avons continué à travailler avec Jean-Claude longtemps après ma thèse.

Les principaux projets auxquels j'ai collaboré lors de ces 3 ans au LIMSI-CNRS sont le projet NICE – un projet européen de conception d'un jeu éducatif à partir des contes d'Andersen (à l'occasion de son bicentenaire en 2005) – et le projet TVi – projet ANR sur les interfaces et services de télévision interactive. Ce dernier projet était piloté par le LCPI (Laboratoire Conception de Produits et Innovation) d'Arts et Métiers ParisTech, ce qui m'a permis de nouer de premiers contacts fructueux avec cette équipe, avant de la rejoindre dans le cadre d'un poste d'ATER puis d'un poste d'Ingénieur de Recherche. Le LCPI est un laboratoire de recherche en Génie Industriel, dont l'objectif est de contribuer à « l'optimisation du processus de conception et d'innovation ». En 2004, alors que mon contrat CNRS arrivait à échéance, le LCPI cherchait à développer plusieurs thématiques pour progresser dans cet objectif, dont celle de l'Ergonomie cognitive et celle de l'Interaction Humain-Machine innovante. Quelques jours après la confirmation de mon recrutement en tant qu'ATER, Robert Duchamp m'a fait remarquer que j'aurais dû enlever la Philosophie de mon CV parce que ça avait eu du mal à passer... Et en effet le défi était grand, car je pénétrais dans une culture très différente de la mienne, et l'immersion a été très rapide. Dès les premiers mois je siégeais dans des jurys de soutenances auxquelles je ne comprenais pas un mot (vous savez ce que c'est, vous, des alésoirs ?). En retour j'ai moi aussi dû ajuster mon discours dans les cours d'Ergonomie que je donnais aux élèves ingénieurs. J'ai mis plusieurs années avant de trouver un niveau de dialogue satisfaisant, et des exemples qui leur parlaient. J'ai donc beaucoup appris au LCPI, et je continue à en apprendre tous les jours même après 8 ans, c'est toute la richesse de ce poste. Je dois remercier Améziane Aoussat de m'avoir donné cette chance.

En termes de Recherche, j'ai découvert au LCPI la problématique de l'Innovation et celle, sous-jacente, de la Créativité. Il aura donc fallu que j'atterrisse aux Arts et Métiers pour découvrir l'abondante littérature en Psychologie sur la Créativité, qui aujourd'hui me passionne. Dans mon activité actuelle, je poursuis donc ma mission de psychologue en m'efforçant de mieux comprendre le fonctionnement de l'humain, qu'il soit utilisateur face à un nouveau produit ou concepteur dans son activité créative. Je poursuis également ma mission d'ergonome en utilisant ces connaissances pour concevoir des produits et outils mieux adaptés aux utilisateurs et aux concepteurs, respectivement. Enfin conformément au thème de recherche du LCPI je cherche aussi à optimiser les méthodes et l'intégration de l'Ergonomie en conception. Mon objectif dans ce mémoire est de brosser une synthèse des travaux que j'ai réalisés au LCPI, grâce à mes collègues et à la contribution de beaucoup d'étudiants au fil des années. Ces travaux mêlent Ergonomie et Innovation, un croisement qui n'est pas si simple à orchestrer comme j'essaierai de le montrer, mais qui a le mérite de l'originalité je pense.

RESUME

L’Innovation étant définie comme le succès d’une invention sur un marché, nous envisageons l’Ergonomie pour l’Innovation comme une branche de l’Ergonomie capable de favoriser, d’une part, le processus d’invention et, d’autre part, la rencontre d’un marché.

Pour favoriser l’invention, l’ergonome peut produire des innovations tirées par les besoins, ou par des recommandations de conception (dans ce mémoire nous prenons comme exemple les principes de Conception Universelle). Nous illustrons ce processus d’Innovation piloté par l’Ergonomie par des projets de conception de technologies pour l’autonomie. Pour favoriser l’invention, l’ergonome peut aussi intervenir indirectement auprès de l’équipe de conception, en lui fournissant des outils d’Innovation plus performants. Dans ce cadre, nous présentons les résultats que nous avons obtenus en ce qui concerne des Interfaces Humain-Machine de créativité.

Lorsqu’il s’agit de transformer une invention en innovation, et que l’ergonome est sollicité pour favoriser la rencontre de cette invention avec un marché, nous proposons un cadre d’analyse prospective des usages qui permet d’anticiper dès l’amont du processus les opportunités et les risques liés à l’usage de la (future) innovation. Cette méthode complète par l’amont la boîte à outils méthodologique de l’ergonome en conception. Enfin nous présentons des contributions liées à de nouvelles méthodes de conception et d’évaluation qui tirent profit des avancées technologiques (ex : objets communicants, interfaces multimodales) pour enrichir l’analyse des usages (ex : analyse d’usage à distance, conception centrée sur le comportement).

L’Ergonomie pour l’Innovation nécessite de développer de nouvelles méthodes adaptées aux phases amont du processus de conception. Vis-à-vis des théories de la conception, ces méthodes enrichissent les trois opérations fondamentales que sont la structuration de problème, la résolution de problème et l’évaluation des solutions. Elles ont en outre l’avantage d’aller dans le sens d’une optimisation du processus d’intervention ergonomique (anticipation des besoins et usages futurs, créativité, conception centrée sur les recommandations et sur les comportements, etc.) et d’une diminution du nombre d’itérations lors du déploiement des méthodes plus classiques d’Ergonomie.

L’ensemble de ces contributions sont discutées et prolongées au sein de notre projet de recherche, qui est décliné selon trois axes : un axe centré sur le processus d’innovation individuel de l’utilisateur, un axe centré sur l’équipe de conception et ses méthodes, et un dernier axe centré sur une approche technologique. Le développement d’une Ergonomie pour l’Innovation nous semble indispensable pour participer à l’effort d’Innovation et répondre ainsi au besoin et à la demande de l’ensemble des acteurs socioéconomiques.

INNOVATION INDUSTRIELLE

Au niveau macroéconomique, l’Innovation est reconnue comme *le facteur dominant de la croissance économique et de la spécialisation commerciale des pays* (OCDE, 1997). Elle est notamment considérée comme incontournable pour sauver l’industrie occidentale (Midler *et al.*, 2012). Les innovations *radicales* façonnent les grandes mutations du monde et les innovations *progressives* alimentent de manière continue le changement économique (Schumpeter, 1934). Qu’est-ce que l’Innovation ? Dans les multiples définitions il existe une constante sur laquelle se basent tous les travaux en Génie Industriel sur ce thème : on considère que l’Innovation est constituée des deux composantes majeures que sont *l’invention* et *le marché* (Figure 1). L’invention correspond à la notion de nouveauté qui s’entend dans l’étymologie du mot innovation⁴, mais elle est en elle-même insuffisante. Pour devenir une innovation, elle doit déboucher sur un marché, c'est-à-dire être commercialisée, diffusée ou intégrée dans les usages. Réciproquement le succès commercial n'est pas suffisant pour parler d’Innovation, il faut aussi que le produit (ou service) soit objectivement nouveau.

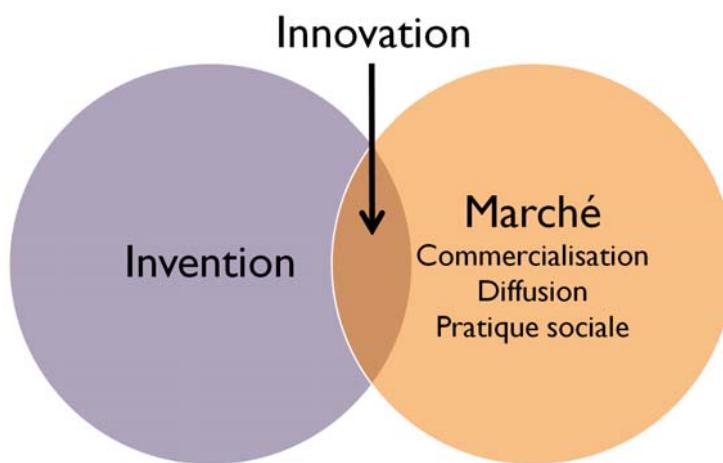


FIGURE 1: SCHEMATISATION DE L’INNOVATION, A L’INTERSECTION ENTRE L’INVENTION ET LE MARCHE.

Schumpeter (1939) définit l’Innovation comme *le premier usage commercial* d’un produit, procédé ou service qui n’a jamais été exploité auparavant. Maunoury (1968) précise que l’Innovation est la nouveauté résultant de l’invention, produite à grande échelle et *lancée sur le marché* par un entrepreneur s’adonnant à une activité économique. Pour Kelly et Kranzberg (1978) l’Innovation est le *processus* qui mène *de l’invention à sa diffusion*. Dans sa vision multidimensionnelle de l’Innovation, Boly (2004; 2011) retient notamment les critères de *mise en marché réussie* et de création de valeur. Duchamp (1999) propose quant à lui un critère de *reconnaissance économique* pour qu’une invention puisse être qualifiée d’innovation – ce qui suppose que l’Innovation ne peut être identifiée qu’*a posteriori* (« *ce qui valide l’innovation et la justifie, c'est qu'elle se vend* »). C'est le cas également lorsqu'on retient un critère d'usage, comme Giget (1998) qui spécifie que l’Innovation doit être introduite dans la *pratique sociale*, ou Akrich *et al.* (1988) pour qui l’Innovation est la *sanction positive* de l’utilisateur ou encore la *transaction commerciale réussie*. Enfin Perrin (2001) mentionne les trois axiomes suivants : (1) Il n'y a pas d'Innovation sans *sanction par le marché* : l’Innovation est un fait économique, contrairement à l’invention. Il cite l'exemple de l'aérotrain de Bertin, une invention n'ayant pas été mise en service, et ne pouvant donc être qualifiée

⁴ Innover : du latin *in* (dans) et *novare* (rendre nouveau).

d'innovation. (2) Il n'y a pas d'Innovation sans conception, dans la mesure où les nouveaux produits doivent répondre au triptyque coût-qualité-délai. (3) Il n'y a pas d'Innovation sans entreprise innovante : l'Innovation doit être portée par une structure entrepreneuriale, une équipe, pour répondre à l'impératif précédent lié à la conception.

Pour la suite nous nous référerons aux définitions du Manuel d'Oslo de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE, 1997) dont nous considérons qu'elles ont valeur de standards. D'après l'OCDE, l'Innovation technologique de produit est la mise au point/commercialisation d'un produit plus performant dans le but de fournir au consommateur des services objectivement nouveaux ou améliorés. Une innovation de produit est accomplie dès lors qu'elle est *introduite sur le marché*. Ici le terme *produit* est utilisé pour désigner à la fois les biens et les services : nous adoptons ce périmètre de *l'Innovation technologique de produit* pour notre champ d'étude (Figure 2), ce qui exclut donc l'Innovation technologique de procédé, et l'Innovation non technologique (dans l'organisation, l'administration ou dans la gestion).

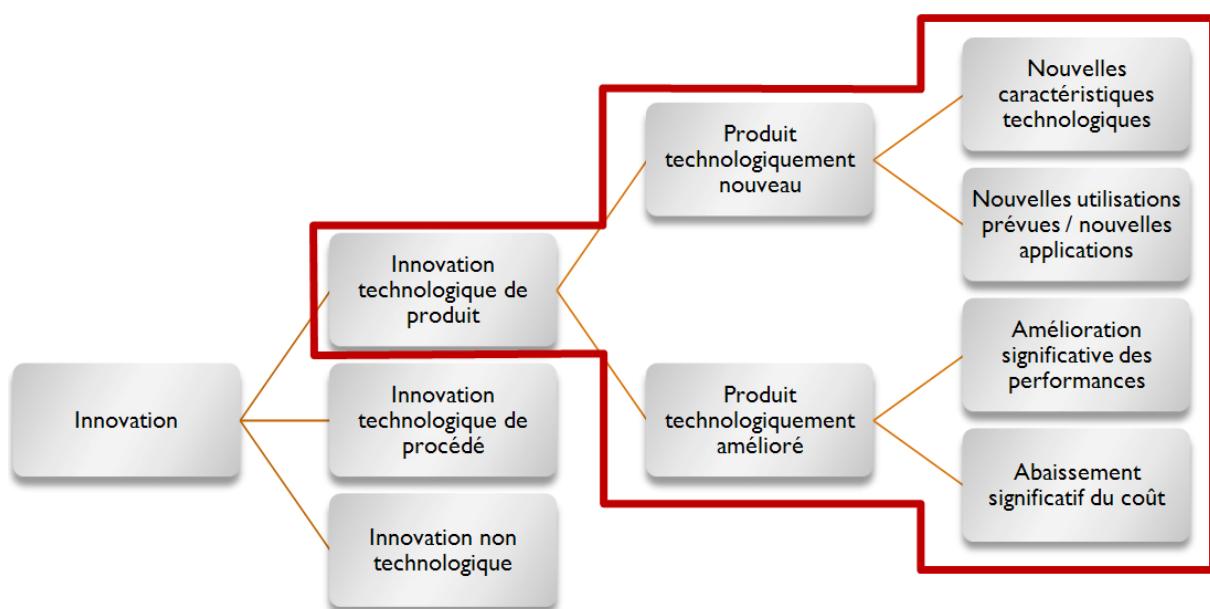


FIGURE 2: LE PERIMETRE DE NOTRE CHAMP D'ETUDE DANS LE DOMAIN DE L'INNOVATION
– FIGURE CONSTRUISTE A PARTIR DES DEFINITIONS DU MANUEL D'OSLO (OCDE, 1997).

L'Innovation technologique de produit peut prendre la forme de produits technologiquement nouveaux (Innovation radicale de produit) ou de produits technologiquement améliorés (Innovation progressive de produit) :

- Un produit technologiquement nouveau est un produit dont les caractéristiques technologiques *ou les utilisations prévues* présentent des différences significatives par rapport aux produits antérieurs. Ce produit peut faire intervenir des technologies radicalement nouvelles (ex : les premiers microprocesseurs ou les premiers magnétoscopes), ou reposer sur l'association de technologies existantes dans de nouvelles applications (ex : les premiers baladeurs qui associaient les techniques existantes de la bande magnétique et des mini écouteurs).
- Un produit technologiquement amélioré est un produit existant dont les performances sont sensiblement augmentées, par amélioration des performances ou par abaissement du coût

(ex : le remplacement du métal par des matières plastiques dans l'équipement ou le mobilier de cuisine ; l'introduction du freinage ABS dans l'automobile). Les perfectionnements esthétiques (même s'ils rendent les produits plus séduisants et peuvent donc avoir un impact important) ou les perfectionnements techniques mineurs ne sont pas considérés comme des innovations mais comme des *différenciations de produit* (OCDE, 1997).

Quel est le degré de nouveauté qui est nécessaire à la reconnaissance d'une innovation ? L'Innovation est reconnue de façon évidente lorsqu'un produit nouveau ou amélioré est accompli pour la toute première fois au monde. Mais les experts de l'OCDE considèrent aussi comme Innovation à l'échelle d'une entreprise la réalisation par celle-ci d'un produit technologiquement nouveau ou amélioré, nouveau pour elle, même s'il a déjà été réalisé dans d'autres entreprises et industries. Entre les deux, de multiples degrés de diffusion des innovations peuvent être définis, par exemple en fonction du marché sur lequel le produit est diffusé ou en fonction de la région géographique (OCDE, 1997).

Dans ce contexte, que peut être une Ergonomie pour l'Innovation ? Conformément à notre schématisation de l'Innovation comme l'intersection entre l'invention et le marché (Figure 1), nous considérons que l'Ergonomie pour l'Innovation doit contribuer d'une part à favoriser l'invention et d'autre part à favoriser la rencontre de cette invention avec un marché. Nous structurerons la suite du mémoire selon ces deux objectifs, après avoir introduit le concept général d'Ergonomie pour l'Innovation.

ERGONOMIE POUR L'INNOVATION

Dans les années 70 la Société d'Ergonomie de Langue Française (citée par Falzon, 2004) définissait l'Ergonomie comme « l'adaptation du travail à l'homme, ou [...] la mise en œuvre de connaissances scientifiques relatives à l'homme et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité ». Initialement, l'intervention ergonomique était donc centrée sur la protection de la santé et l'amélioration des performances au travail (Chapanis, 1968; Grandjean, 1985; Guérin *et al.*, 2006), et son objet d'étude était l'opérateur humain, avec ses caractéristiques particulières d'âge, de genre, de capacités, etc. Cela implique notamment que les situations de la vie quotidienne sortaient du champ d'intervention de l'Ergonomie et que les enfants, les seniors, ou encore les personnes qu'un handicap empêche de travailler, sortaient de son champ d'étude. Par ailleurs l'Ergonomie se positionnait dans une dynamique de correction : l'ergonome était appelé pour des situations de travail problématiques ou pathologiques, et son intervention consistait à établir un diagnostic puis à formuler des recommandations ou prescriptions pour l'amélioration de la situation de travail. Sa démarche d'intervention reposait principalement sur le paradigme de *l'analyse de l'activité* (Guérin *et al.*, 2006) – l'activité étant un processus finalisé par lequel le sujet agit sur un objet, et où des artefacts techniques peuvent jouer un rôle médiateur (Daniellou & Rabardel, 2005).

Depuis, le périmètre de l'Ergonomie s'est étendu au produit au sens large, qu'il soit utilisé dans un cadre domestique, de transport, d'information, de loisir, de travail, etc. L'Ergonomie s'est également adaptée aux évolutions sociotechniques : en particulier, les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication ont été à l'origine de mutations dans les activités humaines, d'une dématérialisation de l'objet et d'une hypertrophie de la composante mentale par opposition à la composante physique de l'activité (Sperandio, 1988, 1996; Bobiller Chaumon, 2003). Cette évolution a justifié le développement d'une Ergonomie dite cognitive au-delà de l'Ergonomie psychophysiologique. De plus, à partir des années 90 l'Ergonomie a commencé à se positionner davantage en conception, c'est-à-dire à intervenir avant le déploiement des situations / des artefacts, par exemple par le biais de tests utilisateurs, plutôt que d'attendre que les problèmes se manifestent dans l'usage réel (Brangier & Robert, 2010). La nouvelle définition de l'Ergonomie adoptée par l'International Ergonomics Association (IEA, 2000) rend compte de ces évolutions. Elle spécifie désormais que « L'Ergonomie est la discipline scientifique qui vise la compréhension des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système, et la profession qui applique des principes théoriques, des données et des méthodes en conception dans le but d'optimiser le bien-être humain et le système global »⁵. Dans cette définition, le terme de *travail* a disparu, malgré l'étymologie du mot Ergonomie⁶, et le terme de *conception* a fait son apparition.

En ce qui concerne son intégration dans le processus de conception, la tendance initiale naturelle était de positionner l'Ergonomie dans les phases aval de la conception. En effet pour pouvoir exercer la démarche analytique propre à l'Ergonomie, il faut pouvoir observer une situation d'usage, un produit ou du moins une représentation du futur produit telle qu'une maquette ou un prototype.

⁵ La définition originale en Anglais étant : "Ergonomics (or human factors) is the scientific discipline concerned with the understanding of the interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theoretical principles, data and methods to design in order to optimize human well being and overall system."

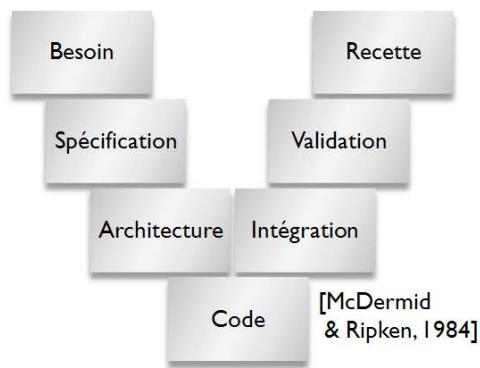
⁶ Du grec ἔργον / *Ergon* (travail) et νόμος / *Nomos* (loi).

Dans les processus de conception linéaires ou en cascade (Figure 3), l’Ergonomie arrivait donc en bout de chaîne dans l’étape de conception détaillée ou de validation du produit, à un stade où les modifications sont les plus coûteuses – et où elles sont donc mal accueillies. Dans ce cas de figure, si l’ergonome ne valide pas la conception détaillée, cela peut remettre en question le produit, le concept, voire même parfois le besoin qui ont été déterminés en amont. Les processus de conception en V, qui sont eux aussi prévus pour être suivis de façon linéaire, ont la particularité de mettre en correspondance les étapes de spécification / conception (partie descendante du V) avec les étapes de tests (partie ascendante, cf. Figure 3), et donc de formaliser les retours en arrière possibles : si les tests d’intégration ne sont pas concluants, il faut revoir l’architecture ; si les tests de validation ne sont pas concluants, il faut revoir les spécifications, etc. Enfin, il existe des processus de conception dans lesquels le retour en arrière est un principe de progression, il s’agit des processus circulaires ou cycliques : les besoins et les concepts peuvent être affinés ou remis en question à chaque itération. C’est le cas de la démarche de Conception Centrée Utilisateurs (norme ISO13407, 1999; norme ISO9241-210, 2010), mais aussi des méthodes Agiles (Beck *et al.*, 2001; Vickoff, 2009) utilisées surtout en conception logicielle, et qui revendentiquent une grande adaptabilité aux changements (ex : changement dans la demande du client, changement suite à un test non concluant).

► Processus linéaires ou en cascade



► Processus en V



► Processus cyclique ou circulaire

► Conception Centrée Utilisateurs

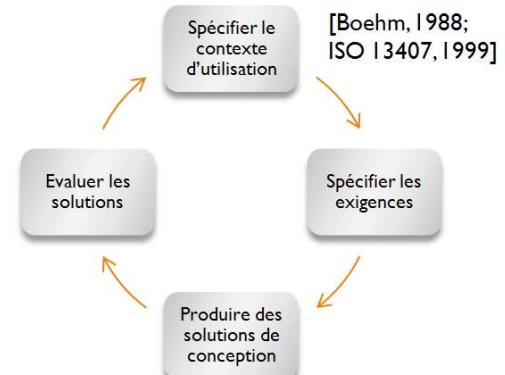


FIGURE 3: EXEMPLES DE PROCESSUS DE CONCEPTION INDUSTRIELS
(MCDERMID & RIPKEN, 1984; BOEHM, 1988; AOUSSAT, 1990; ISO13407, 1999; PAHL ET AL., 2007).

Au-delà de ses implications technico-économiques (coût-qualité-délai), la forme du processus témoigne aussi de différentes approches théoriques de la conception. Les processus linéaires dérivent de théories dans lesquelles les opérations de conception sont vues comme séquentielles, comme par exemple dans la *General Design Theory* (Yoshikawa, 1985; Tomiyama *et al.*, 2009). Les travaux d’Herbert Simon (1973) ont également exercé une grande influence sur les théories de la

conception et ont façonné une vision séquentielle autour de deux grandes phases : structuration du problème, puis résolution du problème (et évaluation des solutions). A l'inverse, les processus itératifs opérationnalisent des théories dans lesquelles la structuration et la résolution du problème progressent en parallèle (Visser, 2009). En ingénierie de conception, on considère qu'il n'y a pas *une* théorie de la conception ni *un* processus qui soit meilleur que les autres : la taille et la composition de l'équipe de conception, le produit à concevoir, sa nature et sa complexité interviennent aussi dans le choix du processus – on ne conçoit pas un logiciel et un avion de la même manière, et la conception Agile, par exemple, peut être très performante dans un cas et inadaptée dans l'autre. Toujours est-il que des modifications dans le processus de conception ou dans le positionnement de certains acteurs dans le processus ont des implications d'ordre théorique.

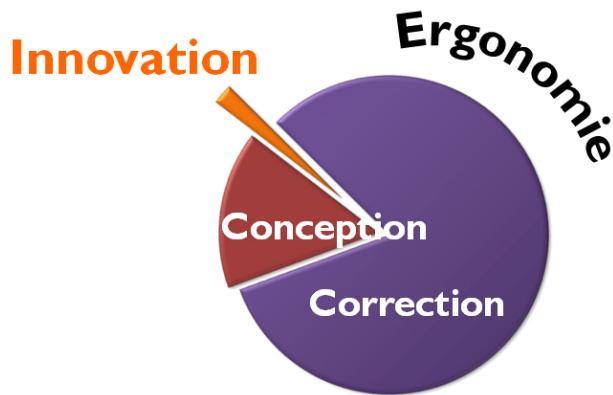
Pour en revenir à l'Ergonomie, alors qu'elle était initialement positionnée en fin de processus au niveau de l'évaluation des solutions, elle a progressivement proposé des interventions de plus en plus précoce pour répondre à de nouvelles contraintes comme la pression économique, les impératifs de la concurrence ou encore la réduction du cycle de vie des produits (Boly, 2004). En effet, ces contraintes font que les concepteurs cherchent en permanence à diminuer la durée des projets : faire *bon du premier coup*, éviter les retours en arrière et limiter le nombre d'itérations. Pour cela, il faut anticiper le maximum de paramètres dès le début du projet : capitaliser des connaissances d'un projet sur le suivant, ou *approfondir les phases amont du processus*. Comme toutes les disciplines de la conception, l'Ergonomie tend donc à faire évoluer son processus : c'est là une opportunité qui rend possible une Ergonomie pour l'Innovation. En effet l'Ergonomie pour l'Innovation doit pouvoir, d'une part, contribuer à l'invention (ce qui ne peut se faire qu'en amont du processus) et, d'autre part, contribuer à la rencontre d'un marché. Ce second objectif se rapproche de la vocation première de l'Ergonomie qui est d'analyser la situation d'usage et de faire des recommandations pour l'améliorer. Contribuer à la rencontre d'un marché pourrait donc se faire dans les phases aval de la conception. Or, plus les corrections arrivent tard dans le processus, plus elles sont coûteuses, et donc moins elles sont appliquées. En fin de processus il n'y a plus guère de place que pour des modifications cosmétiques, et les concepteurs sont très réticents à remettre en question la conception ou le produit. Pour avoir plus de chances de réellement impacter la rencontre d'un marché, l'évaluation ergonomique doit donc elle aussi remonter au plus tôt dans le processus d'Innovation.

Nous proposons donc les critères suivants pour positionner l'intervention ergonomique de correction / de conception / d'innovation :

- Ergonomie de correction : L'objet de l'intervention (artefact, situation) est déjà en service ou a déjà cours dans l'activité réelle des utilisateurs.
- Ergonomie de conception : L'objet de l'intervention (artefact, situation) est en cours d'élaboration, des modifications sont encore possibles avant diffusion sur le marché ou implantation dans l'activité, même si ces modifications sont coûteuses. Cela correspond aussi à l'Ergonomie préventive chez Robert et Brangier (2009).
- Ergonomie de l'Innovation : L'objet de l'intervention (artefact, situation) n'est pas encore déterminé. Il peut y avoir des idées mais elles ne sont pas encore matérialisées, toutes les modifications sont encore possibles. L'objet doit par ailleurs respecter le critère de nouveauté lié à l'invention : si ce n'est pas le cas, on est dans le cas précédent d'Ergonomie de conception. L'Ergonomie prospective (Robert & Brangier, 2009; Brangier & Robert, 2010)

est un cas particulier d'Ergonomie de l'Innovation dans lequel l'ergonome est chef de projet et est à l'initiative de l'innovation.

Ces trois degrés d'évolution de l'Ergonomie impliquent des positionnements différents vis-à-vis des théories de conception (par exemple celle de Simon, 1973) : en étendant son périmètre à l'ensemble du processus de conception (structuration du problème, résolution, évaluation), l'Ergonomie se retrouve face à la nécessité de développer de nouvelles méthodes pour formaliser ses contributions en matière de structuration et de résolution de problèmes. Par ailleurs la présence de l'ergonome tout au long du processus de conception et d'innovation multiplie les possibilités d'apprentissages croisés avec les autres acteurs de la conception, ce qui permet de supposer que l'action collective va en être plus efficace (Hatchuel *et al.*, 2002).



**FIGURE 4: REPARTITION APPROXIMATIVE DES TYPES D'INTERVENTION ERGONOMIQUE :
ERGONOMIE DE CORRECTION, DE CONCEPTION ET D'INNOVATION.**

Où en est la pratique de l'Ergonomie ? En schématisant la répartition des activités des praticiens, nous estimons l'Ergonomie de correction à environ 80% des types d'intervention, l'Ergonomie de conception à 15 à 20% et l'Ergonomie de l'innovation à moins de 5% des interventions (Figure 4). Ces chiffres sont estimés à partir de l'enquête menée fin 2010 par l'association ergonautes.fr auprès de 331 ergonomes français (soit 9% des titulaires du diplôme). Dans ce sondage, 30,26% des ergonomes disent avoir une activité de conception, mais nous avons corrigé ce chiffre car l'échantillon interrogé nous semblait surreprésenter les praticiens jeunes (la moyenne d'âge des répondants étant de 32,9 ans) et le domaine de l'ergonomie IHM (63% des répondants). Le chiffre d'Ergonomie de l'Innovation est une estimation personnelle, car l'enquête d'ergonautes.fr ne comprenait pas cet item pour caractériser l'activité des ergonomes. Dans les résultats du sondage, la pratique effective de l'Innovation, si elle existe, est incluse dans les chiffres de la pratique de la conception.

En développant dans la suite de ce mémoire nos travaux ayant trait à l'Ergonomie pour l'Innovation, nous estimons donc nous positionner dans un secteur hautement original. Mais en quoi cette branche si peu représentative de la pratique des ergonomes est-elle importante à développer ? L'ensemble des acteurs socioéconomiques, ainsi que les instances internationales (OCDE, 1997), encouragent les activités d'innovation et soulignent que celles-ci sont un facteur clé de succès industriel dans la mesure où elles permettent de préserver la compétitivité d'une entreprise ou d'un pays sans pour autant devoir baisser le coût de la main-d'œuvre. L'Innovation est une des rares notions consensuelles sur l'entreprise (Midler *et al.*, 2012) : c'est elle qui doit renforcer la compétitivité de l'industrie, répondre aux attentes des clients, créer des emplois qualifiés, et motiver les salariés. Quel que soit le cadre d'analyse retenu, libéral ou non, solidaire ou non, mondialiste ou

non, seule l’Innovation semble pouvoir concilier les approches sociales et économiques de la croissance (Le Masson *et al.*, 2006). Les ergonomes doivent donc outiller leur démarche pour participer à l’effort d’Innovation et répondre aux besoins industriels. En outre, l’Ergonomie de l’Innovation intervenant par nature dans les phases amont de la conception, elle permet d’optimiser le processus d’intervention ergonomique en vue, comme souligné plus haut, d’anticiper, d’éviter les retours en arrières et de limiter le nombre d’itérations – une démarche d’optimisation souhaitable par nature pour les ergonomes.

L’Ergonomie prospective (Robert & Brangier, 2009; Brangier & Robert, 2010) est un courant récent qui appelle les ergonomes à intervenir à un niveau plus stratégique en gestion de projet, à anticiper les besoins et activités futures pour pouvoir créer de nouveaux artefacts. Cette branche de l’Ergonomie a son équivalent dans le monde de l’ingénierie, où les unités « d’Ingénierie avancée » ont pour mission de préparer des innovations qui seront, ensuite, déployées par les ingénieries de développement (Midler *et al.*, 2012). Dans le cas de l’Ergonomie prospective, c’est l’Ergonomie qui est source d’Innovation et l’ergonome chef de projet. On retrouve cette position privilégiée de l’ergonome dans les travaux de Sagot et coll. (Sagot *et al.*, 2005; Bazzaro *et al.*, 2012; Sagot, 2012) dans lesquels la définition du concept est assurée soit par l’ergonome, soit de façon conjointe entre ergonome et designer. Notre positionnement recouvre partiellement cette vision de l’Ergonomie, mais inclut aussi des cas où l’ergonome doit s’intégrer à une équipe de conception dans un projet d’Innovation, sans être le chef d’orchestre ni l’initiateur du concept. Nous envisageons enfin des cas où l’ergonome n’est pas membre de l’équipe de conception mais fournit aux concepteurs des outils pour favoriser l’Innovation.

Conformément à la définition de l’Innovation que nous avons retenue (intersection entre invention et marché), notre exposé va se structurer en deux grandes parties :

- Nous allons tout d’abord présenter une série de travaux dont l’objectif est de **Favoriser l’invention** :
 - Ces travaux incluent une réflexion et des contributions sur des méthodes de conception pilotées par l’Ergonomie. En particulier, nous exposerons des projets ayant trait à la conception universelle et montrerons en quoi la démarche de structuration de problème que nous avons développée a abouti à des innovations.
 - Une autre manière de favoriser l’invention est d’améliorer, par une démarche ergonomique, les outils de résolution de problèmes utilisés par les ingénieurs pour susciter l’invention. Dans ce but, nous avons développé des interfaces de créativité collective.
 - Nous présenterons enfin nos perspectives immédiates liées à l’objectif de favoriser l’invention.
- Dans une seconde partie nous présenterons nos contributions visant à **Favoriser la rencontre de l’invention avec un marché** :
 - En premier lieu nous exposerons nos travaux liés à l’analyse prospective des usages. Ici apparaît une nouvelle activité pour l’ergonome, qui lui permet de contribuer à la structuration du problème de conception : l’activité d’anticipation des usages futurs, en amont de la conception.

- Nous présenterons ensuite des méthodes de conception et d'évaluation originales que nous avons élaborées à l'occasion de différents projets de recherche, et qui exploitent les avancées technologiques au profit de l'analyse d'usage.
- Enfin nous développerons nos perspectives en cours sur ce versant de l'évaluation ergonomique de l'Innovation.

A l'issue de ces deux parties centrales nous proposerons une discussion générale sur nos contributions et développerons notre projet de recherche pour le futur de l'Ergonomie pour l'Innovation.

PARTIE I : FAVORISER L'INVENTION

CONCEPTION PILOTEE PAR L'ERGONOMIE

Pour l'ergonome, il existe trois principaux leviers d'intervention en amont du processus de conception :

- Le premier levier est **l'analyse de l'existant et l'analyse du besoin**. L'ergonome dispose de compétences et de méthodes spécifiques pour recueillir et formaliser l'état des lieux du terrain et le besoin des utilisateurs : analyse de l'activité (Guérin *et al.*, 2006), enquêtes et entretiens (Van Kleef *et al.*, 2005), évaluation de prototypes (Anastassova *et al.*, 2007), auto- et allo-confrontation (Mollo & Falzon, 2004), etc. C'est sur cette base que l'ergonome peut participer à la structuration du problème et définir le champ des activités futures « souhaitables » (Sagot *et al.*, 2003) ou « probables » (Daniellou, 2004), ce qui est susceptible de mener à des inventions en termes de produit ou service (Lee *et al.*, 2001).
- Le second levier d'intervention amont est constitué par les **recommandations ergonomiques, normes ou guidelines**, qui sont applicables au plus tôt dans le processus de conception et participent elles aussi à la structuration du problème, dans la mesure où elles définissent des critères de performance pour le futur produit. Les bases de données anthropométriques (Nowak, 1996; Porter *et al.*, 2004), les heuristiques (Nielsen, 1993) et les critères ergonomiques (Scapin & Bastien, 1997) en font partie. Les principes de conception universelle, qui rejoignent en grande partie les heuristiques de Nielsen et les critères de Scapin et Bastien, peuvent également être assimilés à des recommandations ergonomiques (bien qu'ils aient été mis au point par un consortium pluridisciplinaire). Nous allons montrer dans ce chapitre comment ces recommandations peuvent favoriser l'invention.
- Enfin, pour participer à la résolution de problème et à l'élaboration des solutions techniques (et donc à l'invention en elle-même, de façon directe), l'ergonome dispose de moyens de **maquettage et prototypage**, pour formaliser des propositions et des idées. C'est surtout le cas en informatique et conception logicielle (Burkhardt & Sperandio, 2004) où la matérialisation d'idées (ex : *wireframes*) est peut-être plus simple pour les ergonomes qui n'ont pas été initialement formés à la conception ou au design. Dans ce domaine les maquettes papier sont aussi très efficaces (Rettig, 1994; Sefelin *et al.*, 2003; Hendry *et al.*, 2005; Lim *et al.*, 2006; MacKenzie & Read, 2007). C'est beaucoup plus difficile, en revanche, en conception de produits mécaniques où le maquettage amont est plus technique, moins accessible aux ergonomes. La contribution ergonomique peut être formalisée au sein de la chaîne XAO, notamment grâce aux outils de simulation numérique et de réalité virtuelle (Burkhardt, 2003; Sagot *et al.*, 2003; Bazzaro *et al.*, 2012; Sagot, 2012) : mannequins numériques permettant de valider le respect des spécifications ergonomiques normatives, simulation réaliste immersive et interactive, etc.⁷ Mais pour cela l'ergonome reste dépendant

⁷ A titre d'exemple le département EDIM (Ergonomie, Design et Ingénierie Mécanique) de l'UTBM dispose d'une chaîne d'outils composée de : METRERCOS (analyse de l'existant et du besoin), MANERCOS (définition d'un préconcept avec mannequins numériques), PREVERCOS (tests en réalité virtuelle immersive) et SIMERCOS (tests sur prototype physique).

de l'équipe de conception pluridisciplinaire et nous pensons donc que l'invention reste le fait de l'équipe et non de l'ergonome.

Dans ce chapitre, nous décrivons une contribution qui porte sur la génération d'inventions grâce aux deux premiers leviers d'intervention ergonomique amont : inventions générées à partir de l'analyse des besoins, et inventions générées grâce aux principes de conception universelle. Ces études ont été réalisées dans un secteur industriel particulièrement pauvre en innovation et particulièrement chargé en défis : celui des technologies pour l'autonomie (produits spécialisés destinés à compenser partiellement une perte d'autonomie pour les personnes en situation de handicap).

Ces travaux ont été principalement développés dans le cadre de la thèse d'Ornella Plos « Innover pour et par le handicap. Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche : Application au marché du handicap moteur » (soutenue en février 2011 ; encadrée à 50% avec Améziane Aoussat ; financée par l'Association Française contre les Myopathies). Ils ont aussi donné lieu à 3 projets de M2R Innovation Conception Ingénierie et à 2 Projets Pluridisciplinaires Pédagogiques.

Dans le monde du handicap, l'analyse des besoins est particulièrement difficile à mener car les personnes en situation de handicap sont habituées à se contenter de peu et censurent leurs propres souhaits et désirs (Hirano *et al.*, 2006). Pour contrer cette autocensure, nous avons mis au point la méthode IMAG'IN, une démarche d'expression des besoins dont le principe est de **multiplier les moyens de recueil du besoin** : entretiens individuels avec les personnes en situation de handicap et avec leurs aidants, carnets de bord à remplir pendant 5 jours, photo-langage (verbalisation à partir d'images), séminaire collectif de créativité sur 3 jours (rationalisation, évaluation, hiérarchisation des besoins, rédaction et hiérarchisation de fiches idées), approfondissement sous forme d'un cahier d'idées et validation finale. Cette démarche a été mise en œuvre avec des personnes en situation de grande dépendance (maladies neuromusculaires, locked-in syndrom, infirmité motrice cérébrale, etc.) et a abouti à **plus de 40 fiches idées, et plus de 20 nouveaux produits** sous forme de cahiers des charges, carnets de recherche ou planches concepts (ex : vêtement de transfert, chaussure qui s'ouvre par la semelle, disque rotatif au sol pour faciliter l'accès aux toilettes et le transfert, meuble à tiroirs commandé à distance, lunettes de vision 360° grâce à une petite caméra intégrée, etc.). Cette démarche s'inscrit dans le mouvement d'Ergonomie prospective (Robert & Brangier, 2009; Brangier & Robert, 2010), dans laquelle l'ergonome **identifie des besoins pour créer de nouveaux artefacts**.

Mais il est également possible de générer des inventions à partir de produits existants, comme nous allons l'illustrer maintenant : nous prendrons comme exemples une table d'hôpital et un fauteuil roulant électrique (Figure 5). Les technologies pour l'autonomie en général sont souvent considérées comme des produits de niche car elles répondent à des besoins particuliers dans un marché fortement segmenté (celui du handicap) et souffrent de nombreux problèmes : utilisabilité faible, stigmatisation des utilisateurs, coûts prohibitifs, réseau de distribution spécialisé, etc. Nous nous sommes demandé si la conception universelle pouvait aider à innover dans ce secteur, et sous quelles conditions. La conception universelle désigne la conception de produits et d'environnements dont l'usage est destiné à tous dans la plus large mesure, sans besoin d'adaptation ou de conception spéciale. Elle vise les personnes de tous âges, toutes tailles et toutes capacités, pour simplifier l'usage des produits et la vie de chacun, sans coût supplémentaire ou avec un faible surcoût (Vanderheiden, 1996). Or la conception universelle est jugée difficile à appliquer par les concepteurs

(TraceR&DCenter, 2000; Vanderheiden & Tobias, 2000; Goodman *et al.*, 2006). Ils l'associent en effet à des augmentations de délais, un appauvrissement fonctionnel (Chan *et al.*, 2009) et un retour sur investissement déficitaire (bien que l'inverse ait été montré dans le secteur du transport; Odeck *et al.*, 2010; Fearnley *et al.*, 2011). Tout cela nous suggère que les principes seuls sont insuffisants pour dépasser les réticences des concepteurs et a fortiori pour susciter l'invention. Nous avons donc défini une démarche d'intervention beaucoup plus large, basée sur la conception universelle et l'Ergonomie, mais intégrant également des contraintes de coût, de faisabilité, d'image du produit et de réseau de distribution, afin de favoriser l'invention et le passage à l'innovation.

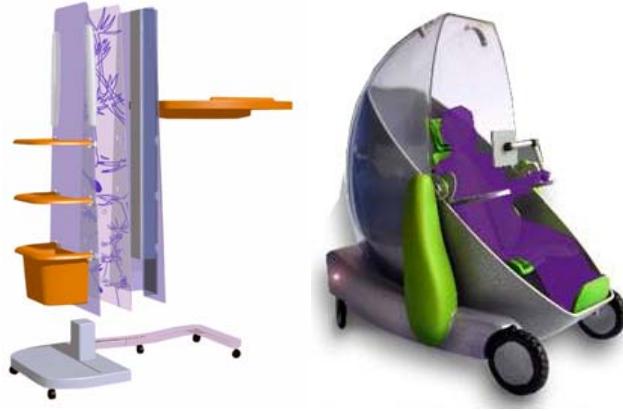


FIGURE 5: EXEMPLES DE DESIGNS PROPOSES POUR NOS DEUX PRODUITS : TABLE ADAPTABLE A GAUCHE (VUE EXPLOSEE) ET FAUTEUIL ROULANT ELECTRIQUE A DROITE.

Notre démarche s'intitule EMFASIS (*Extended Modularity, Functional Accessibility and Social Integration Strategy*) et repose sur les éléments suivants :

- **L'extension de marché** : elle permet de préparer un potentiel de croissance nécessaire pour assurer la rentabilité d'une niche, de respecter le 1^{er} principe de conception universelle (« usage équitable ») et de bien choisir ses partenaires (fournisseurs, sous-traitants, distributeurs...). Ainsi, plutôt qu'une table d'hôpital, nous avons considéré un mobilier multifonction adaptable, par exemple pour une chambre d'étudiant, et nous avons proposé le concept à un fabricant de meubles. Pour le fauteuil roulant électrique, nous avons considéré un petit véhicule pour la mobilité personnelle et nous sommes associés avec un bureau d'étude généraliste et un partenaire du secteur automobile.
- **La conception modulaire** : conception universelle ne signifie pas produit universel. Il est beaucoup plus pertinent de concevoir une gamme de produits partageant la même identité esthétique tout en répondant à des besoins variés (voir à ce titre un exemple de méthode d'évaluation de l'adéquation entre famille de produits, typologie d'utilisateurs et de situations d'usage, Wang *et al.*, in press). La conception modulaire est aussi très efficace sur des critères de coût et de temps de conception (Salhied & Kamrani, 2008). Pour la table adaptable, nous avons défini une architecture modulaire avec plusieurs bases (ex : manuelle ou motorisée), des modules de rangement pour différents styles de vie (ex : un compartiment pour ordinateur) et des tablettes personnalisées (ex : avec ou sans bordure, avec possibilité d'intégrer un écran). Pour le fauteuil roulant électrique, nous avons inclus les fonctions de base (ex : verticalisation, lift, franchissement de bordure 10 cm, contrôle d'environnement) ainsi que des options (ex : autonomie supplémentaire, rangements, conduite automobile).

- **L'acceptabilité fonctionnelle**: on rejoint ici les notions d'utilisabilité et d'utilité qui dépendent notamment de la qualité de l'analyse des besoins. Nous avons mobilisé pour cela des méthodes combinées d'enquête, d'observation de terrain, d'interview, ainsi que des séances de créativité avec des utilisateurs et des experts.
- **L'accessibilité**: ce critère correspond à l'extension de l'acceptabilité fonctionnelle à différentes populations, selon l'extension de marché définie plus haut. Pour la table adaptable nous avons recueilli les besoins de personnes en situation de handicap, de personnes âgées, d'enfants et d'adultes hospitalisés, de leurs aidants, ainsi que d'étudiants (population cible du marché de masse). Pour le fauteuil l'accessibilité n'a pu être validée que pour des personnes en situation de handicap (différentes pathologies, morphologies, etc.) mais le projet a tout de même reçu pour cela un prix d'accessibilité décerné par le pôle de compétitivité Advancy.
- **L'acceptabilité sociale**: il s'agit de l'image du produit, sa valeur d'estime, son intégration dans l'environnement social et sociétal, ou encore les émotions et l'expérience utilisateur qu'il suscite (Barcenilla & Bastien, 2009). Cette partie est assurée par les méthodes du design industriel. Dans les deux projets, nous avons fait intervenir plusieurs designers industriels et avons pratiqué des analyses sémantiques et émotionnelles (Petiot & Yannou, 2004; Mondragon *et al.*, 2005; Bouchard *et al.*, 2009) pour valider les concepts sur les différentes populations cibles. Malheureusement pour le fauteuil roulant nos designs avant-gardistes n'ont pas été conservés pour la phase d'industrialisation.

En conclusion, cette démarche s'est avérée très fructueuse sur de nombreux projets de conception (la thèse d'Ornella Plos recense 11 projets applicatifs) et a abouti à des inventions effectives, notamment, pour nos deux exemples :

- En termes d'acceptabilité sociale, la conception modulaire de la table et ses possibilités de personnalisation lui donnent un réel potentiel pour conquérir un marché de masse (nouvelles utilisations prévues, nouvelles applications).
- Les modules de la table conçus spécifiquement pour les personnes en situation de handicap (ex : base motorisée) en font par ailleurs un produit technologiquement amélioré (amélioration significative des performances).
- Le franchissement de bordure de 10 cm pour un fauteuil roulant électrique n'est possible avec aucun autre modèle existant sur le marché (nouvelles caractéristiques technologiques).
- En termes d'usage, nous avons conçu pour le fauteuil une assise modulaire en « pétales de fleur » qui augmente le confort statique et dynamique pour des morphologies variées (amélioration significative des performances).
- En termes économiques, le fauteuil roulant électrique est vendu 30% moins cher que les fauteuils concurrents, à iso-fonctionnalité (abaissement significatif du coût).
- Ainsi que d'autres inventions que nous ne pouvons dévoiler pour des raisons de confidentialité.

Nous en concluons que la conception universelle, qui se présente aujourd'hui sous la forme de recommandations ergonomiques, peut effectivement favoriser l'invention industrielle, **à condition cependant qu'elle soit traduite et interprétée de façon utilisable pour l'ensemble de l'équipe de conception** (voir Tableau 1). EMFASIS est un exemple de traduction prenant en compte **la vision du marché, de la technique, de l'ergonomie et du design**. Cette approche aide les membres de l'équipe

à structurer le problème de conception et les pousse à remettre en question leurs modes de pensée et de résolution de problème les plus immédiats ; elle joue un rôle de catalyseur et leur permet de se dépasser pour atteindre la validation des recommandations. Elle ouvre donc le champ de l'invention, pourvu qu'elle soit traduite en des notions parlantes pour les concepteurs, comme les notions de marché, de méthodes de conception et d'architecture produit. Enfin cette démarche rentre également dans le champ de l'Ergonomie prospective (Robert & Brangier, 2009; Brangier & Robert, 2010), dans la mesure où dans notre cas l'ergonome est intervenue à un niveau stratégique en termes de gestion de projet.

	Extension de marché	Conception modulaire	Acceptabilité fonctionnelle	Accessibilité	Acceptabilité sociale
Usage équitable	X	X			X
Flexibilité et souplesse d'usage	X	X			
Usage simple et intuitif			X		
Information perceptible immédiatement			X		
Tolérance à l'erreur			X		
Faible niveau d'effort physique				X	
Dimensions et espaces prévus pour l'approche et l'usage				X	

TABLEAU 1: CORRESPONDANCE ENTRE PRINCIPES DE CONCEPTION UNIVERSELLE (EN LIGNES) ET DEMARCHE EMFASIS (EN COLONNES).

A titre d'illustration de ce chapitre, nous proposons trois publications : la première (dans *International Journal of Industrial Ergonomics*) offre une description plus détaillée de la démarche EMFASIS et des exemples d'application (Annexe A). Les deux autres (des fiches pratiques pour l'ouvrage « Déployer l'Innovation » des Techniques de l'Ingénieur) témoignent de la manière dont nous avons valorisé ces travaux d'un point de vue pédagogique (Annexe B). Nous avons aussi élaboré un cours magistral pour les élèves ingénieurs sur les thématiques de conception universelle, handicap, technologies pour l'autonomie.

Dans notre projet de recherche, décrit en dernière partie de ce mémoire, nous verrons comment prolonger ces recherches en suscitant l'invention de la part de l'utilisateur lui-même. Nous évoquerons également les outils nécessaires à l'ergonome et à l'utilisateur pour mener de façon plus efficace une Ergonomie de l'Innovation.

Publications associées à ce chapitre (dont publications sélectionnées en gras) :

Revues :

- Plos, O., Buisine, S., Auissat, A., Mantelet, F., Dumas, C. (2012). A Universalist strategy for the design of Assistive Technology. *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 42, pp. 533-541.

Chapitres d'ouvrages :

- Buisine, S., Plos, O., Auissat, A. (2011). La conception universelle, inclusive (fiche pratique). *Déployer l'innovation*, Paris : Techniques de l'Ingénieur.
- Buisine, S., Plos, O., Auissat, A. (2011). Innovons pour les personnes en situation de handicap (fiche pratique). *Déployer l'innovation*, Paris : Techniques de l'Ingénieur.

Conférences :

- Plos, O., Buisine, S., Auissat, A., Dumas, C. (2007). Analysis and translation of user needs for assistive technology design. ICED'07 International Conference on Engineering Design, 12p.
- Plos, O., Buisine, S., Dupin, M., Auissat, A., Dumas, C. (2007). Universal Design : Proposition d'une

nouvelle approche appliquée à la conception d'une table adaptative. Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française, pp. 339-348.

- Plos, O., Buisine, S. (2006). Universal design of mobile phones: A case study. CHI'06 International Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1229-1234, ACM Press.

Conférences invitées :

- Buisine, S. (2012). Conception universelle de produits et de technologies pour l'autonomie. Urbaccess, Salon européen de l'accessibilité et de la conception universelle. CNIT La Défense, Paris.
- Plos, O., Dumas, C., Buisine, S., Aoussat, A. (2006). Innovation, Conception, Handicap. Conférence Handicap'06. Paris.

Vulgarisation :

- Conception : Tous unis vers elle. Interview pour Aires Libres, Juin 2012, pp.15-16.

Autres contributions (colloques, workshops...) :

- Duchossoy, M., Buisine, S., Maranzana, N., Roosen, C. (2011). Conception d'un protocole d'évaluation ergonomique d'un produit destiné aux patients atteints de troubles sévères de la maladie d'Alzheimer. Confere'11 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation. *Best Paper Award*
- Dupin, M., Plos, O., Mantelet, F., Buisine, S. (2007). Intégration du style dans une démarche d'Universal Design en vue d'améliorer l'acceptabilité des aides techniques par la population générale. Confere'07 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 155-160.
- Plos, O., Buisine, S., Aoussat, A., Dumas, C. (2006). Innover par et pour le handicap. Confere'06 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 193-197. *Best paper award*.
- Tching, L., Plos, O., Buisine, S. (2005). Sélection de produits par "Reverse Universal Design". Confere'05 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.

ERGONOMIE DES OUTILS DE CREATIVITE

Dans ce chapitre nous allons nous pencher sur les méthodes de résolution de problème habituellement employées dans le processus de conception et d'Innovation. D'après Geis *et al.* (2008) qui rapportent une enquête menée en Allemagne sur les méthodes industrielles, le top 5 des méthodes utilisées en entreprise comprend (dans cet ordre) : l'analyse de marché, l'analyse des coûts, l'analyse de la valeur, le benchmarking et enfin les techniques de créativité. Quatre familles de méthodes donc, dédiées plutôt à la rencontre du marché, et une seule famille de méthodes (techniques de créativité) dédiée à la résolution de problème et à l'invention.

Pour l'Ergonomie, une autre manière de favoriser l'invention peut donc consister à intervenir au niveau de ces techniques de créativité. L'ergonome change ici de point de vue et n'est pas intégré à l'équipe de conception comme c'était le cas dans le chapitre précédent, mais intervient plutôt comme un analyste de l'activité du concepteur. Ce point de vue n'est pas nouveau en Ergonomie. En France par exemple, l'analyse des activités de conception est un thème de recherche très actif (Darses *et al.*, 2004; Détienne *et al.*, 2005; Barcellini *et al.*, 2008; Chevalier *et al.*, 2009; Darses, 2009; Visser, 2009), de même que l'analyse ergonomique de la créativité (Bonnardel, 2006; Bonnardel, 2009).

Nous nous inscrivons dans la lignée de ces travaux, avec cependant un point de vue singulier : nous abordons l'analyse de l'activité des concepteurs par le biais de l'Interaction Humain-Machine, c'est-à-dire que nous nous intéressons avant tout aux outils utilisés par les concepteurs, dans le but de mieux comprendre leur activité, mais aussi de leur fournir des outils plus efficaces. Par ailleurs nous nous intéressons au processus de créativité collective des concepteurs, sur la base du paradigme du *Brainstorming* (Osborn, 1953). Compte tenu de la nécessité d'avoir un outil collectif pour répondre à cet objectif, nous nous sommes intéressés à partir de 2006 à une technologie en émergence qui nous semblait particulièrement adaptée à notre besoin : les tables interactives.

Les tables interactives sont des dispositifs horizontaux multi-utilisateurs qui permettent un affichage interactif partagé (Figure 6). Ils mettent en œuvre une interaction « autour-de-la-table » pour la collaboration co-localisée et la conversation face-à-face en configuration sociale (Shen *et al.*, 2006). En cela les tables interactives semblent répondre au besoin du processus de créativité collective, qui implique à la fois une stimulation cognitive (Dugosh *et al.*, 2000; Nijstad *et al.*, 2002; Dugosh & Paulus, 2005) et une interaction sociale (Harkins & Jackson, 1985; Bartis *et al.*, 1988; Paulus & Dzindolet, 1993; Dugosh & Paulus, 2005; Michinov & Primois, 2005). Nous avons donc choisi de tester l'apport des tables interactives pour le processus de créativité collective des concepteurs. Pour les besoins de nos expériences, nous avons analysé une quarantaine de séances de créativité sur des sujets de conception, notre sujet favori étant « le couteau suisse du futur ».

Ces travaux ont été principalement réalisés dans le cadre du projet ANR-DigiTable (2006-2008) et grâce au soutien du département CIRD d'Arts et Métiers ParisTech (2009-2010). Ils ont donné lieu à 6 projets de M2R Innovation Conception Ingénierie.



FIGURE 6: NOTRE TABLE INTERACTIVE POUR LA CREATIVITE.

Pour comprendre l'influence du support d'interaction sur les séances de créativité, nous avons mis au point un premier protocole expérimental comparant 4 conditions :

- Une séance de créativité classique, réalisée avec des outils papier-crayon (post-it, feutres, paperboard) face à un tableau (support vertical).
- Les mêmes outils papier-crayon utilisés autour d'une table (pour étudier l'influence de la configuration spatiale).
- Une version « basique » de table interactive dans laquelle nous avons cherché à transférer terme à terme les styles d'interaction papier-crayon (pour évaluer l'influence de l'interface numérique).
- Une version « avancée » de table interactive exploitant pleinement les possibilités de la technologie, avec du lancer inertiel, des gestes bi-maniuels de groupement, l'insertion d'un moteur de recherche d'images, etc. (pour évaluer l'influence de styles d'interaction plus attractifs).

Ces 4 conditions expérimentées par 80 participants (par groupes de 4) lors de séances de *brainwriting* (Paulus & Yang, 2000; Heslin, 2009) ont montré deux résultats majeurs : d'une part, **la configuration spatiale autour-de-la-table améliore la collaboration**, en augmentant significativement l'équité des contributions au sein du groupe (un phénomène qui corrèle avec l'intelligence collective, Woolley *et al.*, 2010). D'autre part, **l'attractivité du dispositif améliore l'expérience subjective des participants et augmente leur motivation extrinsèque** envers la tâche de créativité.

Nous avons ensuite travaillé à l'identification de leviers de créativité exploitant le caractère dynamique de notre outil : d'un point de vue théorique se posait la question de savoir s'il était possible d'augmenter la créativité (1) en accentuant la comparaison sociale au sein du groupe (Dugosh & Paulus, 2005), (2) en augmentant le rythme de génération d'idées (Maule *et al.*, 2000) et (3) en visualisant les associations d'idées (Nijstad & Stroebe, 2006; Stroebe *et al.*, 2010). Pour le

savoir nous avons introduit des éléments d'interfaces très simples (Figure 7) : respectivement un feedback de performance (un compteur positionné au centre de la table qui indique en temps réel le nombre d'idées générées par chaque membre du groupe), un *timer* sur chaque post-it virtuel, associé à un délai maximal d'édition (les participants n'avaient que 60, 30 ou 15 secondes pour écrire chaque idée) et un fil permettant de générer des *trains d'idées* (Stroebe *et al.*, 2010) plutôt que des idées indépendantes les unes des autres.

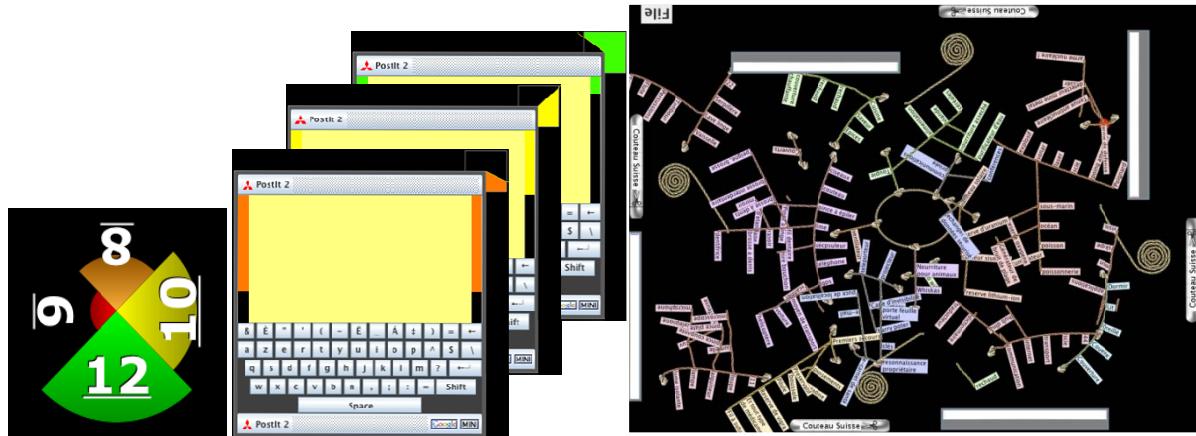
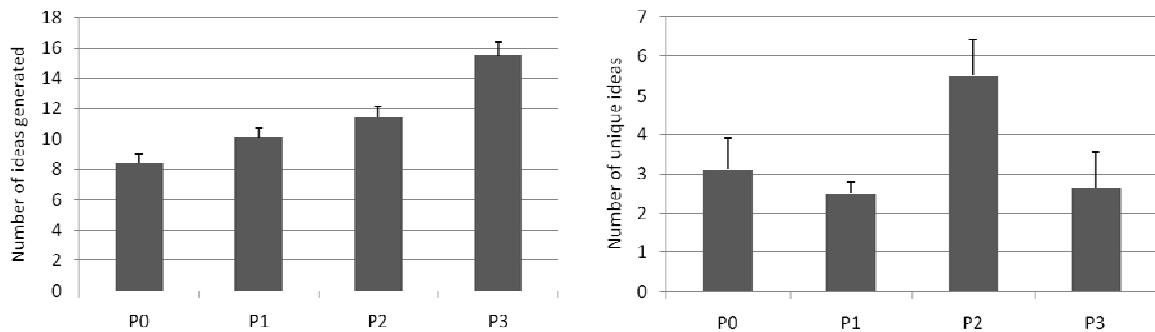


FIGURE 7: ELEMENTS D'INTERFACES UTILISÉS : FEEDBACK DE PERFORMANCE (GAUCHE),
TIMER INSERÉ AU POST-IT (CENTRE) ET FIL D'ASSOCIATION D'IDÉES (DROITE).

Les résultats ont montré que la simple présence du feedback de performance, sans changer les consignes bien sûr, **augmente le nombre d'idées générées** d'environ 20%. La pression temporelle quant à elle **augmente linéairement le nombre d'idées générées**, celui-ci étant presque 2 fois supérieur dans la condition de pression temporelle maximale par rapport à une condition contrôle avec un délai d'édition libre (Figure 8). Toutes ces idées ne sont cependant pas originales. Pour atteindre un **maximum d'idées uniques** (c'est-à-dire statistiquement rares, au sens de Torrance, 1966), notre étude a montré qu'il fallait une pression modérée⁸. Enfin la visualisation des liens d'association d'idées ne permet pas de générer plus d'idées mais elle permet de générer **des associations plus longues et beaucoup plus d'idées uniques** (environ 2 fois plus d'idées originales par rapport à un groupe contrôle qui travaille sans les liens d'association). Comme exemples d'idées originales sur le thème du couteau suisse du futur, nous pouvons citer le couteau qui serait autorisé en avion, le détecteur de champignons, le détecteur de taux de sucre dans les aliments, etc.

Au total nous pouvons conclure que la technologie des tables interactives possède toutes les qualités susceptibles d'améliorer les séances de créativité des concepteurs pour la génération d'inventions : elle améliore **la collaboration** au sein du groupe, ainsi que **l'expérience subjective** et **la motivation** des participants. Enfin, son caractère dynamique offre de nouvelles possibilités d'augmentation des performances de créativité : nous avons testé trois exemples d'interfaces dynamiques, qui ont permis **d'augmenter le nombre total d'idées générées ou le nombre d'idées uniques / originales**. Grâce à ces études nous avons également contribué à une meilleure compréhension théorique des mécanismes du Brainstorming et nous avons conçu une série de prototypes logiciels utilisables dans le processus d'Innovation industrielle.

⁸ La validité de ces résultats se limite à des tâches de créativité algorithmique, c'est-à-dire structurées par des méthodes précises, et ne concerne pas des tâches de créativité heuristique (non guidées) dont on sait qu'elles sont détériorées par les contraintes extrinsèques (Amabile, 1983).



**FIGURE 8: GAUCHE : NOMBRE TOTAL D'IDEES GENEREES PAR PARTICIPANT EN FONCTION DE LA PRESSION TEMPORELLE
(P0 : PAS DE PRESSION, P3 : PRESSION MAXIMALE) ;
DROITE : NOMBRE D'IDEES UNIQUES GENEREES PAR GROUPE EN FONCTION DE LA PRESSION TEMPORELLE.**

A titre d'illustration de ce chapitre, nous proposons deux publications parues dans *Computers in Human Behavior* qui détaillent le cadre théorique de ces travaux (en particulier celui de la créativité), les protocoles et résultats obtenus (Annexes C et D). Dans notre projet de recherche nous développerons les perspectives liées à l'utilisation des tables interactives dans le processus de conception et d'innovation : nouvelles méthodes de créativité, environnement de collaboration multi-support, analyse longitudinale de l'interaction, analyse microscopique de l'Interaction Humain-Machine, etc.

Publications associées à ce chapitre (dont publications sélectionnées en gras) :

Revues :

- Afonso, A., Buisine, S., Barré, J., Aoussat, A., Vernier, F. (sous presse). Trains of thought on the tabletop: Visualizing association of ideas improves creativity. *Personal and Ubiquitous Computing*.
- Schmitt, L., Buisine, S., Chaboissier, J., Aoussat, A., Vernier, F. (2012). Dynamic tabletop interfaces for increasing creativity. *Computers in Human Behavior*, vol. 28, pp. 1892-1901.
- Buisine, S., Besacier, G., Aoussat, A., Vernier, F. (2012). How do interactive tabletop systems influence collaboration? *Computers in Human Behavior*, vol. 28, pp. 49-59.
- Buisine, S. (2010). Quantitative assessment of collaboration. *International Reports on Socio-Informatics*, vol. 7 (special issue), pp. 32-39.

Conférences :

- Kendira, A., Jones, A., Lehoux, G., Gidel, T., Buisine, S., Lenne, D. (2010). Project Tatin: Creativity and collaboration during a preliminary product design session using an interactive tabletop surface. IDMME Virtual Concept 2010, pp. 158-164.
- Buisine, S., Besacier, G., Najm, M., Aoussat, A., Vernier, F. (2007). Computer-supported creativity: Evaluation of a tabletop mind-map application. In: D. Harris (Ed.): Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, HCII 2007, LNAI 4562, pp. 22-31, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Besacier, G., Rey, G., Najm, M., Buisine, S., Vernier, F. (2007). Paper metaphor for tabletop interaction design. In: J. Jacko (Ed.): Human-Computer Interaction, Part II, HCII 2007, Lecture Notes in Computer Science 4551, pp. 758-767, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Conférence invitée :

- Buisine, S. (2012). Créativité 2.0 grâce aux interfaces innovantes. Conférence plénière à ErgoIHM, Conférence conjointe sur l'Ergonomie et l'Interaction Homme-Machine, Biarritz.

Vulgarisation :

- La réalité augmentée restera-t-elle un gadget ? Interview pour Capital.fr, 21 janvier 2011.
- Dans les laboratoires d'Arts et Métiers ParisTech : La DigiTable. Interview pour iQ-TV, Juin 2008.
- Une table interactive pour faciliter le travail collaboratif. Interview pour Les Echos, 8 février 2007, p.24.

Autres contributions (colloques, workshops...)

- Tebourbi, H., Buisine, S. (2011). Conception d'une interface de table interactive basée sur la théorie

SIAM. Confere'11 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.

- Schmitt, L., Chaboissier, J., Buisine, S., Vernier, F. (2010). Activité collaborative médiée par table interactive en environnement dynamique. Confere'10 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
- Lehoux, G., Kendira, A., Gidel, T., Buisine, S. (2010). Projet Tatin: Vers l'analyse de la créativité en phase de conception préliminaire collaborative autour d'une table interactive. Confere'10 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
- Montferrat, P., Apostolopoulou, A., Besacier, G., Buisine, S., Rey, G., Vernier, F. (2007). Brainstorming and mind-mapping on DiamondTouch: Creativity unleashed. DiamondTouch Workshop (abstract).
- Apostolopoulou, A., Montferrat, P., Besacier, G., Rey, G., Buisine, S., Vernier, F. (2007). Building a portable video projector mount for the DiamondTouch. DiamondTouch Workshop (abstract).
- Besacier, G., Rey, G., Apostolopoulou, A., Montferrat, P., Buisine, S., Vernier, F. (2007). Space- and data-sharing in co-located creativity: Tabletop computer and pencil-and-paper cases. Shareable Interfaces Workshop (abstract).
- Apostolopoulou, A., Besacier, G., Montferrat, P., Rey, G., Buisine, S., Vernier, F. (2007). Les tables interactives d'aide à la créativité. Confere'07 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 98-103.
- Montferrat, P., Apostolopoulou, A., Besacier, G., Rey, G., Buisine, S., Vernier, F. (2007). L'évaluation du travail collaboratif au travers des styles d'interactions innovants sur Tabletops. Confere'07 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 168-173.
- Najm, M., Besacier, G., Buisine, S., Vernier, F. (2006). La réalité augmentée dans le cadre du travail collaboratif. Confere'06 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 275-281.

PERSPECTIVES

Dans cette partie « Favoriser l'invention », nos perspectives les plus avancées concernent l'ergonomie des outils de créativité. Nous souhaitons en effet tester l'apport potentiel pour la créativité collective d'un autre type d'interface : les personnages virtuels interactifs. Comme rappelé en préambule, il s'agit d'un sujet sur lequel nous avons développé une expertise grâce aux 3 années passées au LIMSI-CNRS dans l'équipe de Jean-Claude Martin et aux perspectives que nous avons poursuivies par la suite (et que nous poursuivons toujours).

En quoi les personnages virtuels peuvent-ils aider au processus de créativité ? Il s'avère que l'obstacle majeur à l'expression de la créativité en groupe est l'évaluation (Osborn, 1953), contre laquelle la majorité des règles de Brainstorming⁹ visent à lutter. L'évaluation peut prendre deux formes : la censure (évaluation des idées d'autrui) et l'autocensure (évaluation de ses propres idées). Les participants sont en effet susceptibles de refroidir eux-mêmes des idées dont ils ne sont pas sûrs, qu'ils n'osent pas dévoiler aux autres participants (ce qui peut être accentué en présence d'un supérieur hiérarchique dans le groupe) ou qu'ils jugent inutiles car trop extravagantes. Au-delà des règles du Brainstorming, un moyen d'intervenir contre l'autocensure pourrait être de jouer sur **l'image de soi dans le groupe**. A l'heure actuelle on peut imaginer facilement mener des séances de créativité dans des environnements virtuels : les participants sont localisés chacun sur un poste de travail individuel et se connectent à un espace virtuel dans lequel ils se retrouvent **sous la forme d'avatars**. Ce type de procédure répond en outre à un besoin des entreprises étendues dans lesquelles les réunions à distance se multiplient pour des raisons de gain de temps, d'argent et de développement durable.

Dans la situation de séance de créativité synchrone à distance, on ne voit donc pas directement qui est qui. En incluant des avatars un peu fantaisistes et en laissant à chacun la possibilité de choisir le sien, on peut se retrouver dans une séance virtuelle en présence de Superman (ou plutôt d'un participant qui a choisi un avatar aux traits de Superman). Il se pourrait que cet avatar apporte euphorie et confiance en soi à ce participant, et lui permette ainsi de dépasser son autocensure et d'exprimer davantage d'idées. On serait alors en présence d'un « effet Protée » (Bessiere *et al.*, 2007; Yee & Bailenson, 2007; Messinger *et al.*, 2008; Yee *et al.*, 2009), c'est-à-dire que **le fait de changer la représentation de soi impacte la confiance en soi et entraîne un changement de comportement**.

Un autre acteur clé de la séance de créativité est l'animateur. S'il est reconnu que l'intervention de l'animateur améliore la créativité (Offner *et al.*, 1996; Paulus *et al.*, 2006), en particulier lorsqu'il s'agit d'un animateur expert (Oxley *et al.*, 1996; Kramer *et al.*, 2001), il n'existe pas à notre connaissance d'étude sur l'influence de **différents styles d'animation**. Les personnages virtuels pourraient ainsi devenir un outil d'analyse des effets de ces différents styles d'animation, car ils ont l'avantage d'avoir des comportements plus facilement paramétrables et répétables que ceux d'un acteur humain. On pourrait donc imaginer tester lors de séances de créativité en environnement virtuel **un style d'animation basé sur la récompense et les félicitations, et un style d'animation plus directif et exigeant**. Ces deux extrêmes peuvent être rapprochés des discussions théoriques sur la nature adaptative de la créativité (Osborn, 1953; Burleson, 2005) et son lien avec les émotions (Lubart & Getz, 1997).

⁹ «Withhold criticism» en est une injonction directe ; «Focus on quantity» et «Welcome unusual ideas» permettent de lutter indirectement contre la censure et l'autocensure.

Cette dernière série d'expériences avec des animateurs virtuels requiert de disposer de personnages capables de montrer des comportements émotionnels, un domaine que nous avons déjà approfondi dans des recherches antérieures (Figure 9).

Ces perspectives font l'objet du post-doc de Jérôme Guegan, financé par le projet ANR-CREATIVENESS (2013-2016). Ce projet est coordonné par l'Université Paris Descartes, Laboratoire Adaptation Travail Individu, qui possède une renommée internationale dans le domaine de la créativité.



FIGURE 9: MARC, UN PERSONNAGE QUE NOUS AVONS UTILISE RECEMMENT DANS LE CADRE D'ETUDES SUR LES POSTURES (GAUCHE : COLERE ET POSTURE NEUTRE ; PRÉSENTÉES ICI AVEC DES EXPRESSIONS FACIALES NEUTRES) ET SUR LES EXPRESSIONS FACIALES (DROITE : COLERE ET EXPRESSION NEUTRE).

A titre d'illustration de ce chapitre, nous proposons deux publications : l'une issue de la conférence internationale *Intelligent Virtual Agents* dans laquelle nous posons les bases de cette recherche dès 2007 (« *embodied creative agents* », Annexe E) ; l'autre parue dans la revue *Interacting with Computers* et qui relate une évaluation de l'efficacité non pas de styles d'animation de créativité mais de styles de pédagogie pour un personnage virtuel, une démarche assimilable à celle que nous souhaitons suivre dans le contexte de séances de créativité (Annexe F). Dans notre projet de recherche, nous évoquerons aussi des pistes de recherche liées à l'analyse de la composition des groupes de créativité (sur des profils psychologiques et des profils disciplinaires).

Publications associées à ce chapitre (dont publications sélectionnées en gras) :

Revues :

- Buisine, S., Courgeon, M., Charles, A., Clavel, C., Martin, J.C., Tan, N., Grynszpan, O. (sous presse). Impact of idle vs. emotional postures on the perception of facial expressions of a virtual character. *International Journal of Human-Computer Interaction*.
- Buisine, S., Wang, Y., Grynszpan, O. (2010). Empirical investigation of the temporal relations between speech and facial expressions of emotion. *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 3, pp. 263-270.
- **Buisine, S., Martin, J.C. (2007). The effects of speech-gesture cooperation in animated agents' behavior in multimedia presentations. *Interacting with Computers*, vol. 19, pp. 484-493.**
- Buisine, S., Hartmann, B., Mancini, M., Pelachaud, C. (2006). Conception et évaluation d'un modèle d'expressivité pour les gestes des agents conversationnels. *Revue d'Intelligence Artificielle*, vol. 20,

pp. 621-638.

- Martin, J.C., Buisine, S., Pitel, G., Bernsen, N.O. (2006). Fusion of children's speech and 2D gestures when conversing with 3D characters. *Signal Processing*, vol. 86, pp. 3596-3624.
- Martin, J.C., Niewiadomski, R., Devillers, L., Buisine, S., Pelachaud, C. (2006). Multimodal complex emotions: Gesture expressivity and blended facial expressions. *International Journal of Humanoid Robotics*, vol. 3, pp. 269-292.

Chapitres d'ouvrages :

- Buisine, S., Martin, J.C. (2010). The influence of user's personality and gender on the processing of virtual agents' multimodal behavior. In: A.M. Columbus (Ed.), *Advances in Psychology Research*, vol. 65: The Psychology of Extraversion, Chapter 14, pp. 289-302, New York: Nova Science Publishers.
- Buisine, S., Abrilian, S., Martin, J.C. (2004). Evaluation of Multimodal Behaviour of Embodied Agents. In: Zs. Ruttkay, C. Pelachaud (Eds.), *From Brows to Trust: Evaluating Embodied Conversational Agents*, Chapter 8, pp. 217-238, Kluwer Academic Publishers.

Conférences avec actes et comité de lecture :

- Courgeon, M., Grynszpan, O., Buisine, S., Martin, J.C. (2012). Interactive expressive virtual characters: Challenges for conducting experimental studies about multimodal social interaction. ICDVRAT 2012 International Conference Series on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies.
- Courgeon, M., Buisine, S., Martin, J.C. (2009). Impact of expressive wrinkles on perception of a virtual character's facial expressions of emotions. In: Zs. Ruttkay et al. (Eds.): IVA'09, International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNCS 5773, pp. 201-214, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Buisine, S., Ouassat, A., Martin, J.C. (2007). **Embodied Creative Agents: A social-cognitive framework**. In: C. Pelachaud et al. (Eds.): IVA'07 International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNCS 4722, pp. 304-316, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Buisine, S., Abrilian, S., Niewiadomski, R., Martin, J.C., Devillers, L., Pelachaud, C. (2006). Perception of blended emotions: From video corpus to expressive agent. In: J. Gratch et al. (Eds.): IVA'06 International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNCS 4133, pp. 93-106, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. **Best Paper Award**
- Buisine, S., Martin, J.C. (2005). Children's and adults' multimodal interaction with 2D conversational agents. CHI'05 International Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1240-1243, ACM Press.
- Buisine, S., Martin, J.C., Bernsen, N.O. (2005). Children's gesture and speech in conversation with 3D characters. HCII'05 Human Computer Interaction International (full paper), 10p.
- Abrilian, S., Devillers, L., Buisine, S., Martin, J.C. (2005). EmoTV1: Annotation of real-life emotions for the specification of multimodal affective interfaces. HCII'05 Human Computer Interaction International (full paper), 10p.
- Buisine, S., Martin, J.C. (2005). Conception d'une interface multimodale à partir des comportements utilisateurs. CPI'05 Colloque francophone Conception et Production Intégrées (full paper), 15p.
- Hartmann, B., Mancini, M., Buisine, S., Pelachaud, C. (2005). Design and evaluation of expressive gesture synthesis for embodied conversational agents. AAMAS'05 International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (poster), pp. 1095-1096, ACM Press.
- Buisine, S., Martin, J.C. (2003). Experimental evaluation of bi-directional multimodal interaction with conversational agents. INTERACT'03 International Conference on Human Computer Interaction (full paper), pp. 168-175, IFIP, IOS Press.
- Abrilian, S., Martin, J.C., Buisine, S. (2003). Algorithms for controlling cooperation between output modalities in 2D Embodied Conversational Agents. ICMI'03 International Conference on Multimodal Interfaces (poster), pp. 293-296, ACM Press.

Conférences invitées :

- Martin, J.C., Buisine, S. (2004). Evaluation of cooperation between modalities in ECAs. Dagstuhl Seminar on Evaluating Embodied Conversational Agents, Wadern-Dagstuhl, Allemagne.
- Buisine, S., Martin, J.C. (2003). Experimental evaluation of multimodal interfaces based on multimodal corpora analysis. Nordic Symposium on Multimodal Communication, Copenhague, Danemark.

Mémoires universitaires :

- Buisine, S. (2005). *Conception et évaluation d'agents conversationnels multimodaux bidirectionnels*.

Thèse de doctorat en Psychologie Cognitive – Ergonomie, sous la direction de JC. Martin, LIMSI-CNRS, et JC. Sperandio, Laboratoire d'Ergonomie Informatique, Université Paris Descartes.

Autres contributions (colloques, workshops...) :

- Wang, Y., Buisine, S., Courgeon, M., Martin, J.C. (2009). Intégration et évaluation d'agents animés. Confere'09 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, 7p. *Best Paper Award*
- Buisine, S., Martin, J.C. (2007). The influence of personality on the perception of ECAs' multimodal behavior. Gesture'07 ISGS International Workshop on Integrating Gestures (abstract).
- Martin, J.C., Abrilian, S., Buisine, S., Devillers, L. (2007). Individual differences in the perception of spontaneous gesture expressivity. Gesture'07 ISGS International Workshop on Integrating Gestures (abstract).
- Buisine, S., Abrilian, S., Niewiadomski, R., Martin, J.C., Devillers, L., Pelachaud, C. (2006). Perception d'émotions mélangées: Du corpus vidéo à l'agent expressif. WACA'06 second Workshop francophone sur les Agents Conversationnels Animés, pp. 83-91.
- Buisine, S., Martin, J.C. (2006). L'étude de Corpus par Analyse en Composantes Principales. WACA'06 second Workshop francophone sur les Agents Conversationnels Animés, pp. 63-71.
- Buisine, S., Martin, J.C. (2005). Comment un Agent Conversationnel doit-il naviguer dans un environnement 3D? WACA'05 premier Workshop francophone sur les Agents Conversationnels Animés, pp. 147-148.
- Martin, J.C., Buisine, S., Abrilian, S. (2004). 2D gestural and multimodal behavior of users interacting with embodied agents. Workshop on Balanced Perception and Action in ECAs, AAMAS'04.
- Buisine, S., Abrilian, S., Martin, J.C. (2003). Evaluation of individual multimodal behavior of 2D Embodied Agents in presentation tasks. Workshop on Embodied Conversational Characters as Individuals, pp. 22-28, AAMAS'03.
- Buisine, S., Martin, J.C. (2003). Design principles for cooperation between modalities in bi-directional multimodal interfaces. Workshop on Principles for Multimodal User Interface Design, CHI'03.
- Abrilian, S., Buisine, S., Rendu, C., Martin, J.C. (2002). Specifying cooperation between modalities in lifelike animated agents. Workshop on Lifelike Animated Agents Tools, Affective Functions, and Applications, pp. 3-8, PRICAI'02.
- Buisine, S., Abrilian, S., Rendu, C., Martin, J.C. (2002). Towards experimental specification and evaluation of lifelike multimodal behavior. Workshop "Embodied conversational agents - let's specify and compare them!", pp. 42-48, AAMAS'02.

PARTIE II : FAVORISER LA RENCONTRE D'UN MARCHE

ANALYSE PROSPECTIVE DES USAGES

En introduction nous avons défini trois grandes familles d'intervention ergonomique : l'Ergonomie de correction, de conception et de l'Innovation. Dans cet ordre, elles sont classées par ordre de fiabilité décroissante (Tableau 2) : en effet l'Ergonomie de correction est la plus fiable dans ses résultats car elle repose sur l'analyse de données observables, mesurables la plupart du temps, et stabilisées dans des habitudes de travail, des usages routiniers, etc. A l'inverse l'Ergonomie de l'Innovation ne s'appuie sur rien de tangible, même pas des tests en laboratoire comme peut en bénéficier l'Ergonomie de conception. Elle est par nature spéculative (Brangier & Robert, 2010).

Intervention ergonomique	Objet	Fiabilité
Correction	L'existant	
Conception	Les maquettes	
Innovation	Le concept	

TABLEAU 2: FIABILITE DE L'INTERVENTION ERGONOMIQUE EN FONCTION DE SON OBJET.

Ces trois modes d'intervention ne sont pas mutuellement exclusifs. Au contraire, il est logique qu'au sein d'un même projet ils se succèdent dans le temps : en amont du processus on spéculle sur les usages futurs, puis dès que le concept est matérialisé on passe à des méthodes d'Ergonomie de conception (ex : tests utilisateurs) et en fin de processus on peut procéder à de derniers ajustements dans un mode correctif. Les propositions de l'Ergonomie de l'Innovation peuvent donc être vérifiées et amendées tout au long du processus et même ultérieurement dans l'usage. En revanche elles permettent de gagner du temps en anticipant au plus tôt une partie des questions liées à l'usage futur. Par analogie, on peut comparer cette Ergonomie spéculative à la méthode SPEC dans le domaine de l'ingénierie (Yannou *et al.*, 2002) qui permet d'estimer, avec une certaine incertitude, les performances futures du produit dès les phases amont de la conception, avant de recourir à des méthodes plus fiables (ex : prototypage virtuel) à mesure que le processus de conception progresse. Cette Ergonomie de l'Innovation nous semble donc nécessaire dans la mesure où elle va dans le sens des concepteurs qui cherchent à limiter le nombre d'itérations (et donc les coûts et les délais) et à s'approcher ainsi d'un processus linéaire idéal (« bon du premier coup »). Elle répond en outre à leur demande explicite : selon notre expérience, les ingénieurs formulent, dès l'amont du processus, des demandes prospectives en matière d'Ergonomie – demandes complexes pour l'ergonome qui a tendance à en différer la réponse (« il faudra le tester plus tard, quand on aura une maquette »).

Comme précisé en introduction, l'Ergonomie prospective au sens de Brangier et Robert (Robert & Brangier, 2009; Brangier & Robert, 2010) n'est qu'un cas particulier d'Ergonomie de l'Innovation, dans lequel l'ergonome est chef de projet ou est à l'initiative du concept innovant. Ce point de vue a été traité dans la première partie de ce mémoire puisque dans ce cas l'ergonome contribue directement à *l'invention*. Dans le présent chapitre, nous adoptons un point de vue qui relève aussi de l'Ergonomie de l'Innovation mais dans lequel l'ergonome n'est ni chef de projet ni inventeur : l'ergonome doit s'intégrer dans une équipe-projet d'Innovation et contribuer, avec ses collaborateurs concepteurs, à structurer le problème de conception en anticipant les usages du futur

produit. Par exemple, une entreprise nous a confié la conception d'un dispositif de prévention de la noyade infantile, sous la forme d'un collier bouée (Figure 10). Même si nous nous sommes inspirés de produits existants (ex : gilets de sauvetage) pour concevoir le mécanisme, il s'agit tout de même d'un produit technologiquement nouveau dans la mesure où nous en avons fait une nouvelle utilisation / nouvelle application. Le produit comporte un certain nombre de défis en termes d'utilisation compte tenu de la population visée (jeunes enfants), la principale question étant : quels sont les détournements potentiels qu'un enfant pourrait faire de ce produit ? L'objectif est bien sûr d'anticiper ces détournements et de les prendre en compte dans la conception de sorte à éviter qu'ils ne rendent le produit inefficace. Nous considérons donc que cette mission relève de l'objectif de *favoriser la rencontre d'un marché* plutôt que de favoriser l'invention qui, à ce stade, était déjà formalisée par l'entreprise. Mais comme il y a bien une part de prospective dans cette mission, nous parlerons dans ce chapitre d'*Analyse prospective des usages* plutôt que d'Ergonomie prospective.



FIGURE 10: LE COLLIER BOUEE EST UN DISPOSITIF DESTINE AUX ENFANTS QUI SE PORTE COMME UN COLLIER. EN CAS DE CHUTE DE L'ENFANT DANS L'EAU, UN MECANISME SITUE DANS LE MEDAILLON DECLENCHE LE GONFLAGE D'UNE CHAMBRE A AIR SITUEE DANS LE CORDON DU COLLIER ET PERMET DE MAINTENIR LA TETE DE L'ENFANT HORS DE L'EAU (ETUDES LCPI 2007-2010, ENTREPRISE PARTENAIRE SOMETHING NEW).

Ces travaux ont été principalement développés dans le cadre de la thèse de Julien Nelson « Contribution à l'analyse prospective des usages dans les projets d'innovation » (soutenue en juin 2011 ; encadrée à 50% avec Améziane Ouassat ; financée par contrat doctoral Arts et Métiers ParisTech).

L'Ergonomie de l'Innovation étant un domaine en émergence, elle ne bénéficie pas encore d'une boîte à outils méthodologique. Parmi les outils existants de l'Ergonomie, il nous a semblé que les scénarios d'usage (Rosson & Carroll, 2002; Hanington, 2003; Go & Carroll, 2004) étaient particulièrement bien adaptés pour formaliser et communiquer les résultats de l'analyse prospective des usages. Mais quelles données d'entrée mobiliser pour construire des scénarios prospectifs ? Dans les cas d'innovation qui nous intéressent (ex : le collier bouée), il n'existe pas de produit similaire sur le marché pour mener une analyse de l'existant. Il n'est pas non plus possible de répondre à la question des détournements potentiels par des tests sur maquette. Il nous faut donc anticiper les usages futurs, sans pouvoir s'appuyer sur une analyse préalable d'activité ou d'usage. Or,

l'anticipation libre est sujette à de nombreux biais (Das & Teng, 1999; MacKay & McKiernan, 2004; Darses & Wolff, 2006; de Dreu *et al.*, 2008). Ceux-ci reposent tous sur le même mécanisme : quand on cherche à anticiper l'avenir, on a du mal à se détacher de ses expériences personnelles passées, on a tendance à donner une probabilité d'apparition plus forte à des situations qu'on connaît, à appliquer des liens de causalité supposés (rétrospection, rationalisation), etc. Comment mener une analyse prospective des usages sans tomber dans ces biais d'anticipation ? C'est à cette problématique que nous avons tenté de contribuer.

Notre proposition méthodologique pour l'analyse prospective des usages comporte trois volets :

- **L'utilisation de la théorie TRIZ¹⁰** (Altshuller, 1984; Altshuller & Altov, 1996; Savransky, 2000), qui repose sur un raisonnement par analogie et propose un ensemble d'outils méthodologiques pour lutter contre *l'inertie psychologique* (Altshuller, 1984) – un concept proche de celui de *rationalité limitée* (Newell & Simon, 1972). En particulier nous avons expérimenté le diagramme des 9 écrans pour l'analyse prospective des usages (alors qu'habituellement il est utilisé sur des problématiques techniques) : il s'agit de remplir collectivement, en équipe projet, une grille croisant trois niveaux systémiques (sous-système, système et super-système) avec trois jalons du processus d'évolution technologique (passé, présent, futur). L'objectif est d'identifier les principes d'évolution d'un produit (du passé vers le présent) et d'extrapoler cette évolution pour imaginer le futur du produit (ou de ses usages).
- **L'utilisation des méthodes de créativité associatives** comme le brainstorming (Osborn, 1953) et la matrice de découverte (Voros, 2009). Le Brainstorming est utilisé pour générer les unités de base des scénarios, notamment les usagers et les lieux d'usage (de Sá & Carriço, 2008). Par exemple le collier bouée pourrait aussi être utilisé par des plongeurs en apnée, avec un mode de déclenchement manuel au lieu d'un mode de déclenchement automatique (le plongeur déclenche son collier bouée lorsqu'il souhaite remonter à la surface). Ensuite, la matrice de découverte est utilisée pour croiser les usagers et les lieux d'usage. Le principe de la matrice est de déclencher la créativité à partir de rencontres improbables, par exemple, lorsque le plongeur en apnée se retrouve dans une cour d'école, quel scénario d'usage peut-on imaginer ? Par association d'idées, on peut penser que le plongeur est le père d'un enfant qui porte lui aussi le collier, et que le fait de porter « le même collier que papa » va diminuer un risque majeur d'inefficacité qui est le non-port du collier. On peut alors imaginer des solutions de design, par exemple des colliers version adulte et version enfant qui soient assortis, etc.
- **L'utilisation de méthodes fiabilistes** comme une AMDEC usages (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) pour hiérarchiser les données obtenues précédemment. En effet l'inconvénient avec les méthodes de créativité est que le nombre d'idées générées peut être tellement important que l'équipe de conception risque de s'y perdre et d'abandonner la méthode pour cette raison. L'AMDEC usages consiste à relever les risques et les opportunités associés aux scénarios prospectifs d'usage, et à les noter sur une échelle en 5 points (\pm dangereux, \pm intéressant). Par exemple pour le collier bouée, le fait que le mécanisme se déclenche si l'enfant porte le médaillon à la bouche, ou s'il est sous la pluie,

¹⁰ TRIZ est l'acronyme russe pour Théorie de Résolution des Problèmes Inventifs.

est un risque fort : il faut prendre en compte ce risque dans la conception et paramétrier le système pour qu'il ne puisse pas se produire.

L'utilisation des 9 écrans pour l'analyse prospective des usages a été testée lors d'un workshop d'environ 3h animé par un expert TRIZ et regroupant 8 concepteurs. La principale difficulté qui a émergé tient au positionnement du produit innovant dans le diagramme : ce produit que l'on cherche à concevoir est-il dans le présent ou dans le futur ? Les participants ont aussi eu tendance à discuter davantage des évolutions technologiques que des évolutions des usages. Ces résultats nous ont ouvert de nouvelles perspectives d'utilisation de TRIZ pour l'analyse prospective des usages, notamment en incluant la **définition d'un Résultat Idéal Final qui aiderait les concepteurs à orienter leur réflexion prospective**.

La combinaison entre méthodes de créativité et méthodes fiabilistes a été testée auprès de 56 concepteurs (14 équipes de 4 participants, ingénieurs, designers, ergonomes et usagers) et comparée à une condition contrôle dans laquelle les équipes devaient « anticiper les usages futurs » d'un produit (ex : le collier bouée) sans guidage méthodologique. Le principal résultat montre que notre cadre méthodologique d'analyse prospective des usages a aidé les équipes à **structurer l'exploration, et à la rendre moins aléatoire**. Alors qu'en condition contrôle chaque équipe génère des scénarios d'usage uniques, avec notre méthode apparaît un noyau stable de thèmes fédérateurs qui sont retrouvés dans la majorité des équipes. Elle contribue donc à rendre l'opération d'anticipation plus fiable et moins dépendante de la composition de l'équipe projet. Un autre résultat intéressant est que cette méthode montre **la légitimité de l'ergonome dans l'analyse prospective des usages**. Lorsqu'on retrace les contributions individuelles des membres des groupes, on constate que les ergonomes sont particulièrement productifs : ils mettent peut-être à profit la *bibliothèque mentale de situations* liée au métier de l'Ergonomie (Daniellou & Béguin, 2004).

Notre expérimentation a aussi fait apparaître des pistes d'amélioration pour cette méthode d'analyse prospective des usages. La première concerne la référence au concept de créativité : certains ergonomes ne semblaient pas à l'aise avec l'objectif de faire de la créativité sur les usages. A la réflexion, nous rejoignons leur point de vue : nous avons en réalité détourné des techniques de créativité pour anticiper des usages, mais il serait plus juste d'enlever la référence à la créativité, pour ne garder que le terme d'analyse prospective des usages. En effet, notre objectif n'était pas de créer des usages fantaisistes, mais de recenser des usages possibles, réalistes, associés à un produit. Les usages fantaisistes n'ont d'ailleurs pas franchi le filtre de l'AMDEC. Il faut aussi expliquer clairement aux équipes de conception que **le but n'est pas de prédire mais de prévoir les usages**. L'objectif est atteint si on prend en compte dans la conception un risque important, qui diminuerait l'efficacité du système ou serait dangereux pour l'utilisateur, même si ce risque ne se réalise jamais dans la vie du produit.

Un autre inconvénient de notre méthode d'analyse prospective des usages est son coût en temps, notamment pour l'étape de la matrice de découverte. Remplir toutes les cases de la matrice prendrait un temps inconsidéré, et laisser des cases vides est source de frustration pour les participants. Ce constat appelle à élaborer une solution intermédiaire au niveau méthodologique, en conservant le principe de la bisociation (phénomène par lequel des idées émergent à partir de la rencontre fortuite entre deux champs de référence différents; DesMesnards, 2011) mais sans utiliser le formalisme de la matrice.

Deux publications illustrent ce chapitre : l'une dans *Applied Ergonomics* développe certains aspects conceptuels de l'analyse prospective des usages (Annexe G) et l'autre, issue du *Travail Humain*, développe davantage les aspects méthodologiques (Annexe H).

Dans notre projet de recherche en fin de document, nous proposerons d'autres pistes méthodologiques pour l'analyse prospective des besoins et l'analyse prospective des usages, par exemple une adaptation des lois d'évolution des systèmes techniques de TRIZ en *lois d'évolution des usages*.

Publications associées à ce chapitre (dont publications sélectionnées en gras) :

Revues :

- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A., Gazo, C. (accepté). Generating prospective scenarios of use in innovation projects. *Le Travail Humain*, numéro spécial "Ergonomie prospective".
- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (sous presse). **Anticipating the use of future things: Towards a framework for prospective use analysis in innovation design projects.** *Applied Ergonomics*.
- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (2012). **A methodological proposal to assist scenario-based design in the early stages of innovation projects.** *Le Travail Humain*, vol. 75, pp. 279-305.
- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (2009). Assisting designers in the anticipation of future product use. *Asian International Journal of Science and Technology - Production and Manufacturing Engineering*, vol. 2, pp. 25-39.

Conférences :

- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (2010). Creativity as a tool for prospective use analysis in the design of innovative products. ErgoIA 2010 Colloque francophone sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée, pp. 162-169, ACM Press.
- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A., Duchamp, R. (2009). Elaboration of innovative safety equipment concepts for infants. ICED 2009 International Conference on Engineering Design, vol. 9, pp. 103-114.
- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (2009). Design in use: Some methodological considerations. CIRP 2009 International Conference on Manufacturing Systems (full paper), 7p.
- Nelson, J., Weber, A., Buisine, S., Aoussat A., Duchamp R. (2008). L'analyse des besoins pour la conception de produits destinés aux jeunes enfants : Le cas des équipements de protection individuelle. ErgoIA'08 Colloque francophone sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée (poster), 2p.

Conférences invitées

- Buisine, S. (2011). L'apport de la créativité pour l'intervention ergonomique en innovation. Journée d'étude du GERRA (Groupe d'Ergonomie de la Région Rhône-Alpes) "Créativité et Ergonomie". Université de Lyon 2.

Autres contributions (colloques, workshops...) :

- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (2008). Prescriptions et innovations dans l'usage : Vers un modèle collaboratif des interactions concepteurs-usagers. Confere'08 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, 4p.

NOUVELLES TECHNOLOGIES, NOUVELLES METHODES

L'Ergonomie de l'Innovation, c'est aussi se confronter à des produits technologiquement nouveaux ou améliorés. L'utilisateur qui bénéficie de ces technologies en retire un gain en termes d'usage : de la même manière, est-ce que l'ergonome qui doit évaluer ces technologies peut en retirer un gain en termes d'analyse ?

Nous présentons dans ce chapitre des contributions à l'évaluation et la conception de nouvelles technologies (interfaces multimodales, objets intelligents communicants) dans lesquelles nous avons tiré parti des innovations technologiques portées par ces produits pour innover aussi dans la méthode d'évaluation et contribuer en cela à optimiser le processus de conception et d'Innovation. Nous présenterons successivement trois exemples : méthode de simulation amont pour produire des spécifications à partir de comportement réel des utilisateurs, formalisme de conception centré sur les capacités sensorimotrices des utilisateurs, et analyse d'usage longitudinale à distance.



FIGURE 11: DEUX EXEMPLES DE SMARTPHONES MULTIMODAUX, UTILISABLES PAR COMMANDES TACTILES ET PAR COMMANDES VOCALES (LE ZOOM INDIQUE LES ICOMES D'ACTIVATION DE LA COMMANDE VOCALE).

Cette première contribution a été réalisée dans le cadre du projet européen NICE (Natural Interactive Communication for Edutainment), 2002-2005.

Design for behavior

Notre premier exemple concerne la conception d'interfaces multimodales. Ce type d'interface permet d'utiliser, simultanément ou pas, de manière combinée ou pas, plusieurs modalités de communication comme la parole et le geste (Figure 11). Elles visent notamment à fournir une alternative aux systèmes WIMP (Windows – Icons – Menus – Pointing) que nous utilisons tous les jours par l'intermédiaire du clavier et de la souris. D'après Sharon Oviatt (2000), les interfaces multimodales sont plus proches de la communication Humain-Humain, par conséquent plus faciles à utiliser et à apprendre. Elles permettent également le développement d'interactions plus sophistiquées, l'accessibilité à une frange plus large de la population (ex : enfants, séniors, personnes en situation de handicap), et l'adaptation à des conditions d'utilisation plus variées (ex : mobilité, multi-tâche) que les interfaces classiques. Cependant elles sont complexes à développer, et la fusion

des modalités est une des problématiques majeures pour la conception, car il faut que le système soit capable d'interpréter des constructions langagières humaines (ex : « donne-moi l'itinéraire pour aller là » + pointage sur une carte). Pour concevoir l'algorithme de fusion multimodale, on peut utiliser des taxonomies d'intégration des modalités (Nigay & Coutaz, 1993; Martin *et al.*, 2001), mais cette méthode est peu optimisée dans la mesure où tous les cas prévus dans les taxonomies n'ont pas la même plausibilité comportementale ni la même fréquence d'utilisation. Nous avons donc mis au point une méthode de conception à partir de l'analyse du comportement réel des utilisateurs, grâce à la méthode du Magicien d'Oz (simulation des fonctionnalités du système par un compère humain; Dahlbäck *et al.*, 1993). Cette méthode permet de recueillir de grandes quantités de données comportementales (corpus audio-visuel, événements système), ainsi que des données subjectives permettant une évaluation préliminaire du futur système, de l'application visée, du modèle de dialogue, ou de divers éléments de design. Les données comportementales recueillies nous ont fourni les paramètres de conception de l'algorithme de fusion multimodale.

Le principe de cette approche – guider le développement grâce au comportement des utilisateurs – va au-delà de la Conception Centrée Utilisateur (ISO13407, 1999) : dans notre étude, l'utilisateur n'a pas seulement été consulté et observé, mais il a fourni les briques de base du futur système. Nous avons ainsi doublement optimisé la conception : d'une part en permettant que l'interface soit en adéquation avec les comportements des futurs utilisateurs, et répondre donc à leur besoin en termes d'interaction, et d'autre part en simplifiant la phase de développement informatique (critère qui ne figure pas dans la Conception Centrée Utilisateur, et qui peut même parfois lui être contraire). L'essor des interfaces numériques et des systèmes informatiques s'étant parfois fait au détriment de la facilité d'utilisation, l'adoption d'une telle démarche offre la perspective d'augmenter l'acceptabilité d'un produit et donc son succès. Ce type de processus de conception peut même faciliter la réalisation technique d'un produit.

Pour plus de détails sur cette méthode de conception, nous joignons en annexe un article publié dans les actes de la conférence *Conception et Production Intégrée* (Annexe I).

La seconde étude a été réalisée dans le cadre d'un projet industriel pour la Fondation SFR-Cegetel (2004-2005) et a fait l'objet du projet de M2R Innovation Conception Ingénierie d'Ornella Plos, « Adaptation de terminaux mobiles pour des personnes en situation de handicap ».

Multimodalité pour l'accessibilité

Les interfaces multimodales peuvent potentiellement rendre l'interaction plus riche, plus intuitive et plus flexible – encore faut-il, pour l'utilisateur, disposer de toutes ses modalités d'interaction. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, garantir l'accessibilité des interfaces multimodales pour les utilisateurs en situation de handicap n'est pas simple. S'imaginer qu'on peut compenser l'absence d'une modalité par une autre est très réducteur : par exemple, une synthèse vocale (qui lit les informations à l'écran) ne suffit pas pour rendre un smartphone accessible à une personne non-voyante. Il faut une connaissance fine de la tâche, du besoin des utilisateurs et de leurs capacités pour savoir qu'une personne non-voyante aura besoin de reconnaissance vocale et de repères tactiles en plus de la synthèse vocale.

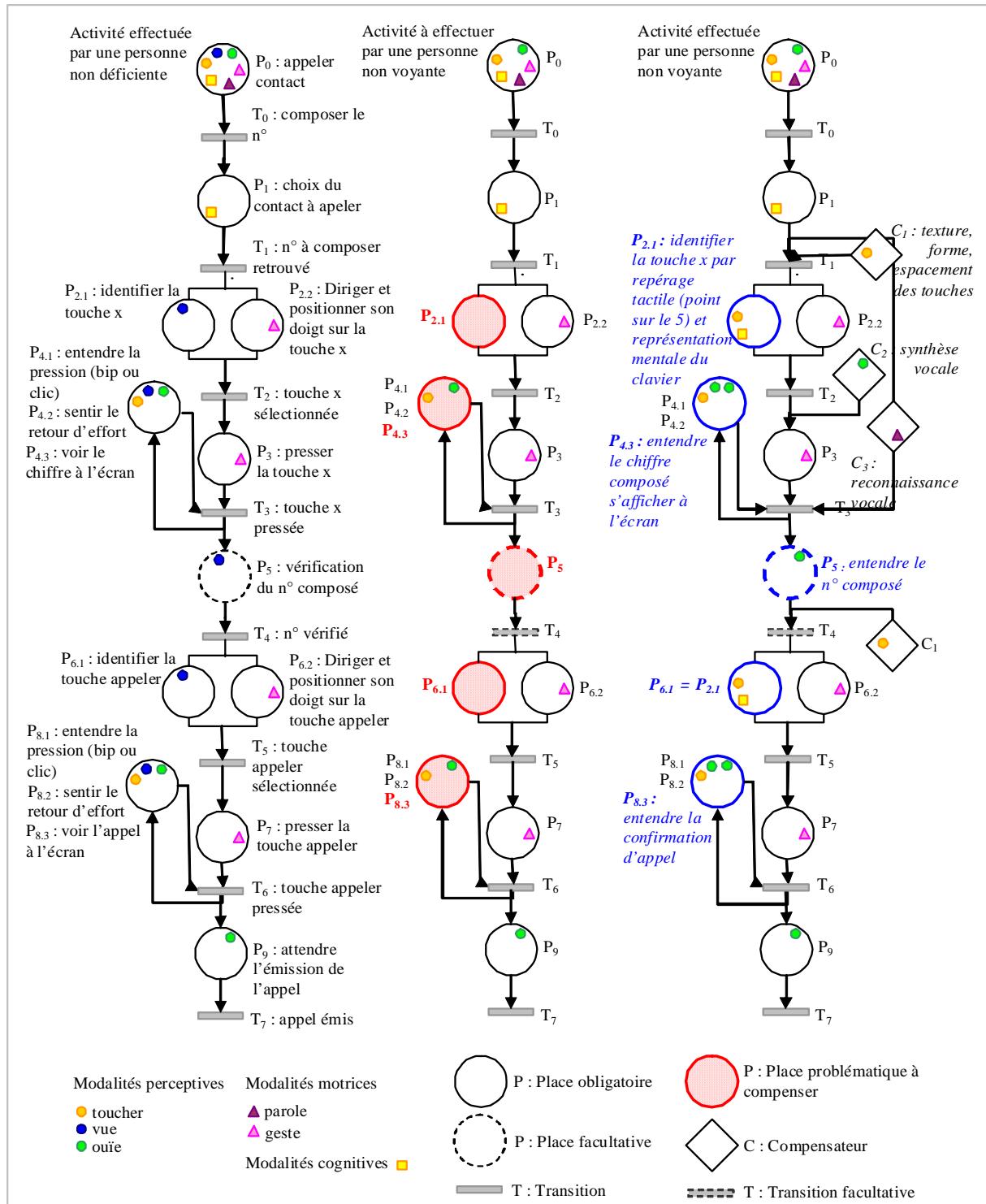


FIGURE 12: EXEMPLE D'APPLICATION DE NOTRE FORMALISME A L'ACTIVITE « COMPOSER UN NUMERO » SUR UN TELEPHONE PORTABLE. LE MODELE DE GAUCHE CORRESPOND A LA REALISATION DE CETTE ACTIVITE PAR UN UTILISATEUR DISPOSANT DE TOUTES SES MODALITES D'INTERACTION, LES DEUX AUTRES MODELES PAR UN UTILISATEUR NON VOYANT SANS COMPENSATEUR (MILIEU) ET AVEC COMPENSATEUR (DROITE).

Pour aider les concepteurs à identifier les modalités sollicitées à chaque étape de l'interaction, nous avons élaboré un formalisme original d'analyse des tâches. Les modèles classiques (diagrammes d'entrées-sorties, organigrammes fonctionnels, arborescences, etc.) permettent de visualiser la décomposition d'une tâche en sous-tâches jusqu'au niveau terminal des actions, ainsi que des

relations causales, temporelles ou cognitives entre les éléments (Scapin & Bastien, 2001), mais n'incluent pas les modalités d'interaction. Pour visualiser cette nouvelle catégorie d'information, nous nous sommes inspirés du modèle HTA (Hierarchical Task Analysis, Annett & Duncan, 1967) et de la modélisation dynamique et formelle des réseaux de Petri (Navarre, 2001) : les actes élémentaires sont représentés comme un ensemble de places et de transitions de places, et les modalités d'interaction (perceptives, motrices et cognitives) sont représentées par des jetons. Ce sont donc les modalités (jetons) qui permettent de passer d'un acte élémentaire à un autre. Si une place obligatoire n'est pas marquée (absence de jetons) car la ou les modalités sont déficientes ou absentes, la transition ne peut être franchie. Notre formalisme permet donc de voir, de façon schématique, quels actes élémentaires vont poser problème lorsqu'une modalité est déficiente ou absente (Figure 12). Les concepteurs peuvent alors intégrer des compensateurs provenant d'une modification des modalités d'interaction (ex : augmenter la taille et le contraste des caractères dans un message textuel) et/ou de l'utilisation de modalités alternatives.

Notre formalisme peut être utilisé tout au long du processus de conception : lors de l'analyse du besoin pour formaliser les résultats de l'analyse de l'existant et de l'analyse de l'activité ; pour illustrer le cahier des charges fonctionnel ; pour évaluer le produit et pour capitaliser les données en fin de projet. Comme toutes les méthodes liées à l'Ergonomie pour l'Innovation, sa philosophie est d'aider les concepteurs à imaginer l'usage d'un produit avant sa conception et d'en anticiper les problèmes potentiels. Ce formalisme a été utilisé pour définir un Cahier des Charges d'Evaluation Handicap de terminaux mobiles pour SFR-Cegetel, et il a été très apprécié pour ses qualités de synthèse des données d'analyse de l'existant et d'analyse des besoins des utilisateurs.

Cet exemple est développé dans l'Annexe J, qui a été publiée dans les actes de la conférence *ErgoIA* (Ergonomie et Informatique Avancée).

La troisième contribution a été réalisée dans le cadre du projet ANR-BUIS (2006-2009), qui a fait l'objet de 3 projets de M2R Innovation Conception Ingénierie.

Analyse de l'usage à distance

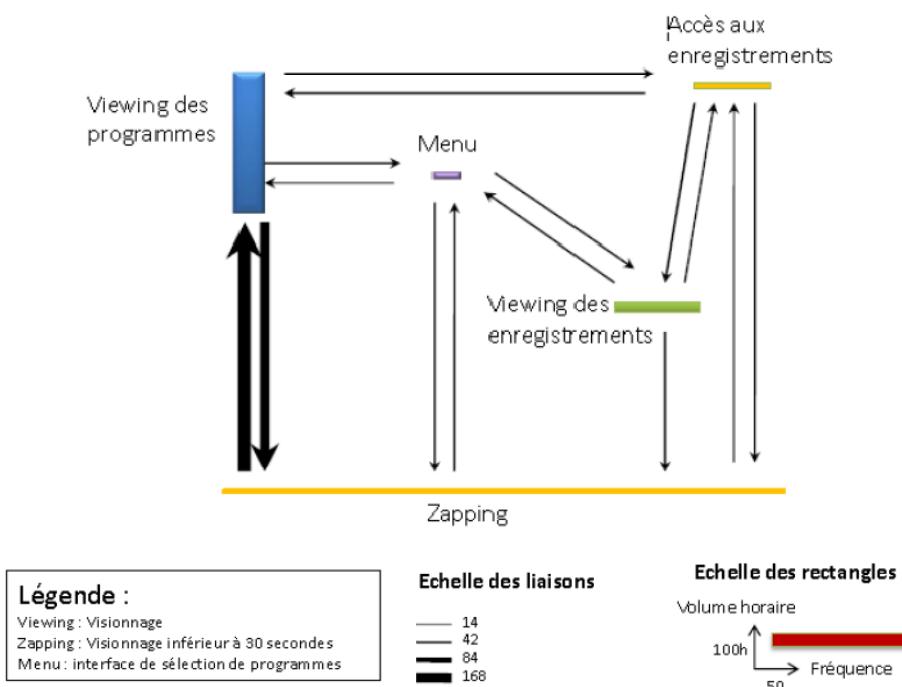
Dans ce troisième exemple nous utilisons les traces informatiques d'usages (ou *log files*) émises par les objets communicants de notre quotidien (ex : smartphone, ordinateur, box, console de jeu) dans le but de mener des analyses d'usage peu intrusives en milieu naturel, à distance et en continu. Cette méthode donne en outre accès à des panels plus larges, plus rapidement et à moindre coût par rapport aux plateformes d'usage simulé et aux études terrain. Mais en recueillant uniquement les traces informatiques d'usage, est-il possible de comprendre le comportement des utilisateurs et de modéliser l'usage ?

Cette étude s'inscrit dans une approche de cognition et d'action situées (Suchman, 1987), et de psychologie historico-culturelle (Rabardel, 1995; Kapteinin & Nardi, 2006). Ce cadre théorique incite à l'observation sur le terrain des schèmes d'usage des artefacts (Rabardel & Bourmaud, 2003) dans le but de mettre en évidence des phénomènes de « conception dans l'usage » provenant des utilisateurs, par opposition à la « conception pour l'usage » réalisée par les concepteurs (Folcher, 2003). S'il est reconnu que l'analyse des usages situés peut enrichir considérablement la conception, les méthodes pour y arriver sont soit très lourdes – par exemple la conception assistée par l'usage (Mallein & Trompette, 2006) – soit reposent sur des usagers exceptionnels comme les *lead users*

(Von Hippel, 2005). L'utilisation des traces d'usage comme modalité de communication entre utilisateurs et concepteurs offre une méthode alternative d'intégration des usages situés en conception, et un point de vue complémentaire aux autres méthodes d'analyse de l'usage (issues de la sociologie, de l'ethnométhodologie, de l'ergonomie, du marketing...).

Cette méthode a été appliquée à la conception d'un décodeur TNT doté d'un agent intelligent pour faciliter la navigation dans les contenus audiovisuels et interactifs. La visualisation étant une problématique importante des systèmes à base de traces (Cram *et al.*, 2007; Lund & Mille, 2009), nous avons choisi des modes de visualisation différents selon les phases du processus de conception (Figure 13) :

- Sous forme de graphes (synthèse des données recueillies pendant 1 mois), les traces nous ont permis de valider le besoin dans la mesure où nous avons pu quantifier le comportement de zapping (ce que nous n'aurions pas pu faire d'une autre manière car le zapping fait partie des comportements automatiques que les utilisateurs ne savent pas auto-estimer, et qui est probablement très sensible à la présence d'un observateur).
- Sous forme de *lifeline* lors de la conception générale, elles nous ont permis de remettre en contexte (programmes télévisés et services interactifs) l'histoire interactionnelle (zapping, écoute, recherche d'un programme, enregistrement, etc.). Cela permet de personnaliser les traces d'usage et de « lire » en accéléré le quotidien des familles, ce qui nous donne accès aux stratégies mises au point par certains usagers (Akrich, 1998; Von Hippel, 2005) et ainsi de pouvoir s'en inspirer pour concevoir / innover.
- Sous forme d'analyse en composantes principales (logs recueillis sur une durée totale d'un an, avec 3 points de mesure avant introduction de l'agent intelligent et 3 points de mesure après), nous avons pu observer l'évolution des comportements au long cours et contrecarrer un éventuel effet de nouveauté – en effet il était possible que dans les semaines suivant l'introduction de l'agent on en observe une surreprésentation dans l'usage liée à la curiosité des usagers mais pas forcément à l'utilité du service.



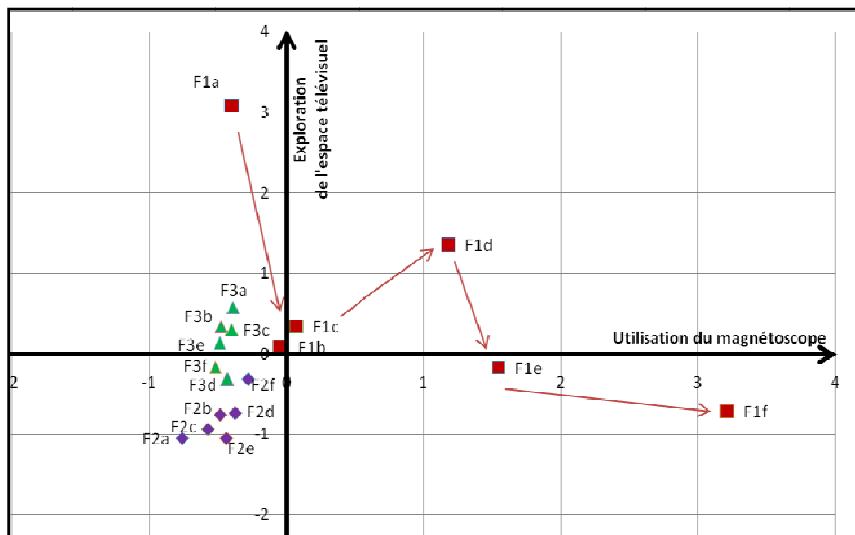
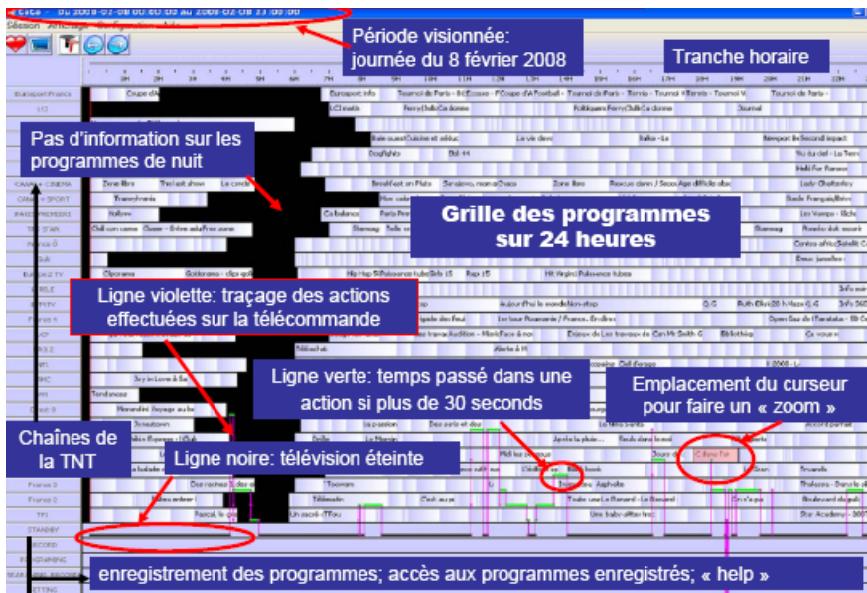


FIGURE 13: EXEMPLES DE VISUALISATION DES TRACES :
GRAPHE (HAUT), LIFELINE (MILIEU), ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (BAS).

Cette étude de cas a montré à la fois le potentiel de cette méthode et également ses points faibles : il est apparu de façon claire que, d'une part, cette méthode pouvait générer de nouvelles connaissances sur les usages et, d'autre part, qu'elle ne pouvait en aucun cas se substituer aux méthodes classiques d'analyse d'usage. Elle nous a permis de mieux connaître les familles d'utilisateurs qui ont participé au projet, et d'identifier des questions intéressantes, des thèmes à approfondir avec eux dans le cadre d'entretiens sociologiques. Mais de nombreux patterns d'utilisation seraient restés ininterprétables avec les seules traces d'usage.

En revanche cette méthode ouvre la voie à un processus d'Innovation dans l'usage, car elle a le potentiel de fermer la boucle de rétroaction entre conception dans l'usage et conception pour l'usage. Avec les produits traditionnels, non communicants, ces deux processus étaient forcément cloisonnés, ce qui supposait que les améliorations, personnalisations et Innovations apportées par les usagers échappaient aux concepteurs et industriels. Avec les produits numériques, une communication peut être établie à ce niveau, même si elle est imparfaite. En outre, certains produits

numériques comme le décodeur TNT que nous avons étudié peuvent être modifiés à distance, et donc accueillir « en ligne » à la fois les interventions des usagers et celles des concepteurs, ce qui multiplie encore les potentialités d'Innovations.

Cette étude est développée dans un article paru dans les actes de la conférence *Ingénierie des Connaissances*, joint en Annexe K. Nous reviendrons dans notre projet de recherche sur la possibilité de mener des analyses plus détaillées de l'impact des technologies et des éléments d'interface sur l'utilisabilité (analyse microscopique de l'Interaction Humain-Machine).

Publications associées à ce chapitre (dont publications sélectionnées en gras) :

Revues :

- Martin, J.C., Buisine, S., Pitel, G., Bernsen, N.O. (2006). Fusion of children's speech and 2D gestures when conversing with 3D characters. *Signal Processing*, vol. 86, pp. 3596-3624.
- Reeves, L.M., Lai, J., Larson, J.A., Oviatt, S., Balaji, T.S., Buisine, S., Collings, P., Cohen, P., Kraal, B., Martin, J.C., McTear, M., Raman, T.V., Stanney, K.M., Su, H., Wang, Q.Y. (2004). Guidelines for multimodal user interface design. *Communications of the ACM*, vol. 47(1), pp. 57-59.

Chapitre d'ouvrage :

- Turner, W.A., Buisine, S., Ganascia, J.G., Eveque, L., Fouladi, K., Marlier, J., Retamales, M. (2010). La conception innovante des objets à intelligence incorporée. In: J.M. Noyer, B. Juanals (Eds.), Les technologies intellectuelles au cœur de la transformation socio-technique, Paris : Lavoisier Hermès Science.

Conférences avec actes et comité de lecture :

- **Buisine, S., Fouladi, K., Nelson, J., Turner, W. (2010). Optimiser le processus d'innovation grâce aux traces informatiques d'usages. IC'2010 Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, pp. 145-156.**
- **Plos, O., Buisine, S. (2006). Décomposition Multimodale de l'Activité : Vers un outil d'aide à la conception. ErgoIA'06 Colloque francophone sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée (full paper), 7p.**
- Buisine, S., Martin, J.C. (2005). Children's and adults' multimodal interaction with 2D conversational agents. CHI'05 International Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1240-1243, ACM Press.
- Buisine, S., Martin, J.C., Bernsen, N.O. (2005). Children's gesture and speech in conversation with 3D characters. HCII'05 Human Computer Interaction International (full paper), 10p.
- Abrilian, S., Devillers, L., Buisine, S., Martin, J.C. (2005). EmoTV1: Annotation of real-life emotions for the specification of multimodal affective interfaces. HCII'05 Human Computer Interaction International (full paper), 10p.
- **Buisine, S., Martin, J.C. (2005). Conception d'une interface multimodale à partir des comportements utilisateurs. CPI'05 Colloque francophone Conception et Production Intégrées (full paper), 15p.**

Conférences invitées :

- Buisine, S., Martin, J.C. (2003). Experimental evaluation of multimodal interfaces based on multimodal corpora analysis. Nordic Symposium on Multimodal Communication, Copenhague, Danemark.

Mémoires universitaires :

- Buisine, S. (2005). Conception et évaluation d'agents conversationnels multimodaux bidirectionnels. Thèse de doctorat en Psychologie Cognitive – Ergonomie, sous la direction de JC. Martin, LIMSI-CNRS, et JC. Sperandio, Laboratoire d'Ergonomie Informatique, Université Paris Descartes.
- Buisine, S. (2002). Conception d'un cadre méthodologique pour l'évaluation et le développement d'interfaces multimodales. DESS d'Ergonomie, sous la direction de JC. Martin, LIMSI-CNRS.

Autres contributions (colloques, workshops...) :

- Eveque, L., Buisine, S., Turner, W. (2008). Conception assistée par l'usage in situ d'un décodeur TNT à intelligence incorporée. Confere'08 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, 3p.
- Marlier, J., Buisine, S., Turner, W. (2007). Vers un outil de co-conception produits-usages. Confere'07 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation, pp. 11-16.

- Buisine, S., Martin, J.C. (2006). L'étude de Corpus par Analyse en Composantes Principales. WACA'06 second Workshop francophone sur les Agents Conversationnels Animés, pp. 63-71.
- Plos, O., Tching, L., Foucher, A., Buisine, S. (2005). HTMA, un modèle d'analyse des tâches : Proposition d'un outil d'aide à la conception. Confere'05 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.
- Martin, J.C., Buisine, S., Abrilian, S. (2004). 2D gestural and multimodal behavior of users interacting with embodied agents. Workshop on Balanced Perception and Action in ECAs, AAMAS'04.
- Buisine, S., Martin, J.C. (2003). Design principles for cooperation between modalities in bi-directional multimodal interfaces. Workshop on Principles for Multimodal User Interface Design, CHI'03.
- Buisine, S., Abrilian, S., Rendu, C., Martin, J.C. (2002). Towards experimental specification and evaluation of lifelike multimodal behavior. Workshop "Embodied conversational agents - let's specify and compare them!", pp. 42-48, AAMAS'02.

PERSPECTIVES

Dans les projets d'Innovation, l'ergonome doit aussi se préoccuper des problèmes d'appropriation que les utilisateurs peuvent rencontrer face aux innovations. Un nouveau produit entraîne forcément une modification, plus ou moins sévère, des habitudes des utilisateurs, une reconfiguration de l'activité. Et même si ce produit est destiné, in fine, à améliorer la performance du système et le bien-être de l'utilisateur, cette adaptation a un coût.

Par exemple, une étude commandée par un assureur britannique en 2008 a établi que 300 000 automobilistes britanniques¹¹ avaient eu un accident à cause de leur GPS (Figure 14). Le chiffre est peut-être surestimé car le commanditaire n'est pas neutre dans l'affaire, et il devrait aussi être comparé au nombre d'accidents causés par des automobilistes qui cherchent leur route sans GPS. Cependant ce chiffre est révélateur du coût de l'adaptation à un nouvel artefact (en 2008 les GPS étaient encore nouveaux ; aujourd'hui on peut supposer qu'ils sont mieux intégrés dans l'activité de conduite). Comment mesurer ce surcroît de charge mentale ? Quelle est la courbe d'apprentissage / d'appropriation de l'innovation ? C'est à ces questions que nous souhaiterions pouvoir répondre.



FIGURE 14: UN GPS, ICI AVEC UN AFFICHAGE TETE HAUTE (PROJECTION SUR LE PARE-BRISE). BIEN QUE CONÇU POUR ETRE UNE AIDE A LA CONDUITE, CE TYPE DE DISPOSITIF NECESSITE UN TEMPS D'APPRENTISSAGE POUR L'UTILISATEUR.

Les variables visées (charge de travail, ressources attentionnelles, apprentissage...) ne peuvent pas s'observer directement et ne sont donc pas simples à mesurer. Elles peuvent être approximées par des paradigmes de double tâche (qui sont en général très artificiels et donc peu adaptés à l'analyse de l'usage) ou par l'intermédiaire de mesures subjectives. Or les mesures subjectives souffrent d'un certain nombre de biais cognitifs (Neuman, 2002) :

- Le biais de conformisme (Moore, 1921), qui peut apparaître en groupe lorsqu'une personne n'a pas le même avis que les autres. Elle peut cacher son avis et se conformer à celui de la majorité.

¹¹ Information parue dans le journal britannique Mirror du 21 juillet 2008 et reprise sur le site <http://www.pcimpact.com/news/44960-GPS-accident-conseils-securite-routiere.htm>

- Le biais de désirabilité sociale (Crowne & Marlowe, 1960), par exemple lorsque l'utilisateur rencontre des difficultés sur une tâche mais ne le dit pas pour ne pas être jugé.
- L'illusion d'introspection (Nisbett & Wilson, 1977) : on n'a pas toujours accès à ses processus cognitifs, certaines opérations mentales sont non conscientes et donc inaccessibles.
- Le biais de négativité (Baumeister *et al.*, 2001) : les utilisateurs privilégient parfois les aspects négatifs par rapport aux aspects positifs car il est plus facile de s'en souvenir.
- Le biais de non-réponse (Groves *et al.*, 2002) dans les questionnaires : l'utilisateur peut omettre volontairement ou involontairement certaines réponses à des questions, ou ne pas répondre du tout à une enquête.
- Enfin le biais de verbalisation (Vivier, 2008), qui apparaît lorsque l'utilisateur n'arrive pas à mettre des mots sur son ressenti.

Une troisième famille de méthodes pourrait permettre de mesurer la charge mentale lors de l'utilisation de produits nouveaux : les méthodes de la psychophysiologie et des neurosciences cognitives. En plus de leur caractère objectif, ces méthodes ont l'avantage d'être adaptées à toutes les catégories d'utilisateurs – alors que l'analyse du comportement et le recueil de données subjectives posent encore de nombreux défis en ce qui concerne certaines populations comme les enfants ou les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, par exemple.

Il existe des travaux que nous pourrions qualifier de « neurosciences des usages », par exemple dans le domaine aéronautique (Causse, 2010), automobile (Calhoun *et al.*, 2001; Calhoun *et al.*, 2004; Hsieh *et al.*, 2010), ou dans le jeu vidéo (He *et al.*, 2008; Salminen & Ravaja, 2008; Nacke *et al.*, 2011). Cependant ces études n'ont pas été réalisées dans un but de conception, et la question de l'intégration de telles méthodes dans le processus d'innovation reste entière. En particulier, nous nous demandons si l'activation cérébrale lors de l'utilisation d'un (futur) produit peut être prédite à partir d'un test sur une maquette, ou encore si l'analyse de la simulation mentale d'usage (ou simulation langagière, Béguin, 2004) par les méthodes des neurosciences peut être utile dans les phases amont du processus de conception et d'innovation.

Ces réflexions ont été initiées dans le cadre du projet FUSION financé par l'Institut Carnot ARTS, avec la participation d'Amandine Afonso (post-doc) et de Jessy Barré (doctorant), tous deux encadrés à 50% avec Améziane Aoussat.

Ces questions sont développées dans un article d'état de l'art fourni en Annexe L. L'appropriation étant un concept également valable pour les concepteurs à qui on fournit de nouveaux outils, nous aborderons dans notre projet de recherche des perspectives d'étude de l'effet de nouveauté et de sa dynamique au cours du temps.

Publications associées à ce chapitre (dont publication sélectionnée en gras) :

Revues :

- Naveteur, J., Buisine, S., Gruzelier, J.H. (2005). The influence of anxiety on electrodermal responses to distractors. *International Journal of Psychophysiology*, vol. 56, pp. 261-269.
- Hot, P., Buisine, S., Naveteur, J., Leconte, P., Sequeira, H. (2000). Diurnal variation of electrodermal activity in morning- and evening-type subjects (abstract). *Journal of Psychophysiology*, 14, s44.

Publication soumise :

- **Barré, J., Afonso, A., Buisine, S., Aoussat, A. (soumis).** *L'imagerie cérébrale et la conception de produit : Vers de nouveaux outils d'évaluation. Le Travail Humain.*

Mémoires universitaires :

- Buisine, S. (2001). Personnalité anxieuse et distractibilité - Approche psychophysiologique. DEA de Psychologie, sous la direction de J. Naveteur et H. Sequeira, Laboratoire de Neurosciences du Comportement, Université de Lille 1.
- Buisine, S. (2000). Variations diurnes de l'activité électrodermale chez des sujets matinaux et vespéraux. Maîtrise de Psychologie, sous la direction de J. Naveteur et H. Sequeira, Laboratoire de Neurosciences du Comportement, Université de Lille 1.

Autres contributions (colloques, workshops...) :

- Barré, J., Afonso Jaco, A., Buisine, S., Auissat, A. (2012). L'utilisation de l'EEG pour l'analyse des usages. Confere'12 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.

PROJET DE RECHERCHE

Dans le bilan nous avons décliné nos contributions à l'Ergonomie pour l'Innovation selon qu'elles visaient à *favoriser l'invention* ou à *favoriser la rencontre d'un marché*. En ce qui concerne le premier point, *l'invention*, nous avons montré comment l'ergonome, en tant que chef de projet, pouvait faire germer l'invention à partir de l'expression des besoins des utilisateurs. Nous avons également montré que des principes ergonomiques pouvaient structurer et stimuler l'invention dans des projets industriels. Nous avons également adopté un point de vue différent, celui de l'ergonome extérieur à l'équipe de conception, qui contribue à favoriser l'invention en fournissant aux concepteurs des outils de créativité plus efficaces.

Dans la seconde partie, *favoriser la rencontre d'un marché*, nous avons exposé les particularités des projets d'Innovation quant aux méthodes d'évaluation ergonomique : anticipation des usages avant la conception du produit, nouvelles méthodes d'analyse et de conception stimulées par les possibilités des nouvelles technologies, et problématique de l'appropriation de la nouveauté par les utilisateurs.

Le champ d'investigation de notre recherche étant le processus de conception et d'Innovation, nos travaux s'inscrivent dans le cadre des théories de la conception, et notamment de celle d'Herbert Simon (1973). En ce sens, les éléments méthodologiques que nous avons proposés pour l'Ergonomie pour l'Innovation visent à enrichir les trois opérations majeures de conception :

- *La structuration des problèmes de conception* : A cette opération l'ergonome apporte déjà son bagage méthodologique d'analyse des besoins. Nous proposons de renforcer et compléter ces méthodes pour mieux expliciter des besoins latents ou prospectifs : démarche de type IMAG'IN pour les cas particulièrement difficiles comme l'autocensure des besoins, et analyse prospective des usages pour structurer le problème par l'anticipation des futurs usages. Les recommandations ergonomiques contribuent elles aussi à structurer le problème, notamment en définissant des critères de validation pour le futur produit. Pour que cette structuration soit partagée par l'ensemble des concepteurs, nous proposons de traduire les recommandations de sorte qu'elles incluent le point de vue de chacun et pas seulement de l'ergonome (ex : point de vue du marché, de la technique, de l'ergonomie et du design comme dans EMFASIS). Le partage des informations de structuration du problème peut aussi être facilité par l'utilisation de formalismes : dans ce cadre nous avons proposé un formalisme d'analyse de l'activité qui permet de visualiser les modalités perceptives, motrices et cognitives mises en jeu dans l'utilisation d'un produit.
- *La résolution des problèmes de conception* : Pour améliorer la génération de solutions et l'invention, nous avons développé des outils technologiques support à la recherche créative (Brainstorming sur table interactive). Nous proposons aussi d'impliquer les utilisateurs dans une démarche de créativité participative qui prolonge l'analyse du besoin (méthode IMAG'IN) et d'utiliser des données comportementales réelles pour optimiser la conception de produit (conception d'interfaces multimodales centrée sur le comportement).

- *L'évaluation des solutions de conception* : Enfin nous proposons de nouvelles méthodes d'évaluation des produits ou des représentations intermédiaires de la conception, plus écologiques (analyse de l'usage à distance) et plus objective (mesure directe de la charge mentale). La première méthode utilise les propriétés de certaines Innovations (capacité des objets numériques et communicants à recueillir et transmettre des données d'usage), et la seconde vise à modéliser la dynamique d'appropriation des Innovations introduites dans le quotidien et dans des activités préexistantes.

Une autre retombée de nos travaux est que les méthodes d'Ergonomie pour l'Innovation permettent d'optimiser, d'une part, le processus d'intervention ergonomique et, d'autre part, le processus de conception transverse : intégration des besoins des utilisateurs et des principes ergonomiques dès le stade de l'invention, amélioration de la créativité, prise en compte des données comportementales au cœur de la conception, anticipation des usages futurs, etc. L'Ergonomie pour l'Innovation ne se substitue pas aux méthodes classiques de l'Ergonomie de conception et de l'Ergonomie de correction mais prépare le terrain pour que le déploiement de ces méthodes soit plus efficace. Nous envisageons donc que ces trois modes d'intervention ergonomique (innovation, conception, correction) se succèdent dans le processus afin d'anticiper le maximum d'éléments d'usage dès l'amont, de diminuer ainsi la durée d'intervention et le nombre d'itérations et de rendre les recommandations et prescriptions ergonomiques plus acceptables pour les concepteurs (car elles seraient délivrées d'autant plus tôt et seraient prises en compte dans les choix de conception, plutôt que d'y être réintégrées en fin de processus).

Notre bilan fait déjà état de plusieurs travaux qui constituent nos perspectives immédiates : ces travaux ont été initiés grâce à des projets récemment acceptés. Dans le projet de recherche qui fait l'objet de cette partie, nous allons engager une réflexion sur des thèmes de recherche à plus lointaine échéance et pour cela, nous avons choisi de nous concentrer davantage sur l'objectif de *favoriser l'invention*. En effet, si l'ergonome ne doit pas oublier sa mission – indispensable – d'évaluation des produits et des situations d'usage, nous pensons qu'il y a des perspectives plus originales à ouvrir, et des défis plus grands à relever, en ce qui concerne la relation entre Ergonomie et invention.

Notre recherche ne saurait être menée de façon isolée, et ne saurait se passer de la pluridisciplinarité qui l'a caractérisée jusqu'à présent. Aussi cette recherche sera influencée par l'environnement dans lequel il nous sera offert de la mener. En conséquence, nous développons par la suite trois déclinaisons de notre projet de recherche :

- Une première déclinaison qui pourrait être menée préférentiellement dans un univers de Sciences Humaines et Sociales, avec une approche centrée sur l'individu (projet Ergonomie / Psychologie). Ce projet est à la fois dans la continuité de nos travaux actuels, car il vise à analyser et favoriser le processus d'innovation individuel, et à la fois dans la continuité de notre formation initiale, car il s'inscrit dans un cadre méthodologique de psychologie différentielle et de psychométrie.
- La seconde déclinaison de notre projet de recherche (projet Génie Industriel) porte sur l'élaboration de nouvelles méthodes de conception / d'Innovation et sur l'analyse de la collaboration au sein de groupes de concepteurs pluridisciplinaires. Ce projet, qui requiert un

environnement d'ingénierie de conception, est dans la continuité directe de nos travaux actuels.

- Enfin la troisième déclinaison de notre projet de recherche se concentre sur les outils et technologies support aux activités de conception, d'Innovation et d'Ergonomie (projet Interaction Humain-Machine / Informatique). Ce projet de recherche renoue avec le background de nos travaux antérieurs (notamment nos travaux de doctorat) et permet d'enrichir, par une approche technologique, notre vision de l'Ergonomie pour l'Innovation.

De manière plus générale, nous aborderons dans notre projet de recherche des thématiques liées aux acteurs, aux méthodes, aux outils et aux secteurs de l'Ergonomie pour l'Innovation (Figure 15).

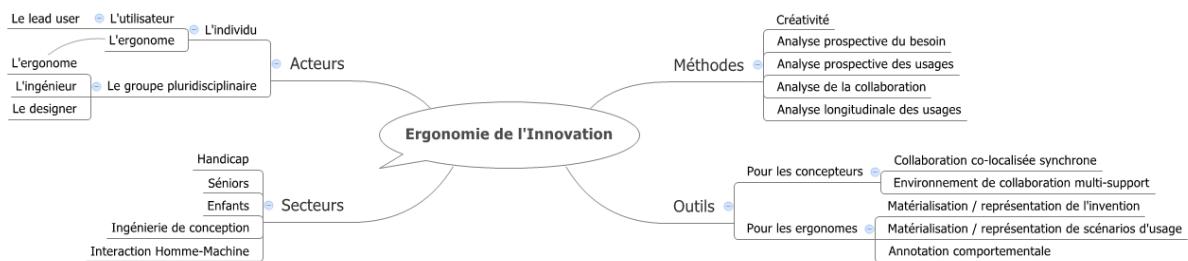


FIGURE 15: L'ENSEMBLE DES THEMATIQUES ABORDEES DANS NOTRE PROJET DE RECHERCHE.

PROJET ERGONOMIE / PSYCHOLOGIE

Dans le bilan de nos travaux, nous avons envisagé deux sources complémentaires d'invention : une source provenant de l'intervention de l'ergonome, auprès des utilisateurs (expression des besoins) ou auprès des autres concepteurs (principes ergonomiques et traduction de ceux-ci) ; la seconde source d'invention étant, bien sûr, l'équipe de conception (méthodes et outils de créativité).

Il manque un acteur fondamental dans cette vision de l'invention, l'utilisateur lui-même. En effet l'invention peut provenir directement de l'utilisateur. C'est d'ailleurs plus fréquent qu'on ne le pense : selon Von Hippel (2005), **10 à 40% des utilisateurs innovent**, développent eux-mêmes des adaptations sur des produits du commerce, reconçoivent ou conçoivent directement des artefacts, lorsqu'aucun des produits disponibles sur le marché ne répond à leur besoin. Ces inventions sont surtout le fait d'utilisateurs un peu particuliers, les *lead users* (utilisateurs pilotes). Le *lead user* est un précurseur, il éprouve des besoins avant les autres, et lorsqu'il trouve (ou fabrique) un produit répondant à ses besoins, il y a des chances que ce produit représente un fort potentiel de succès futur. Les inventions développées par les *lead users* se caractérisent par une excellente connaissance du besoin et du contexte d'utilisation (qu'aucune équipe de conception ne saurait acquérir). Ces inventions ne sont pas que des bricolages, lorsqu'elles sont industrialisées elles peuvent devenir de véritables innovations. Par exemple chez 3M, les ventes de produits issus d'inventions de *lead users* représentent huit fois plus de volume que les ventes de produits conçus par les concepteurs (Von Hippel, 2005), ce qui représente des chiffres vertigineux.

Un programme de recherche entier d'Ergonomie pour l'Innovation pourrait être dédié aux *lead users*. En effet, compte tenu de sa proximité avec le terrain et les utilisateurs, l'ergonome est particulièrement bien placé pour faire remonter ces inventions aux concepteurs, voire pour **susciter ces inventions**. Cela impliquerait, dans un premier temps, de systématiser la recherche de *lead users* dans chaque projet. Dans les études menées par Von Hippel, les *lead users* sont détectés *a posteriori*, par la méthode de la boule de neige (« *connaissez-vous des lead users ?* ») ou de la pyramide (« *connaissez-vous de meilleurs lead users que vous ?* »). Les caractéristiques principales des *lead users* sont : leur implication élevée vis-à-vis de leur communauté d'utilisateurs (ex : club, association, réseaux sociaux), leur position auto-estimée de précurseur et le fait qu'ils soient insatisfaits par les produits existants. Von Hippel précise qu'il n'est pas possible de les détecter *a priori*, de prédire quels utilisateurs sont susceptibles de produire les meilleures innovations. L'identification des *lead users* peut donc prendre plusieurs mois d'investigation sur le terrain à une équipe projet.

Une autre manière de détecter des *lead users* consiste à organiser des concours. Par exemple, dans le domaine du handicap, il existe en France le concours annuel des « Papas bricoleurs et mamans astucieuses » organisé par Handicap International¹² qui récompense des inventions « qui facilitent et améliorent l'autonomie et le quotidien des personnes handicapées ». A l'issue du concours chaque année, un livret avec les vingt meilleures inventions est édité et diffusé, il contient une description des inventions et de leur situation d'usage, un mode d'emploi pour ceux qui souhaiteraient fabriquer ces artefacts et un prix de revient. Cette démarche participe à la diffusion des inventions mais dans ce cas aussi, l'identification des *lead users* est longue et hasardeuse (tout comme la méthode Von Hippel, le processus du concours prend des mois).

Or nous pensons qu'il est possible de *devenir lead user*, et donc de simplifier le processus d'innovation en **formant des lead users** plutôt qu'en recherchant ceux qui sont des *lead users* naturels. Avec une meilleure compréhension des caractéristiques des *lead users*, nous pensons qu'il devient possible d'entraîner des individus¹³ (Lubart & Guignard, 2004) à acquérir un esprit critique vis-à-vis des produits qu'ils utilisent dans un domaine d'activité donné, à identifier des manques ou des failles dans ces produits existants et à proposer des solutions à ces manques ou ces failles.

La première phase de cette recherche consisterait donc à rassembler un panel d'utilisateurs dans un secteur donné (par exemple celui du handicap ; les utilisateurs étant les personnes en situation de handicap mais aussi les aidants familiaux et professionnels), dont des *lead users* (que l'on pourrait trouver soit par les méthodes de Von Hippel, soit grâce aux anciens concours des « Papas bricoleurs et mamans astucieuses »). On recueille le profil de l'ensemble des utilisateurs, sur les dimensions cognitive (ex : pensée analogique, pensée divergente, capacité à combiner des idées), conative (ex : style créatif, motivation créative), sociale et émotionnelle (Lubart, 1994; Lubart & Getz, 1998). On analyse ensuite les différences significatives entre les utilisateurs qui inventent et ceux qui n'inventent pas (*lead users* vs. utilisateurs ordinaires) puis, sur la base de ces différences, on conçoit des exercices (phase 2) destinés à entraîner les utilisateurs qui n'inventent pas sur les caractéristiques qui leur « manquent ». Enfin, pour recueillir leurs inventions après entraînement, on peut reproduire (phase 3) tout ou partie de la méthode IMAG'IN décrite dans le chapitre Conception pilotée par l'Ergonomie (p. 35) : carnets de bord, séminaires collectif de créativité, etc. Ces

¹² <http://mobilisezvous.handicap-international.fr/jagis/evenements/papas-bricoleurs.html>

¹³ Démarche inspirée de la méthode utilisée dans le projet ANR CREAPRO coordonné par Todd Lubart, qui vise à étudier le processus créatif dans différents domaines professionnels.

utilisateurs formés bénéficieraient donc de leur connaissance du besoin et du contexte d'usage, et grâce à la formation ils seraient dans des dispositions plus favorables à l'invention. Cependant ils n'auraient pas acquis de talent particulier pour la conception leur permettant de matérialiser leurs inventions. Pour ne pas les limiter en termes de faisabilité technique, on pourrait donc impliquer aussi des concepteurs dans les séminaires collectifs de créativité. Cette démarche pourrait donc aboutir à des inventions tout en permettant à des utilisateurs « lambda » de tendre à devenir *lead users*. Et il nous semble que nous avons tout à gagner à devenir, les uns et les autres, des *lead users* ou du moins des utilisateurs plus avertis, plus actifs dans notre relation aux produits de notre environnement : en effet les *lead users* sont porteurs de progrès technologique et de progrès social (Von Hippel, 2005).

Concernant notre démarche d'entraînement des *lead users*, il faudrait vérifier si les *lead users* de différents domaines ont un même profil cognitif, conatif, social et émotionnel. Si oui, il serait aisément de généraliser cette formation à chaque nouveau projet (dans ce cas, la démarche se limiterait aux phases 2 et 3 mentionnées plus haut). Sinon la démarche sera nécessairement plus longue, car il faudra répliquer également la phase 1 à chaque fois. Cette problématique de la **variabilité inter-domaine** constitue elle aussi un axe de recherche prometteur : les *lead users* dans les nouvelles technologies, dans le logiciel libre et l'open source, ont-ils les mêmes caractéristiques que ceux du domaine du handicap ? Un *lead user* dans un domaine très spécifique (ex : sport) a-t-il aussi des prédispositions à être *lead user* dans d'autres domaines ? Devient-il, en vieillissant, un *lead user* du marché des séniors ? La littérature suggère que ses capacités créatives dans différents domaines pourraient être corrélées faiblement mais positivement (Lubart, 1994), mais cette hypothèse sera à vérifier en ce qui concerne la capacité à inventer de nouveaux artefacts.

Nous souhaiterions mener ces études en priorité auprès des personnes en situation de handicap (avec leurs aidants familiaux et professionnels), domaine dans lequel nous avons déjà de l'expérience et où il y a encore un grand besoin d'innovation et de progrès social. La communauté des séniors fait aussi partie de nos centres d'intérêt, et sa prise en charge porte des enjeux sociétaux importants (vieillissement de la population, problématique économique du maintien à domicile, etc.). Par ailleurs, dans un principe de conception universelle, les innovations pour les séniors devraient profiter à l'ensemble de la population, de la même manière que les innovations destinées aux personnes en situation de handicap. Une troisième catégorie de population nous intéresse particulièrement : les enfants. Y a-t-il des *lead users* parmi les enfants ? Peut-on développer grâce à eux les jouets et jeux éducatifs de demain ? Les technologies numériques (webcam, appareil photo numérique, applications interactives), qui ont un pouvoir d'attraction important et une indéniable composante ludique, pourraient participer au développement de l'imaginaire et de la créativité chez les enfants (Vaucelle & Jehan, 2002; Ryokai *et al.*, 2003; Labrune & Mackay, 2005, 2007; Vaucelle & Ishii, 2008).

Augmenter l'Innovation par le biais des *lead users* nécessite aussi que ceux-ci disposent de moyens de conception accessibles, adaptés aux non-concepteurs (ex : outils de maquettage et de prototypage, *fab labs*, etc.). Ce point, qui touche aux outils de conception, sera traité dans le chapitre suivant (*Projet Génie Industriel*).

Ces travaux sur les *lead users* et sur l'Ergonomie pour l'Innovation en général représentent, dans une certaine mesure, une petite révolution culturelle pour la discipline de l'Ergonomie. Ce projet de

recherche nous inspire donc aussi un **projet pédagogique**, visant à faire évoluer les formations d'Ergonomie. Compte tenu de notre expérience auprès des concepteurs formés à Arts et Métiers ParisTech, nous pensons qu'il est indispensable pour que les ergonomes s'intègrent dans les projets de conception, qu'ils soient un minimum formés au processus de conception et aux méthodes d'ingénierie de la conception. L'avenir étant à l'Innovation, nous pensons que les ergonomes auront la chance d'être de plus en plus sollicités pour y prendre part. Leur formation à la conception devra ainsi s'accompagner d'une introduction aux concepts et aux méthodes de l'Innovation. Pour s'intégrer au mieux aux projets de conception et d'innovation, les ergonomes devront se considérer eux-mêmes comme des concepteurs, ce qui ne correspond pas à la représentation que la plupart d'entre eux se font de leur métier. Les avantages qu'il y a à être intégré comme un membre à part entière de l'équipe de conception sont bien sûr d'être impliqué plus tôt dans le processus (plutôt que d'attendre que les autres concepteurs aient « fini » leur travail et sollicitent une validation ergonomique en toute fin de projet) et d'avoir l'opportunité de contribuer tout au long de la conception. En plus d'optimiser les coûts et les délais, cela amène un autre avantage au niveau humain : les recommandations de l'ergonome sont mieux acceptées si celui-ci est un membre de l'équipe que s'il est un acteur extérieur, qui intervient comme un évaluateur, voire un censeur du travail des autres concepteurs (Dejean & Naël, 2004). L'inconvénient qui va de pair avec cet avantage est que l'ergonome-concepteur qui participe tout au long du projet risque de perdre une part de son objectivité et de sa distance avec le produit, et soit plus sensible à un biais de confirmation d'hypothèse, par exemple.

Nous proposons donc que le cursus des ergonomes en conception / Innovation inclue une formation aux méthodes et outils de créativité. A ce titre il serait certainement bénéfique que la créativité ne soit pas vue seulement comme un élément de culture générale concernant les activités de conception, mais comme un véritable outil d'Ergonomie. Les concepts et méthodes de la créativité sont en effet nécessaires pour mener par exemple une analyse prospective des usages, pour animer des workshops d'innovation avec les utilisateurs, pour former les *lead users*, etc. Nous voyons en cela la méthode des Personas comme un intermédiaire méthodologique, qui fait désormais partie de la boîte à outils des ergonomes et relève du processus de génération d'idées (Brangier *et al.*, 2012). La formation à la méthode des Personas pourrait donc être systématisée et servir d'introduction aux outils de créativité pour les ergonomes.

PROJET GENIE INDUSTRIEL

Dans cette partie sont consignés les projets dont l'objet est l'équipe de conception ou les méthodes de conception, et qui nécessitent par conséquent une grande proximité avec un environnement de Génie Industriel.

Dans le précédent projet, fléché Ergonomie / Psychologie, nous avons concentré notre recherche sur des individus. Dans le présent projet, nous souhaitons analyser des collectifs pluridisciplinaires de concepteurs. Cette perspective est positionnée dans le projet Génie Industriel car dans un tel environnement nous aurons un accès plus direct à des groupes de conception. En matière de pluridisciplinarité nous visons des groupes composés au minimum des trois disciplines qui forment notre environnement aux Arts et Métiers : l'Ingénierie de Conception, l'Ergonomie et le Design Industriel, potentiellement élargis au Marketing par exemple.

L'analyse de la collaboration est un sujet de recherche riche qui repose, en plus de l'analyse de la performance, sur l'analyse de données verbales, comportementales et artefactuelles (D'Astous *et al.*, 2004; Détienne *et al.*, 2005; Wolff *et al.*, 2005; Baker, 2010; Kahrimanis *et al.*, 2010; Dorta *et al.*, 2011) ainsi que sur des évaluations de juges (Burkhardt *et al.*, 2009; Safin *et al.*, 2010). Nous souhaitons coupler ces méthodes d'analyse avec des données individuelles de sorte à **étudier la composition des groupes et à rechercher un optimum de collaboration**. Cette démarche s'inspire de celle de Woolley *et al.* (2010), qui ont par exemple observé que la sensibilité sociale des membres d'un groupe était une variable permettant de prédire l'intelligence collective de ce groupe (et donc sa performance à de nombreuses tâches). Nous souhaiterions étudier plus particulièrement des tâches de créativité collective, l'influence des patterns de composition des groupes sur la performance de créativité. Pour maximiser la performance de créativité collective, faut-il rassembler les individus les plus créatifs ? Ou bien est-il plus efficace de former un groupe qui combine différents profils ? Sur cette question on peut raisonner, comme précédemment, au niveau des profils cognitif, conatif, social et émotionnel. Mais on peut aussi s'interroger sur le rôle de chacun (Détienne *et al.*, 2012) ou encore sur les profils professionnels des membres du groupe : la pluridisciplinarité, c'est-à-dire la diversité des approches du problème, est-elle importante pour les phases de divergence ? Ou bien est-elle uniquement nécessaire pour les phases de convergence ? La méthode du brainstorming a été conçue de sorte à inciter les participants à gommer leurs caractéristiques individuelles et leurs profils professionnels. Un ergonome dans un groupe de brainstorming n'est pas censé intervenir en qualité d'ergonome. Au contraire, il est censé faire tomber toutes les barrières de la censure et de l'autocensure, intervenir « en roue libre » (freewheeling; Osborn, 1953) et ne pas fermer la porte à des idées farfelues ou « non ergonomiques » dans son cas. Mais on ne peut douter qu'il reste des particularités individuelles dans la manière dont chacun participe à la génération d'idées. Les traits de personnalité notamment, restent : il existe de nombreuses études concernant l'influence de la personnalité sur la créativité individuelle, mais on sait aussi que certains traits de personnalité affectant un individu influencent la performance de l'ensemble du groupe en situation de créativité collective – c'est le cas par exemple de l'anxiété sociale (Camacho & Paulus, 1995). Nous avons nous-mêmes observé en analyse prospective des usages des contributions différenciées en fonction des métiers des participants, avec une richesse apportée par la bibliothèque mentale de situations des ergonomes (Daniellou & Béguin, 2004). L'analyse des profils individuels s'accompagnerait donc d'une recherche des meilleures combinaisons. On pourrait aussi tester l'influence, sur la performance de créativité, d'un certain nombre de variables liées au groupe, comme la cohésion, le degré de familiarité entre les membres du groupe, etc. Ceci dans le but de savoir comment composer des groupes *ad hoc* plus efficaces, mais aussi dans un but d'amélioration de groupes de travail existants ou de formation de futurs groupes. Dans ce dernier cas, la formation pourrait consister à entraîner les membres du groupe sur des caractéristiques complémentaires, les plus proches de leur profil initial, à renforcer leurs points forts ou corriger leurs points faibles vis-à-vis d'une collaboration optimisée.

Dans le cadre de ce projet en Génie Industriel, nous souhaiterions aussi concevoir et tester de manière itérative de **nouvelles méthodes de créativité**. Notre laboratoire actuel, le LCPI, constitue pour cela un cadre privilégié, car il rassemble déjà des compétences d'animation et de formation à la créativité. Comme évoqué précédemment dans le chapitre sur l'analyse prospective des usages, nous croyons au potentiel de **la bisociation**¹⁴ (ou bi-association, technique visant à susciter des rencontres

¹⁴ Néologisme forgé par Arthur Koestler (DesMesnards, 2011).

fortuites ou insolites) pour la créativité, mais sommes limités par les outils tels que les matrices de découverte qui sont trop coûteuses en temps. Alternativement, on peut créer des bisociations avec des mots (par exemple pris au hasard dans un dictionnaire), des images, des objets, des sons, etc. (DesMesnards, 2011). Lors de nos travaux antérieurs sur la créativité sur table interactive, nous avons déjà envisagé la possibilité de faire participer le système à la génération d'idées (Schmitt *et al.*, 2012) : nous avions imaginé que des post-it pourraient être créés par le système en rebondissant automatiquement, grâce à une base de données lexicale type WordNet¹⁵, sur des post-it édités par les participants. Si l'association opérée par le système « tombe juste », elle enrichit le brainstorming ; si elle est incongrue, elle est susceptible de déclencher un mécanisme de bisocation, et serait donc aussi enrichissante dans ce cas. C'est un des avantages de l'activité de créativité pour les systèmes computationnels : ce n'est pas toujours la pertinence qui est recherchée, comme nous l'avions aussi noté à propos des Agents Créatifs (Nishimoto *et al.*, 1996; Buisine *et al.*, 2007). En ce qui concerne la bisocation par le biais des images, il faut savoir que l'utilisation d'images autour d'une table (qu'elle soit interactive ou pas) présenterait un intérêt particulier. En effet, autour d'une table chacun a un point de vue différent sur l'image et est donc susceptible de former des associations d'idées différentes, multipliant les opportunités de divergence pour le groupe. Les images en elles-mêmes pourraient être présélectionnées pour offrir des sens de lecture multiples, ou pour comporter des objets cachés, à la manière des images d'Epinal. Le choix des images pourra également s'accompagner d'une réflexion, dans le cadre de la théorie C-K, sur leur nature expansive ou restrictive (Agogué *et al.*, 2011). Dans ces différentes conditions, notre objectif serait de tester l'intérêt de la bisocation par rapport à d'autres méthodes de créativité, par exemple le brainstorming simple ou la démarche d'analyse prospective des usages présentée précédemment (p. 50).

Nous souhaiterions aussi expérimenter dans des projets de conception la **génération de métaphores créatives par résonnance émotionnelle** (Lubart & Getz, 1997) : le principe est de partir d'un produit existant à reconcevoir (ex : un ascenseur), de le qualifier sur des dimensions sémantiques et émotionnelles, puis d'évoquer grâce à cela d'autres concepts émotionnellement similaires (ex : une cage). Le développement de cette métaphore (l'ascenseur vu comme une cage de zoo) ouvre ensuite à la génération d'idées pour reconcevoir et améliorer le produit initial. A cette procédure on pourrait imaginer ajouter une étape de génération d'un profil sémantique et émotionnel idéal qui donnerait lieu au développement d'une nouvelle métaphore et donc à une phase de génération d'idées tirée par l'idéal. Cette méthode donnerait en outre une nouvelle piste d'exploitation des outils d'analyse sémantique et émotionnelle développés au LCPI (Mantelet, 2006).

Pour enrichir la boîte à outils méthodologique de l'Ergonomie pour l'Innovation, il serait intéressant de tester d'autres méthodes de créativité :

- Par exemple une méthode utilisant la pragmatique (Mich *et al.*, 2005) et permettant **d'intégrer des points de vue différents** (ex : usager U1, usager U2) dans l'analyse des besoins : cette méthode repose sur une série de combinaisons de points de vue (ex : quels sont les besoins communs à U1 et U2 ; les besoins de U1 qui ne sont pas partagés par U2 et réciproquement ; les besoins qui ne concernent ni U1 ni U2...) et pourrait être avantageusement combinée avec la méthode des Personas (Brangier *et al.*, 2012) qui

¹⁵ <http://wordnet.princeton.edu/> ou pour une version française <https://gforge.inria.fr/projects/wolf/>

consiste à personnaliser U1 et U2 pour mieux se projeter dans leurs points de vue. On se situerait alors dans une démarche *d'analyse prospective des besoins*.

- Il existe dans TRIZ des *lois d'évolution des systèmes techniques* (Cavallucci, 2011) : intégralité, conductibilité, harmonisation, idéalité, etc. Sur le même principe, nous souhaiterions savoir s'il est possible de traduire ou de formuler des **lois d'évolution des usages**. Ces lois rendraient compte de tendances générales d'évolutions des usages, observées par le passé, et permettraient d'envisager des directions d'évolution potentielles pour les usages futurs dans un cadre d'Ergonomie prospective. Un processus d'invention tiré par les lois d'évolution des usages pourrait en outre mener à une continuité entre les produits autour de valeurs d'usage communes, c'est-à-dire à des *lignées de produits* ou *martingales d'innovation* (Le Masson *et al.*, 2006). Par exemple la loi 7 de TRIZ « transition vers le micro-niveau » est liée à l'évolution des systèmes techniques vers toujours plus de miniaturisation : cette évolution technique entraîne-t-elle toujours une évolution des usages ? De quelle manière ? Cette évolution est-elle suffisamment stable pour être qualifiée de Loi ? Autre exemple, selon la loi 4 de TRIZ, « idéalité », un système technique idéal est un système « qui n'existe pas » mais qui continue d'assumer ses fonctions. Du point de vue des usages, on retrouve ici la notion de dématérialisation de l'activité. On imagine aussi qu'une évolution à l'extrême en ce sens pourrait aboutir à une absence d'intervention de l'utilisateur – systèmes automatiques, intelligents ou ubiquitaires, qui représentent un défi important en termes d'ergonomie (Hoc, 2004; Norman, 2007). La réflexion sur les lois d'évolution des usages nécessite une expertise sur TRIZ : là aussi, le LCPI constitue un environnement privilégié car il possède une telle expertise.

Le dernier point de notre projet fléché Génie Industriel concerne les **outils de conception**. Lors de notre réflexion sur l'Ergonomie pour l'Innovation nous nous sommes heurtés à plusieurs reprises au problème de matérialisation des idées, qui est nécessaire pour inventer / innover mais nécessite des compétences particulières. Ces compétences ne sont aujourd'hui possédées ni par les ergonomes, ni par les utilisateurs, ce qui restreint potentiellement leurs capacités d'invention. Une axe de recherche pourrait donc se concentrer sur la conception d'outils de représentation / de maquettage à destination des ergonomes et de tout un chacun. Il existe déjà des outils de modélisation 3D gratuits à destination du grand public (ex : Google SketchUp¹⁶) qui pourraient servir de point de départ à notre réflexion : ces outils sont-ils utilisables par tous ? Quelles pourraient en être les voies d'amélioration en termes d'utilisabilité ? Le maillon suivant de la chaîne consiste à analyser l'utilisabilité des Fab Labs¹⁷ et des équipements de prototypage rapide grand public dont le New York Times prédit qu'ils vont ouvrir une ère de créativité et d'ingéniosité¹⁸. Il sera également nécessaire de mener une réflexion sur l'intégration et l'interopérabilité de ce type d'outils (modélisation 3D et prototypage) dans le processus de conception, dans la chaîne XAO et dans les solutions PLM (Segonds, 2011; Segonds *et al.*, 2011).

¹⁶ <http://sketchup.google.com/>

¹⁷ <http://fab.cba.mit.edu/about/charter/>

¹⁸ <http://www.nytimes.com/2010/09/14/technology/14print.html>

PROJET IHM / INFORMATIQUE

Dans ce troisième volet de notre projet de recherche nous développons une approche centrée sur les outils logiciels et technologies support à l'Ergonomie pour l'Innovation et qui nécessitera une grande proximité avec un environnement de recherche en IHM (Interaction Humain-Machine).

Dans un premier temps, nous souhaiterions pouvoir prolonger les travaux entrepris concernant les **outils à destination des concepteurs**. Cet axe de recherche a été initié grâce aux expériences de créativité sur table interactive. Comme développé précédemment, dans la première étape de ces recherches nous avons identifié un bénéfice des tables interactives sur des dimensions générales de la collaboration (équité des contributions, motivation, satisfaction) et non sur les dimensions spécifiques à la créativité. Nous faisons donc l'hypothèse que les tables interactives pourraient bénéficier à de nombreuses autres activités de conception, dès lors qu'elles requièrent une collaboration synchrone co-localisée. Il est alors possible d'imaginer utiliser une table interactive pour les activités d'analyse du besoin, d'analyse prospective des usages, de design, de conception détaillée (ex : Conception Assistée par Ordinateur), d'analyse des risques (ex : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) et pour toutes les revues de projet, par exemple. Cependant dans la plupart de ces activités, on peut distinguer des phases de divergence, ou de génération d'idées, et des phases de convergence, de prise de décision. Or il existe une hypothèse forte issue de la comparaison entre les technologies de tables et de tableaux interactifs (Jones *et al.*, 2011; Jones *et al.*, 2012) selon laquelle les tables seraient plus adaptées aux phases de divergence et les tableaux aux phases de convergence. Cette hypothèse mériterait d'être testée de manière formelle afin d'aboutir à la configuration matérielle et logicielle idéale pour favoriser le processus mental collectif de la conception. Une analyse approfondie des méthodes sera nécessaire car beaucoup d'entre elles mêlent à la fois divergence et convergence (ex : l'AMDEC, les 9 écrans issus de TRIZ, pour lesquels il existe cependant un réel besoin de support d'animation interactif). Au-delà des tables et des tableaux, cet environnement de collaboration multi-support pourrait aussi intégrer des tablettes ou autres dispositifs individuels, afin que les membres de l'équipe disposent également d'un espace de travail et de réflexion personnel. Il pourrait en outre intégrer des dispositifs immersifs comme le *Hybrid Ideation Space* (Dorta *et al.*, 2011) qui permet de s'immerger dans des représentations intermédiaires afin d'augmenter la collaboration et la génération d'idées. Le défi en matière d'IHM dans un tel environnement de travail réside bien sûr dans la communication entre les supports d'interaction, de sorte, par exemple, à pouvoir faire passer de façon fluide un document successivement de l'espace personnel à l'espace collectif de divergence, puis à l'espace collectif de convergence, en l'enrichissant au fur et à mesure, tout en conservant un historique des modifications apportées, etc.

Il existe trois approches de la relation humain-artefact (Folcher & Rabardel, 2004) : l'approche IHM (Interaction Humain-Machine), l'approche SHM (Système Humain-Machine) et l'approche de l'activité médiatisée. C'est cette dernière approche que nous avons adoptée jusqu'à présent dans nos expériences sur la table interactive. Nous avons en effet centré nos analyses sur l'activité de créativité et avons considéré le support d'interaction de façon macroscopique, sans nous intéresser aux détails de conception et d'évaluation de l'interface (approche IHM) ni à la distribution des fonctions entre les utilisateurs et le système (approche SHM). Dans un environnement de recherche IHM, nous pourrions compléter nos résultats en adoptant une **approche microscopique de l'interaction** et en systématisant l'analyse de l'impact de tel ou tel mode d'interaction sur les

comportements des utilisateurs, sur la performance et sur l'expérience subjective. Par exemple, nous avons montré que les styles d'interaction innovants autorisés par la table interactive apportaient un bénéfice sur la motivation des participants, mais nous ne sommes pas capables de déterminer quel(s) élément(s) de l'interaction / de l'interface en est (sont) responsable(s) : le lancer inertiel, l'insertion d'images via Google Images, le pie menu, les gestes bi-manuels de groupement, les slots de stockage ? Ou un peu tous ces éléments ? Y a-t-il, parmi ces styles d'interaction, certains qui sont essentiels à une expérience utilisateur positive, y en a-t-il qui sont superflus ou encore qui nuisent à l'expérience utilisateur (ex : clavier virtuel) ? Quel serait l'impact de l'introduction d'interacteurs tangibles sur la collaboration, la performance et la sphère subjective ? Ces questions pourraient faire l'objet d'un programme de recherche en Ergonomie des interfaces (de créativité) collaboratives. Notons enfin que l'approche SHM correspond à l'implémentation et l'analyse de situations dans lesquelles le système participerait à la génération d'idées, comme nous l'avons évoqué plus haut dans notre projet en Génie Industriel.

Une autre problématique systématiquement soulevée à propos de nos travaux est celle de **l'effet de nouveauté**. Il est vrai que c'est une question fondamentale pour l'Ergonomie de l'Innovation, qui par nature se confronte à la nouveauté et à son appropriation dans le temps. Les effets bénéfiques des tables interactives, sur la dynamique du groupe ou sur la motivation, perdurent-ils dans le temps ? Comment évoluent les variables comportementales et subjectives avec l'histoire de l'interaction ? Autant de questions passionnantes qui ne peuvent être explorées que par des analyses longitudinales de groupes et d'interfaces. En effet cette problématique concerne toutes les interfaces innovantes (et est tout aussi pertinente à propos de l'interaction et de la relation avec des personnages virtuels interactifs). Nous souhaiterions donc pouvoir suivre des groupes de travail existants, sur des projets réels, en milieu naturel, et analyser leurs pratiques professionnelles de façon longitudinale avant introduction du nouvel outil (ex : table interactive), puis après introduction et intégration dans l'usage.

Un des défis des interfaces de collaboration co-localisée synchrone est la gestion des actions simultanées d'utilisateurs multiples. Dans nos expériences nous avons toujours travaillé avec des groupes de quatre participants – ce chiffre correspondant avant tout à une contrainte matérielle liée à la taille de notre table interactive. Il se pose évidemment la question de savoir si les effets que nous avons observés (ex : équité des contributions, pression sociale) seraient répliqués avec des **groupes de plus grande taille**, ou si la comparaison sociale s'estompe à mesure que le groupe grandit, laissant alors la place au phénomène de *social loafing* qui pousse certains participants à se désinvestir en situation de travail en groupe (Serva & Fuller, 1997; McKinlay *et al.*, 1999). En effet nous faisons l'hypothèse que la proximité des participants autour de notre (petite) table interactive est en partie responsable des comportements de collaboration que nous avons observés. Nous avons eu l'occasion de participer au projet TATIN à l'Université de Technologie de Compiègne (Kendira *et al.*, 2010; Lehoux *et al.*, 2010) au cours duquel a été conçue une table interactive de grande dimension (83 pouces ; 1,6m*1,4m) autour de laquelle 6 à 8 participants peuvent collaborer. L'influence de la taille du groupe sur les comportements collaboratifs pourrait être explorée grâce à ce type de dispositif très prometteur. Mais dans cet objectif nous nous sommes heurtés à des difficultés matérielles d'analyse : une double prise de vue et une double prise de son (comme pour les expériences avec des groupes de 4) se sont avérées insuffisantes pour mener une annotation comportementale de qualité. Lorsque six personnes parlent et agissent en même temps, il devient extrêmement complexe de tracer les interactions : qui dit quoi, quel geste va avec quel flux verbal, à

quoi répond quel comportement ? Il nous a semblé que la complexité des comportements de collaboration augmentait de façon quadratique avec le nombre d'individus. La problématique de la taille du groupe et de son influence sur la collaboration s'accompagne donc d'une problématique technique touchant la plateforme d'analyse comportementale. Pour poursuivre cet objectif il faudrait notamment disposer de prises de vues individuelles en plus des prises de vue globales, de flux audio séparés, etc. La mise au point d'une plateforme technique d'analyse ergonomique est en soi un objectif de recherche ambitieux (Mollard *et al.*, 2012).

Ces limites que nous avons identifiées à nos techniques actuelles d'analyse comportementale ouvrent une transition vers les recherches IHM que nous aimerais effectuer concernant les **outils à destination des ergonomes**. L'élaboration d'outils de maquettage virtuel XAO pour ergonomes rejoint la problématique déjà évoquée dans notre projet fléché Génie Industriel. Mais il existe d'autres besoins de l'ergonome dans le processus de conception. Parallèlement à la matérialisation des produits, l'ergonome a également besoin de matérialiser des situations et des scénarios d'usage, dans un but de capitalisation des connaissances, de communication à destination des concepteurs et/ou des utilisateurs et dans un but de réflexion prospective. Dans ce contexte, nous pensons pertinent de disposer d'un outil permettant aux ergonomes de concevoir des story-boards ou des animations pour illustrer des situations d'usage. L'outil devrait permettre de mettre en scène des mannequins virtuels, des produits, des configurations de l'environnement, etc. Avec une grande précision sur les gestes et postures (accompagnée d'un modèle de plausibilité physiologique de ces gestes et postures), des possibilités simples et intuitives d'animer les mannequins, et des propriétés esthétiques acceptables pour l'ensemble des éléments (mannequins, produits, environnements) pour en faire un moyen de réflexion et de communication attractif. Enfin un autre besoin fort de l'ergonome a trait à l'activité d'annotation comportementale évoquée au paragraphe précédent. Il existe aujourd'hui des outils performants d'annotation vidéo (ex : Anvil¹⁹, Captiv²⁰, The Observer ou les autres produits Noldus²¹) mais ceux-ci restent des *supports* à l'activité d'annotation *manuelle*, qui reste extrêmement longue et fastidieuse malgré ces outils performants. L'avenir est peut-être à l'annotation semi-automatique ou automatique (Martin *et al.*, 2009) ? Le bénéfice potentiel pour la pratique de l'Ergonomie étant énorme, cette piste mérite d'être explorée.

Enfin un dernier axe de recherche que nous souhaiterions poursuivre en croisant Ergonomie pour l'Innovation et IHM concerne le **processus de créativité en IHM**. De la même manière que nous avons étudié des situations de créativité dans l'environnement de Génie Industriel offert par le LCPI, nous souhaiterions analyser la créativité des concepteurs et chercheurs en IHM, dans le but de comprendre et favoriser les inventions dans ce domaine. Parmi les grandes innovations IHM qui ont façonné le monde on peut citer l'invention de la souris ou de l'hypertexte, les widgets comme les ascenseurs, menus déroulants, etc. Certaines techniques de visualisation comme les Treemaps (Johnson & Shneiderman, 1991) sont aussi particulièrement inventives, comme l'illustre la célèbre Map of the Market (Figure 16) qui permet de visualiser en un clin d'œil l'état de la bourse (valeurs et fluctuations). Aujourd'hui l'interaction tactile est en train de remettre en question le paradigme WIMP (Window, Icon, Menu, Pointer) qui gouvernait l'outil informatique depuis plus de trente ans, et les chercheurs en IHM imaginent même des moyens d'interaction spécialement conçus pour la main qui tient le dispositif tactile (Wagner *et al.*, 2012). L'analyse psychologique et ergonomique du

¹⁹ <http://www.anvil-software.org/>

²⁰ <http://www.teaergo.com/>

²¹ <http://www.noldus.com/human-behavior-research>

processus créatif en IHM, qui est peut-être similaire ou différent de celui en ingénierie de conception, pourrait aider à favoriser l'invention des modes et modalités d'interaction de demain.



FIGURE 16: MAP OF THE MARKET, UNE INFOGRAPHIE PERMETTANT DE VISUALISER EN UN CLIN D'ŒIL L'ETAT DE LA BOURSE A PARTIR DE 3 PARAMETRES : LA TAILLE DES PORTIONS, LEUR COULEUR ET LEUR POSITION.

[HTTP://WWW.SMARTMONEY.COM/MAP-OF-THE-MARKET/](http://www.smartmoney.com/map-of-the-market/)

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches nous avons abordé un domaine que nous jugeons original car peu répandu dans la pratique professionnelle, celui de l'Ergonomie pour l'Innovation. Nos contributions à ce domaine, qui sont synthétisées dans ce mémoire (voir aussi la Figure 17), ont été alimentées de projets de recherche menés au Laboratoire Conception de Produits et Innovation d'Arts et Métiers ParisTech. Ces projets nous ont amenés à identifier différents positionnements de l'ergonome qui permettent le développement d'une Ergonomie pour l'Innovation : l'ergonome à l'initiative de l'Innovation, l'ergonome chef de projet d'Innovation, membre de l'équipe d'Innovation, analyste de l'activité d'Innovation ou encore observateur de l'usage des Innovations. Nous avons initié plusieurs contributions méthodologiques à ce domaine en émergence : traduction, pour innover, des principes de conception universelle, outils de créativité, analyse prospective des usages, expression des besoins, méthodes de conception et d'évaluation des technologies multimodales et communicantes, etc. Vis-à-vis des théories de la conception, ces travaux enrichissent les trois opérations fondamentales de la conception : la structuration de problème, la résolution de problème et l'évaluation des solutions. Enfin, ces méthodes ayant été développées pour les phases amont de la conception, elles tendent à optimiser à la fois l'intervention ergonomique et le processus de conception et d'Innovation transverse.

La réflexion, cependant, ne fait que commencer et nous amène à proposer au moins autant de pistes de recherche futures que de briques que nous avons déjà posées. La poursuite de recherches en ce sens est justifiée par le fait que l'Innovation soit une problématique de grande actualité, et une solution dans laquelle de nombreux acteurs du monde socioéconomique placent leurs espoirs.



FIGURE 17: NUAGE DE MOTS-CLES REALISE SOUS WORDLE A PARTIR DU TEXTE DE CE MEMOIRE. <HTTP://WWW.WORDLE.NET/>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Agogué, M., Kazakçi, A.O., Weil, B., Cassotti, M., &. 2011. (2011). The impacts of examples on creative design: Explaining fixation and stimulation effects. ICED International Conference on Engineering Design,
2. Akrich, M. (1998). Les utilisateurs, acteurs de l'innovation. *Education permanente*, 134, pp. 79-89.
3. Akrich, M., Callon, M., & Latour, B. (1988). A quoi tient le succès des innovations? *Annales des Mines*, 11, pp. 4-17.
4. Altshuller, G., & Altov, H. (1996). *And suddenly the inventor appeared: TRIZ, the theory of inventive problem solving*. Worcester: Technical Innovation Center.
5. Altshuller, G.S. (1984). *Creativity as an exact science*. New York, NY: Gordon and Breach Science Publishers.
6. Amabile, T.M. (1983). The social psychology of creativity: A componential conceptualization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45, pp. 357-376.
7. Anastassova, M., Mégard, C., & Burkhardt, J.M. (2007). Prototype evaluation and user-needs analysis in the early design of emerging technologies. HCII 2007 International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 383-392, Springer-Verlag.
8. Annett, J., & Duncan, K.D. (1967). Task analysis and training design. *Occupational Psychology*, 41, pp. 211-221.
9. Aoussat, A. (1990). *La pertinence en innovation: nécessité d'une approche plurielle*. ENSAM, Paris.
10. Baker, M. (2010). Close collaboration, dialogical thinking and affective regulation. *International Reports on Socio-Informatics*, 7, pp. 57-64.
11. Barcellini, F., Détienne, F., Burkhardt, J.M., & Sack, W. (2008). A socio-cognitive analysis of online design discussions in an Open Source Software community. *Interacting with Computers*, 20, pp. 141-165.
12. Barcenilla, J., & Bastien, J.M.C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies: Quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur? *Le Travail Humain*, 72, pp. 311-331.
13. Bartis, S., Szymanski, K., & Harkins, S.G. (1988). Evaluation and performance: A two-edged knife. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 14, pp. 242-251.
14. Baumeister, R.F., Bratslavsky, E., Finkenauer, C., & Vohs, K.D. (2001). Bad is stronger than good. *Review of General Psychology*, 5, pp. 323-370.
15. Bazzaro, F., Charrier, M., & Sagot, J. (2012). Design et ergonomie: Facteurs d'innovation dans la conception. Congrès de la SELF Société d'Ergonomie de Langue Française, pp. 7-13,
16. Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., Grenning, J., Highsmith, J., Hunt, A., Jeffries, R., Kern, J., Marick, B., Martin, R.C., Mellor, S., Schwaber, K., Sutherland, J., & Thomas, D. (2001). *Manifesto for agile software development: agilemanifesto.org*.
17. Béguin, P. (2004). L'ergonome, acteur de la conception. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*, pp. 375-390. Paris: PUF.
18. Bessiere, K., Seay, F., & Kiesler, S. (2007). The Ideal Elf: Identity exploration in World of Warcraft. *Cyberpsychology and Behavior*, 10, pp. 530-535.
19. Bickmore, T., & Cassell, J. (1999). Small talk and conversational storytelling in embodied interface agents. AAAI Symposium on Narrative Intelligence, pp. 87-92,
20. Bobiller Chaumont, M.E. (2003). Evolutions Techniques et mutations du travail: émergence de nouveaux modèles d'activité. *Le Travail Humain*, 66(2), pp. 163-194.
21. Boehm, B.W. (1988). A spiral model of software development and enhancement. *IEEE Computer*, 21, pp. 61-72.
22. Boly, V. (2004). *Ingénierie de l'innovation: Organisation et méthodologies des entreprises innovantes*. Paris: Hermès Science.
23. Boly, V. (2011). Connaître les praticiens et les parties prenantes de l'innovation. In *Déployer l'innovation*. Paris: Techniques de l'Ingénieur.
24. Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception: Approches cognitives et ergonomiques*. Marseille: Solal Editions.

25. Bonnardel, N. (2009). Activités de conception et créativité: de l'analyse des facteurs cognitifs à l'assistance aux activités de conception créatives. *Le Travail Humain*, 72(1), pp. 5-22.
26. Bouchard, C., Mantelet, F., Aoussat, A., Solves, C., Gonzales, J.C., Coleman, S., & Pearce, K. (2009). A European emotional investigation in the field of shoes design. *International Journal of Product Development*, 7, pp. 3-27.
27. Brangier, E., Bornet, C., Bastien, J., Michel, G., & Vivian, R. (2012). Effets des Personas et contraintes fonctionnelles sur l'idéation dans la conception d'une bibliothèque numérique. *Le Travail Humain*, 75, pp. 121-145.
28. Brangier, E., & Robert, J. (2010). Manifeste pour l'ergonomie prospective: Anticiper de futures activités humaines en vue de concevoir de nouveaux artéfacts. IHM'10, pp. 57-64,
29. Buisine, S., Aoussat, A., & Martin, J.C. (2007). Embodied Creative Agents: A social-cognitive framework. IVA'07 International Conference on Intelligent Virtual Agents, pp. 304-316, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
30. Burkhardt, J.M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie: Quelques apports réciproques. *Le Travail Humain*, 66, pp. 65-91.
31. Burkhardt, J.M., Détienne, F., Hébert, A.M., & Perron, L. (2009). Assessing the "quality of collaboration" in technology-mediated design situations with several dimensions. Interact'09, pp. 157-160, LNCS 5727.
32. Burkhardt, J.M., & Sperandio, J.C. (2004). Ergonomie et conception informatique. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*, pp. 437-450. Paris: PUF.
33. Burleson, W. (2005). Developing creativity, motivation, and self-actualization with learning systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, 63, pp. 436-451.
34. Calhoun, V.D., McGinty, V., Pekar, J., Watson, T., & Pearlson, G. (2001). Investigation of marinol (THC) effects upon fMRI activation during active and passive driving using independent component analysis and SPM. *NeuroImage*, 13, pp. 388.
35. Calhoun, V.D., Pekar, J.J., & Pearlson, G.D. (2004). Alcohol intoxication effects on simulated driving: exploring alcohol-dose effects on brain activation using functional MRI. *Neuropsychopharmacology*, 29, pp. 2097-2107.
36. Camacho, L.M., & Paulus, P.B. (1995). The role of social anxiousness in group brainstorming. *Journal of Personality and Social Psychology*, 68(6), pp. 1071-1080.
37. Cassell, J., Sullivan, J., Prevost, S., & Churchill, E. (2000). *Embodied Conversational Agents*. Cambridge: MIT Press.
38. Causse, M. (2010). *Influence de la récompense et de l'âge sur la performance de pilotage: Une contribution de la neuroergonomie à la sécurité aérienne*. Université de Toulouse.
39. Cavallucci, D. (2011). Orienter un projet par la TRIZ: Les lois d'évolution des systèmes techniques. In *Déployer l'Innovation*. Paris: Techniques de l'Ingénieur.
40. Chan, C.C.H., Wong, A.W.K., Lee, T.M.C., & Chi, I. (2009). Modified automatic teller machine prototype for older adults: A case study of participative approach to inclusive design. *Applied Ergonomics*, 40, pp. 151-160.
41. Chapanis, A. (1968). *Man-machine engineering*. London: Tavistock publications.
42. Chevalier, A., Anceaux, F., & Tijus, C. (2009). Les activités de conception: Créativité, coopération, assistance. *Le Travail Humain*, 72, pp. 1-4.
43. Cram, D., Jouvin, D., & Mille, A. (2007). Visualisation interactive de traces et réflexivité: application à l'EIAH collaboratif synchrone eMédiathèque. STICEF, 14, pp.
44. Crowne, D.P., & Marlowe, D. (1960). A new scale of social desirability independent of psychopathology. *Journal of Consulting Psychology*, 24, pp. 349-354.
45. D'Astous, P., Détienne, F., Visser, W., & Robillard, P.N. (2004). Changing our view on design evaluation meetings methodology: A study of software technical review meetings. *Design Studies*, 25, pp. 625-655.
46. Dahlbäck, N., Jönsson, A., & Ahrenberg, L. (1993). Wizard of Oz studies - Why and how. IUI'93, pp. 193-200, ACM Press.
47. Daniellou, F. (2004). L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*. Paris: PUF.
48. Daniellou, F., & Béguin, P. (2004). Méthodologie de l'action ergonomique: Approches du travail réel. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*, pp. 335-358. Paris: PUF.
49. Daniellou, F., & Rabardel, P. (2005). Activity-oriented approaches to ergonomics: some traditions and communities. *Theoretical issues in ergonomics science*, 6(5), pp. 353-357.

50. Darses, F. (2009). Résolution collective des problèmes de conception. *Le Travail Humain*, 72, pp. 43-59.
51. Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (2004). Les activités de conception et leur assistance. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*, pp. 545-563. Paris: Presses Universitaires de France.
52. Darses, F., & Wolff, M. (2006). How do designers represent to themselves the users' needs? *Applied Ergonomics*, 37, pp. 757-764.
53. Das, T.K., & Teng, B.S. (1999). Cognitive biases and strategic decision processes: An integrative perspective. *Journal of Management Studies*, 36, pp. 757-778.
54. de Dreu, C.K.W., Nijstad, B.A., & van Knippenberg, D. (2008). Motivated information processing in group judgment and decision making. *Personality and Social Psychology Review*, 12, pp. 22-49.
55. de Sá, M., & Carriço, L. (2008). Defining scenarios for mobile design and evaluation. CHI2008 International Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 2847-2852,
56. Dejean, P.H., & Naël, M. (2004). Ergonomie du produit. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*, pp. 463-477. Paris: PUF.
57. DesMesnards, P.H. (2011). Mettre en œuvre la technique des rencontres inattendues: La bisociation. In *Déployer l'innovation*. Paris: Techniques de l'Ingénieur.
58. Détienne, F., Barcellini, F., & Burkhardt, J.M. (2012). Participation à la conception et qualité du produit dans les communautés en ligne épistémiques: Nouvelles directions de recherche en ergonomie des activités de conception. *Activités*, 9, pp. 39-63.
59. Détienne, F., Martin, G., & Lavigne, E. (2005). Viewpoints in co-design: A field study in concurrent engineering. *Design Studies*, 26, pp. 215-241.
60. Dorta, T., Lesage, A., Pérez, E., & Bastien, J.M.C. (2011). Signs of Collaborative Ideation and the Hybrid Ideation Space. *Design Creativity* 2010, pp. 199-206,
61. Duchamp, R. (1999). *Méthodes de conception de produits nouveaux*. Paris: Hermès Science Publications.
62. Dugosh, K.L., & Paulus, P.B. (2005). Cognitive and social comparison processes in brainstorming. *Journal of Experimental Social Psychology*, 41, pp. 313-320.
63. Dugosh, K.L., Paulus, P.B., Roland, E.J., & Yang, H.C. (2000). Cognitive stimulation in brainstorming. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(5), pp. 722-735.
64. Eysenck, M.W. (1992). *Anxiety. The cognitive perspective*. Hove: Lawrence Erlbaum.
65. Falzon, P. (2004). Nature, objectifs et connaissances de l'ergonomie. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*, Vol. 17-35. Paris: PUF.
66. Fearnley, N., Flügel, S., & Ramjerdi, F. (2011). Passengers' valuations of universal design measures in public transport. *Research in Transportation Business & Management*, 2, pp. 83-91.
67. Folcher, V. (2003). Appropriating artifacts as instruments: When design-for-use meets design-in-use. *Interacting With Computers*, 15, pp. 647-663.
68. Folcher, V., & Rabardel, P. (2004). Hommes, artefacts, activités: Perspective instrumentale. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*, pp. 251-268. Paris: PUF.
69. Geis, C., Bierhals, R., Schuster, I., Badke-Schaub, P., & Birkhofer, H. (2008). Methods in practice - A study on requirements for development and transfer of design methods. Proceedings of DESIGN 2008 International Design Conference, pp. 369-376,
70. Gaget, M. (1998). *La dynamique stratégique de l'entreprise: Innovation, croissance et redéploiement à partir de l'arbre de compétences*. Paris: Dunod.
71. Go, K., & Carroll, J.M. (2004). Scenario-based task analysis. In D. Diaper & N.A. Stanton (Eds.), *The handbook of task analysis for human-computer interaction*, pp. 117-134. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
72. Goodman, J., Dong, H., Langdon, P., & Clarkson, J. (2006). Factors involved in Industry's: Response to inclusive design. 3rd Cambridge Workshop on Universal Access and Assitive Technology (CWUATT), pp. 31-39,
73. Grandjean, E. (1985). *Précis d'Ergonomie*. Paris: Editions d'Organisation.
74. Groves, R.M., Dilman, D.A., Eltinge, J.L., & Little, R.J.A. (2002). *Survey nonresponse*. New York: Wiley.
75. Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F., Durrafour, J., Kerguelen, A., & Rouilleault, H. (2006). *Comprendre le travail pour le transformer: la pratique de l'ergonomie*. Lyon: ANACT.
76. Hanington, B. (2003). Methods in the making: A perspective on the state of human research in design. *Design Issues*, 19, pp. 9-18.
77. Harkins, S.G., & Jackson, J.M. (1985). The role of evaluation in eliminating social loafing. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 11(4), pp. 457-465.

78. Hatchuel, A., Le Masson, P., & Weil, B. (2002). De la gestion des connaissances aux organisations orientées conception. *Revue Internationale des Sciences Sociales*, 171, pp. 29-42.
79. He, E.J., Yuan, H., Yang, L., Sheikholeslami, C., & He, B. (2008). EEG spatio-spectral mapping during video game play. ITAB International Conference on Technology and Applications in Biomedicine, pp. 346-348,
80. Hendry, D.G., Mackenzie, S., Kurth, A., Spielberg, F., & Larkin, J. (2005). Evaluating paper prototypes on the street. CHI'05 International Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1447-1450,
81. Heslin, P.A. (2009). Better than brainstorming? Potential boundary conditions to brainwriting for idea generation in organizations. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 82, pp. 129-145.
82. Hirano, Y.M., Yamazaki, Y., Shimizu, J., Togari, T., & Bryce, T.J. (2006). Ventilator dependence and expressions of need: a study of patients with amyotrophic lateral sclerosis in Japan. *Social Science and Medicine*, 62, pp. 1403-1413.
83. Hoc, J.M. (2004). Vers une coopération homme-machine en situation dynamique. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie*, pp. 269-283. Paris: PUF.
84. Hsieh, L., Seaman, S., & Young, R. (2010). Effect of emotional speech tone on driving from lab to road: fMRI and ERP studies. 2nd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, pp. 22-28,
85. IEA. (2000). What is Ergonomics. IEA website www.iea.cc
86. ISO9241-210. (2010). *Ergonomie de l'interaction homme-système -- Partie 210: Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs*. Geneva: ISO International Organization for Standardization.
87. ISO13407. (1999). *Human-centred design processes for interactive systems*. Genève: International Organization for Standardization.
88. Johnson, B., & Shneiderman, B. (1991). Tree-maps: A space-filling approach to the visualization of hierarchical information structures. Visualization '91 IEEE Conference on Visualization, pp. 284-291,
89. Jones, A., Kendira, A., Gidel, T., Moulin, C., Lenne, D., Barthès, J.P., & Guerra, A. (2012). Evaluating collaboration in table-centric interactive spaces. DCIS 2012: AVI workshop on Designing Collaborative Interactive Spaces,
90. Jones, A., Kendira, A., Lenne, D., Gidel, T., & Moulin, C. (2011). The TATIN-PIC project: A multi-modal collaborative work environment for preliminary design. CSCWD International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, pp. 154-161,
91. Kahrimanis, G., Chounta, I.A., & Avouris, N. (2010). Study of correlations between logfile-based metrics of interaction and the quality of synchronous collaboration. *International Reports on Socio-Informatics*, 7, pp. 24-31.
92. Kaptelinin, V., & Nardi, B. (2006). *Acting with technology: Activity theory and interaction design*. Cambridge: MIT Press.
93. Kelly, P., & Kranzberg, M. (1978). *Technological innovation: A critical review of current knowledge*. San Francisco: San Francisco Press.
94. Kendira, A., Jones, A., Lehoux, G., Gidel, T., Buisine, S., & Lenne, D. (2010). Project Tatin: Creativity and collaboration during a preliminary product design session using an interactive tabletop surface. IDMME Virtual Concept, pp. 158-164,
95. Kramer, T.J., Fleming, G.P., & Mannis, S.M. (2001). Improving face-to-face brainstorming through modeling and facilitation. *Small Group Research*, 32, pp. 533-557.
96. Labrune, J.B., & Mackay, W. (2005). Tangicam: Exploring observation tools for children. IDC '05: Conference on Interaction design and children, pp. 95-102,
97. Labrune, J.B., & Mackay, W. (2007). SketchCam: Creative photography for children. IDC '07: 6th international conference on Interaction design and children, pp. 153-156,
98. Le Masson, P., Weil, B., & Hatchuel, A. (2006). *Les processus d'innovation: Conception innovante et croissance des entreprises*. Paris: Hermès Science.
99. Lee, M.W., Yun, M.H., & Han, S.H. (2001). High Touch - An innovative scheme for new product development: Case studies 1994-1998. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27, pp. 271-283.
100. Lehoux, G., Kendira, A., Gidel, T., & Buisine, S. (2010). Projet Tatin: Vers l'analyse de la créativité en phase de conception préliminaire collaborative autour d'une table interactive. Confere'10 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation,

101. Lim, Y., Pangam, A., Periyasami, S., & Aneja, S. (2006). Comparative analysis of high- and low fidelity prototypes for more valid usability evaluations of mobile devices. NordiCHI '06 Nordic Conference on Human-Computer Interaction, pp. 291-300,
102. Lubart, T.I. (1994). Creativity. In R.J. Sternberg (Ed.), *Thinking and problem solving*, pp. 289-332. New York: Academic Press.
103. Lubart, T.I., & Getz, I. (1997). Emotion, metaphor, and the creative process. *Creativity Research Journal*, 10, pp. 285-301.
104. Lubart, T.I., & Getz, I. (1998). The influence of heuristics on psychological science: A case study of research on creativity. *Journal of the Theory of Social Behaviour*, 28, pp. 435-457.
105. Lubart, T.I., & Guignard, J.H. (2004). The generality-specificity of creativity: A multivariate approach. In R.J. Sternberg, E.L. Grigorenko & J.L. Singer (Eds.), *Creativity: From potential to realization*, pp. 43-56. Washington, DC, US: American Psychological Association.
106. Lund, K., & Mille, A. (2009). Traces, traces d'interactions, traces d'apprentissages: définitions, modèles informatiques, structurations, traitements et usages. In *Analyse de traces et personnalisation des environnements informatiques pour l'apprentissage humain*.
107. MacKay, R.B., & McKiernan, P. (2004). The role of hindsight in foresight: Refining strategic reasoning. *Futures*, 36, pp. 161-179.
108. MacKenzie, I.S., & Read, J.C. (2007). Using paper mockups for evaluating soft keyboard layouts. CASCON 2007 Conference on Computer Science and Software Engineering, pp. 98-108,
109. Mallein, P., & Trompette, P. (2006). Co-conception de produits et d'usages innovants. *Pacte Politiques publiques, Action politique, Territoires*, pp.
110. Mantelet, F. (2006). *Prise en compte de la perception émotionnelle du consommateur dans le processus de conception de produits*. Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris.
111. Martin, J.C., Caridakis, G., Devillers, L., Karpouzis, K., & Abrilian, S. (2009). Manual annotation and automatic image processing of multimodal emotional behaviors: Validating the annotation of TV interviews. *Personal and Ubiquitous Computing*, 13, pp. 69-76.
112. Martin, J.C., Grimard, S., & Alexandri, K. (2001). On the annotation of the multimodal behavior and computation of cooperation between modalities. International Conference on Autonomous Agents Workshop on Representing, Annotating, and Evaluating Non-Verbal and Verbal Communicative Acts to Achieve Contextual Embodied Agents, pp. 1-7,
113. Maule, J.A., Robert, G., Hockey, J., & Bdzola, L. (2000). Effects of time-pressure on decision-making under uncertainty: Changes in affective state and information processing strategy. *Acta Psychologica*, 104, pp. 283-301.
114. Maunoury, J. (1968). *La genèse des innovations*. Paris: Presses Universitaires de France.
115. McDermid, J., & Ripken, K. (1984). *Life cycle support in the ADA environment*: University Press.
116. McKinlay, A., Procter, R., & Dunnett, A. (1999). An investigation of social loafing and social compensation in computer-supported cooperative work. GROUP'99, pp. 249-257, ACM Press.
117. Messinger, P.R., Ge, X., Stroulia, E., Lyons, K., Smirnov, K., & Bone, M. (2008). On the relationship between my avatar and myself. *Journal of Virtual Worlds Research*, 1, pp.
118. Mich, L., Anesi, C., & Berry, D.M. (2005). Applying a pragmatics-based creativity-fostering technique to requirements elicitation. *Requirements Engineering*, 10, pp. 262-275.
119. Michinov, N., & Primois, C. (2005). Improving productivity and creativity in online groups through social comparison process: New evidence for asynchronous electronic brainstorming. *Computers in Human Behavior*, 21, pp. 11-28.
120. Midler, C., Beaume, R., & Maniak, R. (2012). *Réenchanter l'industrie par l'innovation*. Paris: Dunod.
121. Mollard, R., Wolff, M., Couture, N., & Clay, A. (2012). Développement d'une plate-forme d'évaluation personnalisable et adaptable pour l'étude du comportement émotionnel en situation de multisolicitation. *Le Travail Humain*, 75, pp. 253-277.
122. Mollo, V., & Falzon, P. (2004). Auto- and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied Ergonomics*, 35, pp. 531-540.
123. Mondragon, S., Company, P., & Vergara, M. (2005). Semantic differential applied to the evaluation of machine tool design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35, pp. 1021-1029.
124. Moore, H.T. (1921). The comparative influence of majority and expert opinion. *American Journal of Psychology*, 32, pp. 16-20.
125. Nacke, L.E., Stellmach, S., & Lindley, C.A. (2011). Electroencephalographic assessment of player experience: A pilot study in affective ludology. *Simulation Gaming*, 42, pp. 632-655.

126. Navarre, D. (2001). *Contribution à l'ingénierie en Interaction Homme Machine - Une technique de description formelle et un environnement pour une modélisation et une exploitation synergiques des tâches et du système*: Thèse de l'Université de Toulouse.
127. Nesse, R.M. (1999). Proximate and evolutionary studies of anxiety, stress and depression: Synergy at the interface. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 23, pp. 895-903.
128. Neuman, W.L. (2002). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. Boston: Allyn and Bacon.
129. Newell, A., & Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Englewood cliffs, NJ: Prentice Hall.
130. Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*: Academic Press.
131. Nigay, L., & Coutaz, J. (1993). Design space for multimodal systems: Concurrent processing and data fusion. *InterCHI'93*, pp. 172-178, ACM Press.
132. Nijstad, B.A., & Stroebe, W. (2006). How the group affects the mind: A cognitive model of idea generation in groups. *Personality and Social Psychology Review*, 10, pp. 186-213.
133. Nijstad, B.A., Stroebe, W., & Lodewijkx, H.F.M. (2002). Cognitive stimulation and interference in groups: Exposure effects in an idea generation task. *Journal of Experimental Social Psychology*, 38, pp. 535-544.
134. Nisbett, R.E., & Wilson, T.D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84, pp. 231-259.
135. Nishimoto, K., Sumi, Y., & Mase, K. (1996). Toward an outsider agent for supporting a brainstorming session - An information retrieval method from a different viewpoint. *Knowledge-Based Systems*, 9, pp. 377-384.
136. Norman, D.A. (2007). *The design of future things*. New York, NY: Basic Books.
137. Nowak, E. (1996). The role of anthropometry in design of work and life environments of the disabled population. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 17, pp. 113-121.
138. OCDE. (1997). *Manuel d'Oslo. 2nde édition*.
139. Odeck, J., Hagen, T., & Fearnley, N. (2010). Economic appraisal of universal design in transport: Experiences from Norway. *Research in Transportation Economics*, 29, pp. 304-311.
140. Offner, A.K., Kramer, T.J., & Winter, J.P. (1996). The effects of facilitation, recording, and pauses on group brainstorming. *Small Group Research*, 27, pp. 283-298.
141. Osborn, A.F. (1953). *Applied Imagination. Principles and procedures of creative problem-solving*: Charles Scribner's Sons.
142. Oviatt, S.L. (1999). Ten myths of multimodal interaction. *Communications of the ACM*, 42, pp. 74-81.
143. Oviatt, S.L. (2003). Multimodal interfaces. In J.A. Jacko & A. Sears (Eds.), *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, evolving technologies and emerging applications*, pp. 286-304. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
144. Oviatt, S.L., Cohen, P.R., Wu, L., Vergo, J., Duncan, L., Suhm, B., Bers, J., Holzman, T., Winograd, T., Landay, J., Larson, J., & Ferro, D. (2000). Designing the user interface for multimodal speech and gesture applications: State-of-the-art systems and research directions. *Human Computer Interaction*, 15, pp. 263-322.
145. Oxley, N.L., Dzindolet, M.T., & Paulus, P.B. (1996). The effects of facilitators on the performance of brainstorming groups. *Journal of Social Behavior and Personality*, 11(4), pp. 633-646.
146. Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering design - A systematic approach. 3rd ed.* Berlin: Springer.
147. Paulus, P.B., & Dzindolet, M.T. (1993). Social influence processes in group brainstorming. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64(4), pp. 575-586.
148. Paulus, P.B., Nakui, T., Putman, V.L., & Brown, V.R. (2006). Effects of task instructions and brief breaks on brainstorming. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 10(3), pp. 206-219.
149. Paulus, P.B., & Yang, H.C. (2000). Idea generation in groups: A basis for creativity in organizations. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82, pp. 76-87.
150. Perrin, J. (2001). *Concevoir l'innovation industrielle*. Paris: CNRS Editions.
151. Petiot, J.F., & Yannou, B. (2004). Measuring consumer perceptions for a better comprehension, specification and assessment of product semantics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33, pp. 507-525.
152. Porter, J.M., Case, K., Marshall, R., Gyi, D., & Oliver, R.S. (2004). 'Beyond Jack and Jill': Designing for individuals using HADRIAN. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33, pp. 249-264.
153. Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies: Une approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Université de Paris 8.

154. Rabardel, P., & Bourmaud, G. (2003). From computer to instrument system: A developmental perspective. *Interacting With Computers*, 15, pp. 665-691.
155. Reeves, B., & Nass, C. (1996). *The Media Equation. How people treat computers, television, and new media like real people and places*. New York: Cambridge University Press.
156. Rettig, M. (1994). Prototyping for tiny fingers. *Communications of the ACM*, 37, pp. 21-27.
157. Robert, J.M., & Brangier, E. (2009). What is prospective ergonomics? A reflection and a position on the future of ergonomics. Universal access in HCI, pp. 162-169, Springer-Verlag.
158. Rosson, M.B., & Carroll, J.M. (2002). *Usability engineering: Scenario-based development of human-computer interaction*. San Diego, CA: Academic Press.
159. Ryokai, K., Vaucelle, C., & Cassell, J. (2003). Virtual peers as partners in storytelling and literacy learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19, pp. 195-208.
160. Safin, S., Verschueren, A., Burkhardt, J.M., Détienne, F., & Hébert, A.M. (2010). Quality of collaboration in a distant collaborative architectural educational setting. *International Reports on Socio-Informatics*, 7, pp. 40-48.
161. Sagot, J. (2012). Innover en plaçant l'Homme au centre du processus de conception (conférence plénière). Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française,
162. Sagot, J., Gouin, V., & Gomes, S. (2003). Ergonomics in product design: Safety factor. *Safety Science*, 41, pp. 137-154.
163. Sagot, J., Mahdjoub, M., & Gomes, S. (2005). Concevoir la fonction d'usage à travers l'ergonomie. Actes du colloque « Le design en question(s) »,
164. Salhied, S.E.M., & Kamrani, A.K. (2008). Chapter 10-Modular design. In A.K. Kamrani & E.S. Abouel Nasr (Eds.), *Collaborative Engineering: Theory and Practice*, pp. 207-226: Springer.
165. Salminen, M., & Ravaja, N. (2008). Increased oscillatory theta activation evoked by violentdigital game events. *Neuroscience Letters*, 435, pp. 69-72.
166. Savransky, S.D. (2000). *Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. Boca Raton, FL: CRC Press.
167. Scapin, D., & Bastien, J. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. *Behaviour & Information Technology*, 16, pp. 220-231.
168. Scapin, D.L., & Bastien, J.M.C. (2001). Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception: L'approche MAD*. In C. Kolski (Ed.), *Analyse et Conception de l'IHM*, pp. 85-116. Paris: Hermès Science Publications.
169. Schmitt, L., Buisine, S., Chaboissier, J., Aoussat, A., & Vernier, F. (2012). Dynamic tabletop interfaces for increasing creativity. *Computers in Human Behavior*, 28, pp. 1892-1901.
170. Schumpeter, J. (1934). *The theory of economic development*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
171. Schumpeter, J. (1939). *Business cycles*: Mac Graw Hill.
172. Sefelin, R., Tscheligi, M., & Giller, V. (2003). Paper prototyping - What is it good for? A comparison of paper- and computer-based prototyping. CHI '03 International Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 778-779,
173. Segonds, F. (2011). *Contribution à l'intégration d'un environnement collaboratif en conception amont de produits*. Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.
174. Segonds, F., Maranzana, N., Veron, P., & Aoussat, A. (2011). PLM and design education: A collaborative experiment on a mechanical device. International Conference on Product Lifecycle Management,
175. Serva, M.A., & Fuller, M.A. (1997). Preventing social loafing in the collaborative technology classroom. SIGCPR'97, pp. 84-86, ACM Press.
176. Shen, C., Ryall, K., Forlines, C., Esenthaler, A., Vernier, F., Everitt, K., Wu, M., Wigdor, D., Ringel Morris, M., Hancock, M., & Tse, E. (2006). Informing the design of direct-touch tabletops. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 56-66.
177. Simon, H.A. (1973). The structure of ill-structured problems. *Artificial Intelligence*, 4, pp. 181-201.
178. Sperandio, J.C. (1988). *L'ergonomie du travail mental*. Paris: Masson.
179. Sperandio, J.C. (Ed.). (1996). *L'ergonomie face aux changements technologiques et organisationnels du travail humain*. Toulouse: Octarès.
180. Stroebe, W., Nijstad, B.A., & Rietzschel, E.F. (2010). Beyond productivity loss in brainstorming groups: The evolution of a question. In M.P. Zanna & J.M. Olson (Eds.), *Advances in Experimental Social Psychology*, Vol. 43, pp. 157-203.

181. Suchman, L. (1987). *Plans and situated actions: The problem of Human Machine Communication*. New York, NY: Cambridge University Press.
182. Tomiyama, T., Gu, P., Jin, Y., Lutters, D., Kind, C., & Kimura, F. (2009). Design methodologies: Industrial and educational applications. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58, pp. 543-565.
183. Torrance, E.P. (1966). *The Torrance Tests of Creative Thinking*. Princeton: Personnel Press.
184. TraceR&DCenter. (2000). *Universal Design research project final report: Understanding and increasing the adoption of Universal Design in product design*. University of Wisconsin-Madison: Trace R&D Center.
185. Van Kleef, E., van Trijp, H.C.M., & Luning, P. (2005). Consumer research in the early stages of new product development: A critical review of methods and techniques. *Food Quality and Preference*, pp. 181-201.
186. Vanderheiden, G.C. (1996). *Universal Design... What it is and what it isn't*. University of Wisconsin, Madison.
187. Vanderheiden, G.C., & Tobias, J. (2000). Universal Design of consumer products: Current industry practice and perceptions. XIVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association, pp. 19-22,
188. Vaucelle, C., & Ishii, H. (2008). Picture this! Film assembly using toy gestures. UbiComp'08 10th international conference on Ubiquitous computing, pp. 350-359,
189. Vaucelle, C., & Jehan, T. (2002). Dolltalk: A computational toy to enhance children's creativity. CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 776-777,
190. Vickoff, J. (2009). *Méthode agile: Les meilleures pratiques. Compréhension et mise en oeuvre*: Editions QI.
191. Visser, W. (2009). La conception: De la résolution de problèmes à la construction de représentations. *Le Travail Humain*, 72, pp. 61-78.
192. Vivier, J. (2008). La traduction des émotions. Approche psycholinguistique. In D. Mellier, P. Le Maléfan & J. Vivier (Eds.), *Le langage émotionnel, le comprendre et le parler*, pp. 99-118: Publications de l'Université de Rouen et du Havre.
193. Von Hippel, E. (2005). *Democratizing innovation*. Cambridge, MA: MIT Press.
194. Voros, J. (2009). Morphological prospection: Profiling the shapes of things to come. *Foresight*, 11, pp. 4-20.
195. Wagner, J., Huot, S., & Mackay, W. (2012). BiTouch and BiPad: Designing bimanual interaction for hand-held tablets. CHI'12 International Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 2317-2326,
196. Wang, J., Yannou, B., Alizon, F., & Yvars, P.A. (in press). A usage coverage-based approach for assessing product family design. *Engineering with Computers*, pp.
197. Wolff, M., Burkhardt, J.M., & de la Garza, C. (2005). Analyse exploratoire de "points de vue": Une contribution pour outiller les processus de conception. *Le Travail Humain*, 68, pp. 253-286.
198. Woolley, A.N., Chabris, C.F., Pentland, A., Hashmi, N., & Malone, T.W. (2010). Evidence for a collective intelligence factor in the performance of human groups. *Science*, 330, pp. 686-688.
199. Yannou, B., Hajsaalem, S., & Limayem, F. (2002). Comparaison de la méthode SPEC et de l'Analyse de la Valeur pour l'aide à la conception préliminaire de produits. *Mécanique & Industries*, 3, pp. 189-199.
200. Yee, N., & Bailenson, J. (2007). The Proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior. *Human Communication Research*, 33, pp. 271-290.
201. Yee, N., Bailenson, J.N., & Ducheneaut, N. (2009). The Proteus effect. Implications of transformed digital self-representation on online and offline behavior. *Communication Research*, 36, pp. 285-312.
202. Yoshikawa, H. (1985). Design Theory for CAD/CAM Integration. *Annals of CIRP*, 34, pp. 173-178.

ANNEXES

ANNEXE A

90

Plos, O., Buisine, S., Aoussat, A., Mantelet, F., Dumas, C. (2012). A Universalist strategy for the design of Assistive Technology. International Journal of Industrial Ergonomics, vol. 42, pp. 533-541.

ANNEXE B

99

Buisine, S., Plos, O., Aoussat, A. (2011). Innovons pour les personnes en situation de handicap (fiche pratique). Déployer l'innovation, Paris : Techniques de l'Ingénieur.

Buisine, S., Plos, O., Aoussat, A. (2011). La conception universelle, inclusive (fiche pratique). Déployer l'innovation, Paris : Techniques de l'Ingénieur.

ANNEXE C

109

Buisine, S., Besacier, G., Aoussat, A., Vernier, F. (2012). How do interactive tabletop systems influence collaboration? Computers in Human Behavior, vol. 28, pp. 49-59.

ANNEXE D

120

Schmitt, L., Buisine, S., Chaboissier, J., Aoussat, A., Vernier, F. (2012). Dynamic tabletop interfaces for increasing creativity. Computers in Human Behavior, vol. 28, pp. 1892-1901.

ANNEXE E

130

Buisine, S., Aoussat, A., Martin, J.C. (2007). Embodied Creative Agents: A social-cognitive framework. In: C. Pelachaud et al. (Eds.): IVA'07 International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNAI 4722, pp. 304-316, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

ANNEXE F

143

Buisine, S., Martin, J.C. (2007). The effects of speech-gesture cooperation in animated agents' behavior in multimedia presentations. Interacting with Computers, vol. 19, pp. 484-493.

ANNEXE G

153

Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (accepté). Anticipating the use of future things: Towards a framework for prospective use analysis in innovation design projects. Applied Ergonomics.

ANNEXE H

162

Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A. (2012). A methodological proposal to assist scenario-based design in the early stages of innovation projects. Le Travail Humain, vol. 75, pp. 279-305.

ANNEXE I

190

Buisine, S., Martin, J.C. (2005). Conception d'une interface multimodale à partir des comportements utilisateurs. CPI'05 Colloque francophone Conception et Production Intégrées (full paper), 15p.

ANNEXE J

205

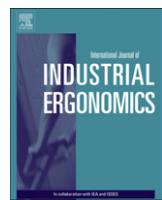
Plos, O., Buisine, S. (2006). Décomposition Multimodale de l'Activité : Vers un outil d'aide à la conception. ErgoIA'06 Colloque francophone sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée (full paper), 7p.

ANNEXE K**213**

Buisine, S., Fouladi, K., Nelson, J., Turner, W. (2010). Optimiser le processus d'innovation grâce aux traces informatiques d'usages. IC'2010 Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, pp. 145-156.

ANNEXE L**225**

Barré, J., Afonso, A., Buisine, S., Aoussat, A. (soumis). L'imagerie cérébrale et la conception de produit : Vers de nouveaux outils d'évaluation. Le Travail Humain.



A Universalist strategy for the design of Assistive Technology

Ornella Plos ^{a,b}, Stéphanie Buisine ^{a,*}, Améziane Aoussat ^a, Fabrice Mantelet ^a, Claude Dumas ^c

^a Arts et Métiers ParisTech, LCPI, 151 bd Hôpital, 75013 Paris, France

^b AFM, 1 rue de l'Internationale, BP 59, 91002 Evry cedex, France

^c CEREMH, 10-12 avenue de l'Europe, 78140 Vélizy, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 May 2012

Received in revised form

28 July 2012

Accepted 7 September 2012

Available online xxx

Keywords:

Universal Design

Assistive Technologies

Niche marketing

ABSTRACT

Assistive Technologies are specialized products aiming to partly compensate for the loss of autonomy experienced by disabled people. Because they address special needs in a highly-segmented market, they are often considered as niche products. To improve their design and make them tend to Universalism, we propose the EMFASIS framework (Extended Modularity, Functional Accessibility, and Social Integration Strategy). We first elaborate on how this strategy conciliates niche and Universalist views, which may appear conflicting at first sight. We then present three examples illustrating its application for designing Assistive Technologies: the design of an overbed table, an upper-limb powered orthosis and a powered wheelchair. We conclude on the expected outcomes of our strategy for the social integration and participation of disabled people.

Relevance to industry: Our design framework is expected to stimulate innovation in the field of Assistive Technology. The three examples provided are intended to make the EMFASIS principles easier to understand and apply for designers and manufacturers.

© 2012 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

More than 500 million people around the world are considered as disabled because of a mental, a physical or a sensory deficiency. Many historical (e.g. Second World War disabled persons) and sociodemographic factors (e.g. aging population, medical development) change the look we take at disabled people. Beyond cultural differences between countries, care policies in Europe or in the United States convey a real concern for improving life conditions of people with disability and aim to favor their social participation: for example right for the compensation of disability, integration into education and work, accessible environment, products and services (Coleman et al., 2003; Borg et al., 2009). To achieve an accessible society, disabilities must be taken into account as soon as in the planning and design of equipments or the organization of activities: this is the principle of Universalist philosophies like Universal Design. In parallel to such movements, the technologies for health and autonomy have developed and aim to meet the same needs.

Ergonomists have their say in disability management and Assistive Technology design. From the incorporation of Ergonomics in rehabilitation projects (Kumar, 1992), the ergonomic approach

has been used for example in job analysis (Chi, 1999), identification of appropriate employment for disabled people (Shrey and Breslin, 1992; Chen and Ko, 1994), and adaptation of users' home and workplace (Eriksson and Johansson, 1996). Ergonomics also participates in the design and prescription of Assistive Technologies, mainly by providing anthropometric data accounting for specific body structure of the disabled (Nowak, 1996; Sims et al., 2012), kinematic or kinesiologic analyses of activities (Ait El Menceur et al., 2008; Sangelkar et al., 2012), capabilities databases (Porter et al., 2004; Tenneti et al., 2012), collection of functional needs (Cowan and Khan, 2005) or deficiency simulation (Rousek and Hallbeck, 2011). Ergonomics also provides evaluation tools for products and environments developed within the framework of Universal Design (Beecher and Paquet, 2005; Afacan and Erbug, 2009; Gray et al., 2012) as well as design guidelines (Nisbet, 1996; Abascal and Nicolle, 2005).

The multiple benefits of combining technological (e.g. market, product, process) and ergonomic requirements in a concurrent design approach was repeatedly shown in the literature (Mital, 1995; Lee et al., 2001; Kim et al., 2008; Battini et al., 2011), despite some designers' resistance who consider that Ergonomics should be cared of at use site rather than in the design process (Kim et al., 2008). For this reason, we propose in this paper a wider approach of ergonomic intervention for the design of Assistive Technologies, including functional needs, accessibility, social acceptability, but also cost-effectiveness and marketing concerns.

* Corresponding author. Tel.: +33 1 44 24 63 77; fax: +33 1 44 24 63 59.
E-mail address: stephanie.buisine@ensam.eu (S. Buisine).

2. Assistive Technologies

Assistive Technologies include a large number of products, systems and services which aim to compensate for a loss of autonomy, in the medical and social domains (Newell, 2003). Assistive Technologies aim to provide a support to disabled people in their everyday life and for their social participation. However, some critical aspects of Assistive Technology industry in Europe were emphasized (Vernardakis et al., 1995), in particular with regard to innovation. The following limitations were notably identified: the characteristics of companies (e.g. size, know-how, techno-centered approach); the oriented competition (e.g. segmentation in accordance with disabilities) or quasi-monopolistic competition; the influence of the third party supporting parts of the costs of Assistive Technologies (e.g. health insurance, power of associations); the lack of knowledge of end-users' needs (needs related to using and purchasing Assistive Technologies). Specialized or medicalized products also bear the risk of stigmatizing their users (Coleman et al., 2003) because they tend to emphasize the disability in the person's social identity. Finally, although the global volume of the market may seem important, particularly if elderly people are included, it appears to be divided into numerous niches, segmenting the market as a function of users' disabilities (motor, sensory or cognitive disabilities) or functional impairments.

Because it is impossible to imagine a single product suitable for everybody, there will always be a market for specialized products adapted to individuals with special needs. However, in a Universalist approach, one could imagine that Assistive Technologies could broaden their target population to people without known impairment (Newell, 2003). This change in market position would prompt the designers to address the current limitations of specialized products (Vernardakis et al., 1995; Deloitte and Touche, 2003): the lack of adequacy between demand and supply (e.g. user dissatisfaction, reliability problems, stigmatizing products), a specialized distribution network (in particular in France and some European countries) which involves multiple profit margins impacting the price of the product and the difficulty to maintain product service, and difficulties (length and cost) for the user to purchase the product.

The remote control remains one of the most cited examples of a technological innovation coming from the field of disability, but Universalist movements have provided many other examples of products, equipments and pieces of architecture that facilitate and improve everybody's life (Keates and Clarkson, 2004): domestic appliances designed for people with strength or dexterity impairments (e.g. Oxo products, Panasonic's accessible washing machine), urban architecture (e.g. curb cuts, inclined planes) improving accessibility for people using a wheelchair, but also for parents using a baby stroller or travelers pulling a suitcase, and public transportation (e.g. Amtrak Acela Express, with all interior spaces accessible, improved signaling means, and accessible platforms).

These examples may suggest that Universalist design principles are easy to apply. Yet examples of unsuccessful universal products also exist and show that usability is sometimes insufficient to convince the mass market: for example the Toyota Raum car with improved accessibility, which was designed and marketed for elderly people, was perceived as stigmatizing and did not find its market (Macdonald, 2006). Conversely, some products initially designed specifically for disabled people were transferred to mass market, for example the Big Button phone which was intended for elderly people but actually enables everybody to dial quicker (Clarkson et al., 2003). A product should not be defined only for use and production, but care should also be taken to its semiotic and perceived functions. Beyond usability, social acceptability or societal value are key features for market success.

System acceptability relies on two criteria (Nielsen, 1993): functional acceptability (e.g. usability, usefulness) and social acceptability which refers to the image of the product, its esteem value. Universalist movements usually add the accessibility criterion to functional acceptability (Clarkson et al., 2003). Indeed, usability being defined for a specified user sample and a specified context of use, accounting for accessibility may enable designers to extend the functional acceptability to a maximum of persons.

Should all kinds of products be designed with a Universalist approach? Domestic appliances, urban architecture and public transportation are good candidates because their use potentially concerns everybody. This statement does not apply to other kinds of products, for example professional devices (e.g. a machine tool), whose use would be restricted to a certain kind of operators, with corresponding skills and training. Such tools should be accessible to a disabled employee, but for example it is not necessary to address children's needs in their design since these are not supposed to be a working population. Likewise for the design of driving controls in a car, it is not necessary to integrate children's and blind people's needs since today these populations are not allowed to drive. Therefore the application area of Universal design may be related to the volume of population potentially concerned by using the product. In this respect, to what extent are Assistive Technologies eligible to Universal design? In the remainder of the paper, we will focus on three examples of Assistive Technologies: an overbed table, which is an adjustable device enabling users to have meal or to work in a bed, in a wheelchair or in an armchair; an upper-limb powered orthosis meant to assist everyday movements for people suffering from shoulder or elbow impairments but with residual muscular capacities in the hand; and a powered wheelchair. Is Universal design relevant for these three products? Or do they definitely belong to the category of niche products? In the following section, we will first characterize niche marketing and niche products, before formalizing Universal design (Section 4), and present our own approach (Section 5) to be applied to our three example products (Section 6).

3. Niche marketing

Industrial competition and market diversity have resulted in the emergence of new marketing approaches such as niche marketing. To cope with this evolution, companies must be more and more reactive and find new markets with the following characteristics (Dalgic and Leeuw, 1994):

- A sufficient size to be cost-effective,
- No real competitors,
- A growing potential,
- Customers with sufficient income,
- Customers that need a special consideration,
- The possibility to develop customer loyalty,
- The possibility for a company to easily enter the market with its expertise.

Such characteristics can be considered as inherent to niches, since a niche market can be defined as a narrow segment corresponding to a precise target population with special needs, poorly exploited and associated to a specialized service or product (Kotler, 2003; Parrish, 2003; Dalgic, 2006). Niche market is also defined by a low number of niches (Kotler, 1991; Dalgic and Leeuw, 1994) and bears a strong potential since most of mass markets come from niches markets (McKenna, 1988; Dalgic and Leeuw, 1994; Parrish, 2003). In this respect, there seems to be two main marketing strategies (Chalasani and Shani, 1992; Dalgic and Leeuw, 1994; Parrish, 2003): A top-down approach in which segmentation leads to the division of a broad market in smaller segments; a bottom-up

approach which starts from the needs of a small group of customers with the aim to be extended to a larger population in a long term (Fig. 1). An example of the top-down approach can be found in Coca-Cola, which was long available in only one flavor and one type of bottle, and recently launched new products like Coca-Cola Zero or Cherry Coke. The bottom-up strategy corresponds to a pull-approach (pulled up by customers needs; Shani and Chalasani, 1992); its main advantage is a better knowledge of the customer, due in particular to the small segment size. The customer is expected to be more satisfied and therefore more loyal (Stanton et al., 1991; Shani and Chalasani, 1992; Parrish, 2003; Dalgic, 2006). For example this is Apple's main strategy to provide the mass market with niche services and technologies (e.g. customized applications available on the web or voice recognition).

According to Kotler (1991), the key notion in niche marketing is *specialization*: special localization, special needs, special products, special value for money, special service, special distribution channel, etc. To enter a niche market, a company should be capable of meeting special requirements. Niche marketing enables companies to differentiate along five main criteria: product, customer service, distribution network, communication, or price. However, creating a business on a single source of differentiation is economically insufficient, while a differentiation on the five criteria is quite impossible. Each company has to find the successful combination in accordance with its target niche (Linneman and Stanton, 1991).

Are Assistive Technologies a niche market? This is a highly segmented market actually, where competition is quasi-monopolistic. However, even if disabled people have special needs, it should be noted that their needs remain poorly known and poorly satisfied, and that Assistive Technologies are expensive although disabled people are low-income customers. Customer loyalty in the field of Assistive Technologies results from a tradeoff between cost and service with the idea that *a dissatisfying product is still better than a lack of autonomy* – indeed many assistive devices are used despite multiple usability problems (Bühler, 1996; Hamill, 1996). Therefore, this market partially meets the criteria of a niche market and does not benefit from all the advantages of this kind of business. In particular, the *growing potential* of Assistive Technology market is not self-evident to industrial stakeholders despite the aforementioned favorable political and socio-economical context.

4. Universal Design

The concept of "Universal Design" originates in the movement for the rights of disabled people in the 90's in the USA, for example the American with Disabilities Act which set the first principles of accessibility and adaptability (Keates et al., 2000; Conte, 2004; Plos

and Buisine, 2006). Afterward, spurred on by activists and architects (e.g. Ron Mace in the USA, Selwyn Goldsmith in the UK), the "Barrier-Free Environment" movement appeared and emphasized the importance of centering the design process on users' needs (Keates et al., 2000). There were many consequences on town planning and built environment like curb cuts on sidewalks, tactile paving or textured ground, automatic revolving doors, etc. (Clarkson et al., 2003). In Mace's definition, Universal Design seeks to encourage products and environments that are more usable by everyone with no adaptation required. It is intended for people of all ages, sizes and capacities in order to simplify use with no extra cost or at low cost (Vanderheiden, 1997; Laroche, 2004). Universal Design or "Design For All" aims to conciliate two approaches that seem conflicting (Brangier and Barcenilla, 2003; Conte, 2004): designing products for mass market, intended for average, ordinary, healthy users; and designing specialized or dedicated products (like Assistive Technologies) intended for people with disabilities. Seven principles mainly based on the notion of usability were defined for Universal Design. They are used to evaluate existing products and environments, guide the design process and train designers and users (Preiser and Ostroff, 2001). Below we report the principles and examples from the Center for Universal Design of North Carolina State University:

1. Equitable Use: The design is useful and marketable to people with diverse abilities (for example power doors make visiting public spaces easier for all users; e-mail makes communication easier for everyone, including people who have trouble communicating via phone).
2. Flexibility in Use: The design accommodates a wide range of individual preferences and abilities (for example large grip scissors accommodates use with either hand and allows alternation between the two in repetitive tasks).
3. Simple and Intuitive Use: Use of the design is easy to understand, regardless of the user's experience, knowledge, language skills, or education level (for example public emergency stations utilize recognized emergency colors and a simple design to quickly convey function to passers-by; intuitive ATM interfaces allow use without instruction or training).
4. Perceptible Information: The design communicates necessary information effectively to the user, regardless of ambient conditions or the user's sensory abilities (for example small bumps on a cell phone keypad tell the user where important keys are without requiring the user to look at the keys).
5. Tolerance for Error: The design minimizes hazards and the adverse consequences of accidental or unintended actions (for example the "sequential trip" mechanism on a nail gun prevents accidental firing when the tool is not pressed against an object).
6. Low Physical Effort: The design can be used efficiently and comfortably and with a minimum of fatigue (for example door lever does not require grip strength to operate, and can even be operated by a closed fist or elbow).
7. Size and Space for Approach and Use: Appropriate size and space is provided for approach, reach, manipulation, and use regardless of user's body size, posture, or mobility (for example wide gates at subway stations accommodate wheelchair users as well as commuters with packages or luggage).

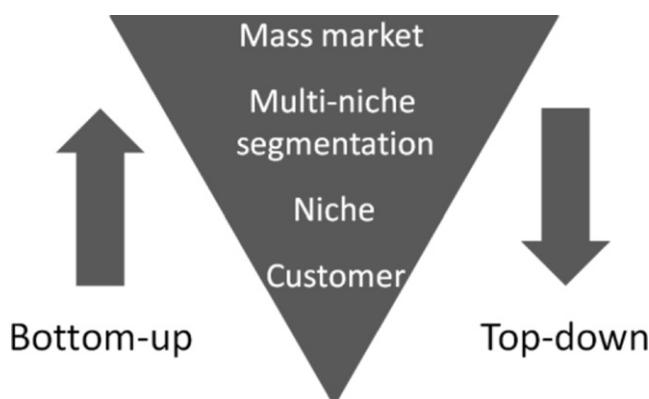


Fig. 1. Bottom-up and top-down approaches in niche marketing.

There are many Universal movements around the world (e.g. in the USA, Japan, Europe). "Design For All" is the European version of Universal Design with a focus on Information Technology. It is supported by the European Design for All e-Accessibility Network (EDeAN) whose goal is to set some European design guidelines (Clarkson et al., 2003; Laroche, 2004). "Inclusive Design" arose in the UK from collaboration between companies, designers,

researchers and teachers. The aim is to identify best practices enabling designers to meet special needs from disabled people while developing products for the mass market. Inclusive design requires taking minorities into account in the design of products intended for everyone (Keates and Clarkson, 2004). The goal is to include a maximum of users without compromising user satisfaction and company profits. Inclusive design does not focus on a specific target (e.g. elderly or disabled people) but tries to determine the number of persons excluded on a social basis. The process consists in evaluating the capacities required for using a given product or service, and redesigning it (Clarkson et al., 2003; Keates and Clarkson, 2004). Finally "Transgenerational Design", developed by James Pirk's team, emphasizes a Universalist approach on a market rather than a functional standpoint, with no direct relation to the analysis of elderly people's capacities (Pirk and Babic, 1995; Clarkson et al., 2003).

Studies from the Cambridge Engineering Design Center (Goodman et al., 2006) and Trace R&D Center of University of Wisconsin (Trace R&D Center, 2000; Vanderheiden and Tobias, 2000), show that to most of companies, Universalist movements are perceived as interesting on a social viewpoint, but difficult to apply because of an increase in development time, a delay in product launch and related extra costs. Some companies find it too complicated to include disabled people and health institutions in the design process with regard to the industrial constraints they have to face. Finally, the lack of aesthetics in products and the detrimental effects of a "product-for-disabled" label were also mentioned, although conflicting with the first principle of Universal Design (which requires avoiding stigmatization and adopting an appealing design). The possibility to sell products and services to disabled people is not a sufficient motivation, in particular for big companies, which prefer to leave this niche to small and medium sized enterprises. However, the potential of Universalist movements to help improve products' ease-of-use for everyone appears more attractive to them, even if they ask for tangible signs of success to be convinced. Indeed some industry stakeholders may suspect that Universal Design impoverishes product functions (Chan et al., 2009) or proves unprofitable from a socioeconomic point of view (although the opposite was shown in the field of transportation, Odeck et al., 2010; Fearnley et al., 2011). Laws are recognized by companies as an effective factor to favor the integration of special needs in product design, provided that they are formalized as target results rather than process constraints (which are considered as inhibiting for innovation). Companies also need easy and well-targeted methods for their domain to help them apply a Universalist approach. The training of designers is viewed as necessary, and should ideally be integrated to university programs or be as short and economical as possible for professional designers.

5. The "EMFASIS" framework

The state of the art of Universalist movements shows that there are two main approaches to design products adapted to everyone

(Fig. 2): An adaptive or top-down approach which consists in designing specialized products and extending them afterward to other kinds of users; and a proactive or bottom-up approach to design products intended for the maximum of users (like Inclusive design). Note that top-down or adaptive Universalist approach corresponds to the bottom-up approach in niche marketing: it consists in designing specific products that can be extended to a broader population (i.e. market extension in niche marketing). To achieve a successful niche strategy, the Universalist adaptive design process should therefore address the special needs of a given segment of disabled people with a differentiation plan for subsequent market extension.

A front-end strategy for market extension therefore seems central to break down the existing barriers in Assistive Technology design and achieve innovation: by removing the issue of the small market size, it may enable companies to improve their product's quality (e.g. adequacy, reliability) while reducing its price. Furthermore, designing the product straightaway for the mass market, anticipating its future extended form, should help designers produce an aesthetic, socially-acceptable design, subsequently removing the stigmatization issue. Finally if these conditions are met (functional acceptability, acceptable price and design), the product may be able to enter mass distribution networks.

Our approach is called EMFASIS (Extended Modularity, Functional Accessibility and Social Integration Strategy), and can be summarized with the following design principles:

5.1. Extended market

This is the first step and the cornerstone of our strategy. Anticipating market extension for a specialized product enables the team to prepare the ground for the "growing potential" necessary for a successful niche. It is also in line with the adaptive approach of Universal Design which results in the first principle ("equitable use"). Of course it is not straightforward, particularly for Assistive Technologies, to find usefulness for people who do not belong to the initial target (e.g. can an upper-limb powered orthosis be useful to able-bodied?). It requires a shift in how designers view their own product; this is why it is **one of the most creative steps of the EMFASIS framework**. This step is also likely to orient the search for business partners (e.g. providers, sub-contractors, distribution network). In this respect, for reaching Universal Design, it may be recommended to favor partners that are used to address the general market rather than disabled users. Such a choice may help designers radically change their approach to Assistive Technology.

5.2. Modular design

Universal Design does not imply to achieve a Universal Product. It is much more technically feasible to design a range of products instead of a single one aiming to meet all (sometimes conflicting) requirements. This range of products should be associated to



Fig. 2. Top-down and bottom-up approaches in Universal design.

a single aesthetic identity (therefore avoiding stigmatizing products for disabled people) but nonetheless **satisfy a variety of needs**. Imagine for example a set of saucepans and frying pans of different diameters, depths and coatings: they meet different needs and there is no stigmatizing model that could be labeled as a "product for disabled people". This is the kind of design solutions we wish to achieve. Ranges can also be designed with more complex types of products, for example cars. The same car can be available in a family model, in a coupé model, in a convertible model, with different optional extras, etc. For such variety to be economically viable, manufacturers use modular design (Gu and Sosale, 1999; Marshall and Botterell, 1999): this method consists in defining a product architecture composed of interchangeable subsystems in order to increase the number of models and the number of functions (Starr, 1965; Holmqvist and Persson, 2003). Some components are common to all the models, others are specific. This method offers more flexibility to meet new needs or to integrate new technologies, by creating new products with new combinations of components. It is also cost-effective and time-saving (Salhied and Kamrani, 2008).

5.3. Functional acceptability

To reach this criterion, the product must be usable and useful, which requires a thorough needs analysis. However, this is not always easy since some users, particularly disabled people, tend to censor their own needs, being usually content with what they have. Hence we recommend using **several repeated methods to survey users' needs**. One can meet, observe and interview disabled people; one can also involve specialists of disability (e.g. occupational therapists, physiatrists) in the design process. Contacting associations is also helpful to find users and specialists, and organize the meetings.

5.4. Accessibility

This criterion corresponds to the extension of the above-mentioned functional acceptability to several populations. In our process it is anticipated from the first step ("extended market") and further investigated through needs analysis targeted to different kinds of populations. Of course it also has to be checked all along the process, together with functional acceptability.

5.5. Social Integration

The image of the product, its aesthetic features and social values, its integration to the social and societal environment, is addressed through several methods. It is first anticipated during the "extended market" phase which is supposed to define the product's dominant category (e.g. leisure, transportation, professional, domestic) and the related stylistic codes. Then, modular design imposes to keep the global style constant on all product models and versions, with marginal personalization (e.g. color, motif). All these requirements must be implemented by a stylistic designer, who is a key actor of our strategy. The lack of stylistic designer has been the cause for many stigmatizing designs in the field of Assistive Technology and their detrimental consequences (e.g. rejection of products, feeling of exclusion associated to the use of some products).

These design principles should not be viewed as a process, with a specified sequence, since they should ideally be addressed concurrently. For example Accessibility is interdependent with Extended market and Functional acceptability; Modularity implements a technical solution to the specifications collected through Extended market, Functional and Social acceptability, and Accessibility. In the following section we will present three design

projects we have applied the aforementioned EMFASIS framework to: the design of an overbed table, an upper-limb powered orthosis and a powered wheelchair.

6. Application projects

In this section we describe three projects along the EMFASIS framework and show how each step was addressed.

6.1. The AdapTable project

The goal of this project was to design an overbed table that would be usable at home without stigmatizing its users. Indeed existing models all look cold and evoke the hospital, hence users are reluctant to buy them although they would need such a device for their everyday life at home, to work or to have meal in their bed, armchair, wheelchair, etc.

6.1.1. Extended market

For this product, market extension was not an issue since it is easy to find mass market for an adjustable multifunction table: in particular for a small space like a student room where the same piece of furniture can be used for working, eating, as a coffee table, an ironing board or a bedside table. Regarding business partnership, the process was conducted with no specific partner but the final design was proposed for industrialization to Ropox, a Danish manufacturer accustomed to Universal Design.

6.1.2. Modular design

Based on the orientation chosen for market extension, on the needs analyses for functional features and style (developed below), we designed an architecture composed of (1) the base of the table with a manual and an automatic version to comply with the variability of capacities, (2) storage components adapted to different lifestyles (with e.g. an optional component to accommodate a computer) and (3) customizable boards enabling users to personalize the style and functions of their table (presence of a surround, integration of a screen or tactile screen, possibility to pivot or rotate the board...).

6.1.3. Functional acceptability

Our key target group remains that of disabled people living at home and of their professional or family helpers. Therefore needs analysis was surveyed with 14 disabled users (people with muscular dystrophy, elderly people, patients in functional rehabilitation, and children in pediatrics), 20 helpers and 8 potential users from the mass market (students). We used a questionnaire addressing their habits regarding the use, cleaning, tidying of tables, the problems encountered with existing products, etc. This analysis was completed with field observations and interviews in a hospital. The results mainly emphasized the lack of aesthetics and lack of storage means in existing products.

6.1.4. Accessibility

Accessibility was addressed by the involvement of different kinds of populations in the design process and the collection of their specific requirements on both functional and social criteria. We involved people using a wheelchair (with specific requirements for access and adjustment of the table), people with temporary and permanent functional impairments, able-bodied people, and users of different ages (children, students, elderly people).

6.1.5. Social Integration

The project was leaded by an industrial designer with a multi-disciplinary team (mainly composed of engineers, ergonomists and

designers). We analyzed the perception of existing products and the definition of an ideal aesthetic profile for the future table by means of a semantic and emotional analysis (Mondragon et al., 2005; Bouchard et al., 2009). Following the example of the aforementioned needs analysis, we surveyed disabled users, helpers and students for this stage. A second iterative cycle was conducted to analyze several shapes, designs and ambiances for the future product. It resulted in the selection of a concept built around a slender vertical board, to be joined up to the base and to receive the storage components and the horizontal board(s) (see Fig. 3). This general shape was evaluated as dynamic and as marking a break with the look of medical overbed tables. Moreover, this vertical area provides additional room for personalization by receiving a printed film between two transparent plates.

6.2. The TEASE project

This project is called TEASE for "Transparent, Easy, Adaptable and Soft Exoskeleton". It was aimed to design an upper-limb powered orthose to assist everyday movements for people with shoulder or elbow impairments but with residual muscular capacities in the hand. Existing orthoses are imposing, heavy, unintuitive to control and do not cover users' needs.

6.2.1. Extended market

Market extension for this product was not so easy since it is a highly specialized device. However, with technological monitoring and a bit of creativity we found out several fields that could be interested in a technological transfer: military equipments (enhancing infantryman's capacities), handling of heavy material in many domains (dock work, furniture removal, goods packing...), virtual reality (haptic systems, force feedback systems), tele-operation, physiotherapy, body building, etc. We subsequently could gather a consortium composed of a partner in the defense area (Thales Group), a partner in the field of virtual reality (CEA LIST), an academic partner specialized in robotics (LISV-University of Versailles) and a manufacturer of Assistive Technologies (TechInnovation) to design the TEASE system. Students in industrial art (ENSAAMA) were also involved in stylistic design of the system.

6.2.2. Modular design

We designed a customizable system allowing the activation of degrees of freedom and the specification of movement amplitude in accordance with each user's needs and capacities. For example



Fig. 3. An existing overbed table (left) and our design (right, exploded view).

wrist pronosupination, which is involved in eating operations, was developed as an optional component specific to disabled people but unnecessary for other users of the TEASE system who do not use it for eating. Movement amplitude also had to be restricted for disabled users because of articular shrinkage associated to neuromuscular diseases. Finally several control interfaces were designed for meeting the requirements of each user population.

6.2.3. Functional acceptability

We collected the needs and requirements of disabled people while our partners were in charge of analyzing needs for their own application field. We interviewed 12 persons with muscular dystrophy and other motor impairments, 2 helpers and 5 occupational therapists; we also conducted field observations and kinesiologic analyses of movements like eating, brushing one's teeth, blowing one's nose, going to the toilet, opening a door, catching something, using a cash dispenser, etc. Kinesiologic analyses of gestures enabled us to accurately specify the degrees of freedom required for each joint of the system. This phase also enabled us to realize that none of the existing systems was capable of restoring wrist pronosupination, although necessary to lift a spoon to one's lips. We also surveyed residual motor capacities in order to specify the human–system interface for controlling the orthose.

6.2.4. Accessibility

As previously mentioned, three distinct user populations were considered in the design process: potential users in the defense area, in the field of virtual reality, and disabled people. Cohesion between these populations was addressed by gathering their requirements within a single specification file. Subsequently we defined the mandatory or optional nature of each specification, and accordingly distributed the functions onto common and specific components of the TEASE modular architecture.

6.2.5. Social Integration

Needs analysis from disabled people emphasized the noise and the look of existing products as major rejection criteria, before the weight, reliability problems or efficiency problems. Social acceptability therefore became a major design challenge for our project. To find relevant solutions we conducted a creativity session with disabled people, an occupational therapist, 2 technicians, an electronics engineer, a roboticist and an industrial designer. This session resulted in the selection of a design and a concept of seamless interface adjusting to user's arm like a glove (see Fig. 4) and using residual hand capacities to control the orthose. In the near future the TEASE project will end up with final evaluation and product certification.

6.3. The WHING project

WHING stands for "WHeelchair Initiative New Generation" and consisted in designing a more effective, adaptive and inexpensive electrical wheelchair. The target price was 15,000 € for the same level of functionality as wheelchairs currently available for 25,000 €.

6.3.1. Extended market

From the very beginning of the project we considered our product as "a vehicle for personal mobility" instead of a wheelchair. Therefore we set up a partnership with a manufacturer from the transport sector (Matra Automobile Engineering, now Segula Technologies) and a generalist research consultancy (Bertin Technologies). This successful collaboration resulted in creating a company (DRK Mobility) for manufacturing and distributing the WHING 30% cheaper than existing products.



Fig. 4. An existing powered orthosis (left), our design (center, here mounted on a wheelchair) and the “glove” control interface (right).

6.3.2. Modular design

The WHING general architecture includes all basic functions like standing up to a vertical position, lifting the seat to reach high up objects, adjusting all angles of the seat, clearing a 10-cm curb, and 30-km range. Home automation controls were also integrated into the armrests (e.g. infrared controls for turning on a light or a TV, opening a door or a shutter). Additional components include an “outdoor+” package with extra range, storage components, accessories, 18-cm obstacle clearing, and adaptation to driving controls of a car.

6.3.3. Functional acceptability

WHING's target population includes children, adults and elderly people with varying impairments. Users are functional tetraplegics (i.e. from minor to severe motor impairment affecting the 4 limbs) sometimes with progressive diseases (like muscular dystrophy or multiple sclerosis). Extension to elderly people without known motor disease was also considered since they already represent 33% of electrical wheelchair users in France. Needs analysis was stimulated by a creativity session gathering users and experts from many fields (Assistive Technologies, robotics, functional impairments, transport, and computer science) and formalized through a specification file. This first analysis was completed with a survey on 89 users and families throughout France. The results emphasized the need for a comfortable vehicle as effective indoor and outdoor. Indoor effectiveness corresponds to compactness and easiness to handle, while outdoor effectiveness mainly corresponds to obstacle clearing and battery's range. One of the main technical innovations we achieved in this project was to allow a 10-cm curb clearing, which is not possible with existing products. We also designed a unique modular basis (that we called “flower petals”) for the chair to adapt to all kinds of morphologies and increase both static and dynamic comfort for users.

6.3.4. Accessibility

In the early stages of the projects (in particular for market extension and social integration) we imagined a small indoor-outdoor vehicle accessible to anyone (able-bodied, elderly, disabled people) but in later stages (from detailed design) we had to focus more closely on disabled users. Therefore, accessibility was primarily validated for the varying categories of the latter, and WHING was awarded an “accessibility and urban health” prize from the Advancity cluster, a major socio-economic institution in France.

6.3.5. Social Integration

The first step of social integration was addressed by collecting sources of inspiration from the general category of small vehicles (small cars, scooter, baby strollers, segways, bikes...). We subsequently generated avant-gardist designs in order to mark a break with regard to existing wheelchairs (see Fig. 5). The attractiveness of our concepts for the mass market were validated through a semantic and emotional analysis with 15 disabled and 15 able-bodied subjects, aged 20–61 years. However, as previously mentioned, the WHING project later focused primarily on disabled people and adopted a less challenging design. A minimal customization of the wheelchair was preserved (choice of colors, see Fig. 5, right), which is still better than existing products that are not customizable at all.

7. Discussion and conclusion

In this paper we presented the EMFASIS approach, which is an integrated strategy for removing stigmatization issues from Assistive Technology. Among the projects we presented, the most complete application of EMFASIS may be the Adap'Table project, which achieved a breaking design, a customizable solution to better meet users' needs, as well as a real potential for entering mass



Fig. 5. An existing electrical wheelchair (left), one of our concepts (center) and the final WHING (right, here a blue model). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

market. This success may be related to the nature of the product (technically less complex and less specialized than the other examples we took) but remains representative of a large category of products that could easily become acceptable and useful to anyone. In pedagogical projects we addressed the cases of a reader that automatically turns the pages a book, and of a walking frame. Engineering students were highly motivated by these exercises and they successfully found out many ways for these devices to become useful to anyone. Our pedagogical goal was met since they easily perceived the potential of EMFASIS to improve social integration of disabled people.

The TEASE project constitutes an intermediary example of a product that proved to be useful in very different domains (defense and virtual reality) but did not really become "transparent" as we expected in the beginning of the project. Indeed the technology remains imposing, cannot be fully hidden (e.g. under users' clothes) and does not resemble any "usual" technological device. Maybe in the future we will see people wearing robotic technology in the street and will not be able anymore to decide whether it is a sport device, a personal mobility device, or an Assistive Technology? Full social integration will be possible only at that time. This is why this project focused more on technological transfer than on extension to mass market.

Finally the WHING project was carried through to industrialization, which may partly explain why we could not bring the application of EMFASIS to its maximum. Indeed we were mostly involved in the early stages of the project and leaded to our industrial partners the steps of detailed design, production and industrialization. However we believe that EMFASIS contributed to some decisive orientations like the choice of the automotive partner and the collection of users' requirements which resulted in technical and economical innovations.

The EMFASIS approach, which attempts to conciliate Universalist principles with niche marketing, goes far beyond traditional ergonomic approach: it is grounded on a front-end strategy for market extension, which, in our view, can be achieved only through technical solutions like modular design and a close attention to aesthetics and social acceptability. Many actors of the design process consider aesthetics as non-essential for Assistive Technology. However, today about 1/3 of Assistive Technologies are abandoned, some after 3 months, some after 5 years of use (Scherer, 2002), which shows that their acceptability should be questioned. We got to know disabled users and learnt how complex their relation to Assistive Technology could be. Assistive Technologies are desired because they help going on living, they restore functions, they also restore a relation to the environment, social participation and therefore self-esteem. However, they are also rejected at the same time because they underline the disability, they are associated to dependence and they degrade the image of the user himself. Using a stigmatizing product can be lived as a kind of exclusion and some persons will prefer staying isolated at home rather than going out with a stigmatizing device. It is now urgent to become aware of the powerful lever for integration offered by industrial design, so long as needs are met and technological reliability is ensured.

Acknowledgments

This work was supported by the AFM (Association Française contre les Myopathies) which is an association helping people with neuromuscular diseases. The AdapTable project was further supported by a grant from "Pôle Allongement de la Vie Charles Foix" which awards projects dedicated to elderly people. The TEASE project was further supported by a grant from the ANR (French Research Agency) on a program focused on Health Technologies. The authors thank all their partners and colleagues who have

worked on these projects, in particular Marianne Dupin and Geoffrey Lepoutre, as well as all the users who participated in the design process.

References

- Abascal, J., Nicolle, C., 2005. Moving towards inclusive design guidelines for socially and ethically aware HCI. *Interacting with Computers* 17, 484–505.
- Afacan, Y., Erbug, C., 2009. An interdisciplinary heuristic evaluation method for universal building design. *Applied Ergonomics* 40, 731–744.
- Ait El Menceur, M.O., Pudlo, P., Gorce, P., Thévenon, A., Lepoutre, F.X., 2008. Alternative movement identification in the automobile ingress and egress for young and elderly population with or without prostheses. *International Journal of Industrial Ergonomics* 38, 1078–1087.
- Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., 2011. New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design. *International Journal of Industrial Ergonomics* 41, 30–42.
- Beecher, V., Paquet, V., 2005. Survey instrument for the universal design of consumer products. *Applied Ergonomics* 36, 363–372.
- Borg, J., Lindström, A., Larsson, S., 2009. Assistive technology in developing countries: national and international responsibilities to implement the convention on the rights of persons with disabilities. *Lancet* 374, 1863–1865.
- Bouchard, C., Mantelet, F., Aoussat, A., Solves, C., Gonzales, J.C., Coleman, S., Pearce, K., 2009. A European emotional investigation in the field of shoes design. *International Journal of Product Development* 7, 3–27.
- Brangier, E., Barcenilla, J., 2003. Concevoir un produit facile à utiliser: adapter les technologies à l'homme. d'Organisation ed.
- Bühler, C., 1996. Approach to the analysis of user requirements in assistive technology. *International Journal of Industrial Ergonomics* 17, 187–192.
- Chalasani, S., Shani, D., 1992. Exploiting Niches using relationship marketing. *The Journal of Consumer Marketing* 9 (3), 33–42.
- Chan, C.C.H., Wong, A.W.K., Lee, T.M.C., Chi, I., 2009. Modified automatic teller machine prototype for older adults: a case study of participative approach to inclusive design. *Applied Ergonomics* 40, 151–160.
- Chen, J.J.G., Ko, M.D., 1994. The Disability Index analysis system via an ergonomics, expert systems, and multiple attribute decision-making process. *International Journal of Industrial Ergonomics* 13, 317–335.
- Chi, C.F., 1999. A study on job placement for handicapped workers using job analysis data. *International Journal of Industrial Ergonomics* 24, 337–351.
- Clarkson, J., Coleman, R., Keates, S., Lebbon, C., 2003. Inclusive Design: Design for the Whole Population. Springer ed.
- Coleman, R., Lebbon, C., Clarkson, J., Keates, S., 2003. Introduction: from margins to mainstream. In: *Inclusive Design: Design for the Whole Population*. Springer, PP. 1–25.
- Conte, M., 2004. La conception pour tous: une approche encore écartée en France. In: *Proceedings of 17èmes Entretiens de l'Institut Garches*, pp. 23–28.
- Cowan, D.M., Khan, Y., 2005. Assistive technology for children with complex disabilities. *Current Paediatrics* 15, 207–212.
- Dalgic, T., 2006. *Handbook of Niche Marketing: Principles and Practice*. Routledge ed.
- Dalgic, T., Leeuw, M., 1994. Niche Marketing Revisited: concept, applications, and some european cases. *European Journal of Marketing* 28 (4), 39–55.
- Deloitte, Touche, 2003. Access to Assistive Technology in the European Union. Bruxelles: European Commission ed., Bruxelles.
- Eriksson, J., Johansson, G., 1996. Adaptation of workplaces and homes for disabled people using computer-aided design. *International Journal of Industrial Ergonomics* 17, 153–162.
- Fearnley, N., Flügel, S., Ramjerdi, F., 2011. Passengers' valuations of universal design measures in public transport. *Research in Transportation Business & Management* 2, 83–91.
- Goodman, J., Dong, H., Langdon, P., and Clarkson, J., 2006. Factors involved in Industry's: response to inclusive design. In: *Proceedings of 3rd Cambridge Workshop on Universal Access and Assistive Technology (CWUATT)*, pp. 31–39.
- Gray, J.A., Zimmerman, J.L., Rimmer, J.H., 2012. Built environment instruments for walkability, bikeability and recreation: disability and universal design relevant? *Disability and Health Journal* 5, 87–101.
- Gu, P., Sosale, S., 1999. Product modularization for life cycle engineering. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 15 (5), 387–401.
- Hamill, C.T., 1996. The growing role of home medical equipment and rehabilitation/assistive technology. *The Case Manager* 7, 77–86.
- Holmqvist, T.K.P., Persson, M.L., 2003. Analysis and improvement of product modularization methods: their ability to deal with complex products. *Systems Engineering* 6 (3), 195–209.
- Keates, S., Clarkson, J., 2004. *Countering Design Exclusion: An Introduction to Inclusive Design*. Springer ed.
- Keates, S., Clarkson, J., Harrison, L.A., Robinson, P., 2000. Towards a Practical Inclusive Design Approach. In: *Proceedings on the 2000 Conference on Universal Usability*. ACM, NY, USA, pp. 45–52.
- Kim, S., Seao, H., Ikuma, L.H., Nussbaum, M.A., 2008. Knowledge and opinions of designers of industrialized wall panels regarding incorporating ergonomics in design. *International Journal of Industrial Ergonomics* 38, 150–157.
- Kotler, P., 1991. From mass marketing to mass customization. *Planning Review*, 11–47.
- Kotler, P., 2003. *Marketing Management*. (Upper Saddle River ed.): Prentice Hall.

- Kumar, S., 1992. Rehabilitation: an ergonomic dimension. *International Journal of Industrial Ergonomics* 9, 97–108.
- Laroche, B., 2004. Design pour tous: Etat des lieux. Saint-Etienne Métropole, Saint-Etienne.
- Lee, M.W., Yun, M.H., Han, S.H., 2001. High touch – an innovative scheme for new product development: case studies 1994–1998. *International Journal of Industrial Ergonomics* 27, 271–283.
- Linneman, R.E., Stanton, J.L., 1991. Making Niche Marketing Work: How to Grow Bigger by Acting Smaller. McGraw-Hill, New York.
- Macdonald, A.S., 2006. Universal Design in Japanese technological industries. In: Proceedings of 3rd Cambridge Workshop on Universal Access and Assistive Technology (CWUATT), pp. 13–19.
- Marshall, R., Botterell, P.G., 1999. Modular design. *Manufacturing Engineer* 78 (3), 113–116.
- McKenna, R., 1988. Marketing in an age of diversity. *Planning Review*, 88–95.
- Mital, A., 1995. The role of ergonomics in designing for manufacturability and humans in general in advanced manufacturing technology: preparing the American workforce for global competition beyond the year 2000. *International Journal of Industrial Ergonomics* 15, 129–135.
- Mondragon, S., Company, P., Vergara, M., 2005. Semantic differential applied to the evaluation of machine tool design. *International Journal of Industrial Ergonomics* 35, 1021–1029.
- Newell, A., 2003. Inclusive design or assistive technology. In: Clarkson, J., Coleman, R., Keates, S., Lebbon, C. (Eds.), *Inclusive Design: Design for the Whole Population*. Springer, pp. 172–181.
- Nielsen, J., 1993. *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann.
- Nisbet, P., 1996. Integrating assistive technologies: current practices and future possibilities. *Medical Engineering & Physics* 18, 193–202.
- Nowak, E., 1996. The role of anthropometry in design of work and life environments of the disabled population. *International Journal of Industrial Ergonomics* 17, 113–121.
- Odeck, J., Hagen, T., Fearnley, N., 2010. Economic appraisal of universal design in transport: experiences from Norway. *Research in Transportation Economics* 29, 304–311.
- Parrish, E.D., 2003. *Niche Market Opportunities in the Global Marketplace*. North Carolina State University, Raleigh.
- Pirkle, J.J., Babic, A.L., 1995. *Guidelines and Strategies for Designing Transgenerational Products: A Resource Manual for Industrial Design Professionals*. Copley Publishing Group.
- Plos, O., Buisine, S., 2006, April 22–27. Universal Design for mobile phones: a case study. In: *Proceedings of CHI*.
- Porter, J.M., Case, K., Marshall, R., Gyi, D., Oliver, R.S., 2004. 'Beyond Jack and Jill': designing for individuals using HADRIAN. *International Journal of Industrial Ergonomics* 33, 249–264.
- Preiser, W.F.E., Ostroff, E., 2001. *Universal Design Handbook*. McGraw-Hill Professional ed.
- Rousek, J.B., Hallbeck, M.S., 2011. The use of simulated visual impairment to identify hospital design elements that contribute to wayfinding difficulties. *International Journal of Industrial Ergonomics* 41, 447–458.
- Salhiied, S.E.M., Kamrani, A.K., 2008. Chapter 10-Modular design. In: Kamrani, A.K., Abouel Nasr, E.S. (Eds.), *Collaborative Engineering: Theory and Practice*. Springer, pp. 207–226.
- Sangalkar, S., Cowen, N., McAdams, D., 2012. User activity – product function association based design rules for universal products. *Design Studies* 33, 85–110.
- Scherer, M.J., 15–20 July 2002. The study of assistive technology outcomes in the United States. In: *Proceedings of 8th International Conference on Computers For Handicapped Persons (ICCHP)*, pp. 764–771.
- Shani, D., Chalasani, S., 1992. Exploiting niches using relationship marketing. *The Journal of Services Marketing* 6 (4), 43–52.
- Shrey, D.E., Breslin, R.E., 1992. Disability management in industry: a multidisciplinary model for the accommodation of workers with disabilities. *International Journal of Industrial Ergonomics* 9, 183–190.
- Sims, R.E., Marshall, R., Gyi, D.E., Summerskill, S.J., Case, K., 2012. Collection of anthropometry from older and physically impaired persons: traditional methods versus TC² 3-D body scanner. *International Journal of Industrial Ergonomics* 42, 65–72.
- Stanton, W.E.J., Etzel, M.J., Walker, B.J., 1991. *Fundamentals of Marketing*. McGraw-Hill, New York.
- Starr, M.K., 1965. Modular production, a new concept. *Harvard Business Review* 43, 131–142.
- Tenneti, R., Johnson, D., Goldenberg, L., Parker, R.A., Huppert, F.A., 2012. Towards a capabilities database to inform inclusive design: experimental investigation of effective survey-based predictors on human-product interaction. *Applied Ergonomics* 43, 713–726.
- Trace R&D Center, 2000. *Universal Design Research Project Final Report: Understanding and Increasing the Adoption of Universal Design in Product Design*. University of Wisconsin-Madison: Trace R&D Center.
- Vanderheiden, G.C., 1997. Design for people with functional limitations resulting from disability, aging and circumstance. In: Salvendy, G. (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. Wiley, New York, pp. 2010–2052.
- Vanderheiden, G.C., Tobias, J., 2000, Jul 29–Aug 4. Universal Design of consumer products: current industry practice and perceptions. In: *Proceedings of the XIVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and 44th Annual Meeting of the Uman Factors and Ergonomics Association, "Ergonomics for the New Millennium"*, pp. 19–22.
- Vernardakis, N., Stephanidis, C., Akoumianakis, D., 1995. On the impediments to innovation in the European assistive technology industry. *International Journal of Rehabilitation Research* 18 (3), 225–243.

LES FICHES PRATIQUES

ÉDITION 2011-2012

GÉNIE INDUSTRIEL

Déployer l'innovation

Méthodes, outils, pilotage et cas d'étude

Identifier les pépites d'innovation
Piloter les projets de R&D
De l'idée au produit

Inclus :
un an
de mise à jour
sur
Internet !

 www.techniques-ingenieur.fr



**Techniques
de l'Ingénieur**

Innovons pour les personnes en situation de handicap

Référence Internet
22745.0247



Saisissez la Référence Internet 22745.0247 dans le moteur de recherche du site www.techniques-ingenieur.fr pour accéder à cette fiche

On compte plus de 500 millions de personnes en situation de handicap dans le monde, en raison de déficiences mentales, physiques ou sensorielles. Avec le vieillissement de la population, ce chiffre augmente et l'intégration sociale de ces personnes devient un enjeu politique majeur.

D'un point de vue industriel, la conception de produits pour personnes en situation de handicap est un secteur à conquérir : il y a actuellement peu d'innovation et peu de concurrence, le marché a un volume important et croissant, et il bénéficie d'incitations réglementaires (ex : loi du 11 février 2005 en France) et financières (prise en charge d'une partie des coûts par la collectivité). Enfin, la conception pour personnes en situation de handicap étant d'un intérêt social certain, votre entreprise peut en tirer un bénéfice d'image important.

Pour vous insérer avec succès dans le marché des technologies pour l'autonomie, vous devez vous poser les questions suivantes :

- Quel est votre rôle en tant que concepteur vis-à-vis des personnes en situation de handicap ?
- Comment concevoir des produits avec succès pour un besoin si complexe ?

2

En pratique

▶ Étape 1 : Saisissez la complexité d'une situation de handicap

Avant de se lancer dans la démarche de conception, il est important de comprendre ce qu'est une situation de handicap.

Alors qu'historiquement la notion de handicap était liée à une déficience, les modèles plus récents proposent de la définir comme le résultat de l'**interaction entre des facteurs personnels, des facteurs environnementaux et des habitudes de vie**. Ainsi, même avec une déficience, une personne ne sera pas forcément en situation de handicap si l'environnement est adapté et accessible (ex. : une personne en fauteuil roulant qui utilise un plan incliné n'est pas en situation de handicap). Réciproquement, une personne sans déficience peut se retrouver en situation de handicap face à un environnement inadapté : par exemple, une personne avec une poussette face à un escalier, ou encore une personne dans un pays dont elle ne parle pas la langue, peuvent être considérées en situation de handicap. Dans ce modèle, la situation de handicap correspond à une réduction de la réalisation des habitudes de vie (activités de la vie quotidienne, comme se déplacer, communiquer, travailler, faire ses courses, se laver, etc.), et donc à une réduction de la participation sociale.

En tant que concepteur, il est important de comprendre cette approche systémique et de considérer votre produit comme un facteur environnemental : s'il est adapté et facilite la

réalisation des habitudes de vie, il peut **lever des situations de handicap**. À l'inverse, s'il est mal conçu et fait obstacle à la réalisation de certaines habitudes de vie, votre produit peut **créer des situations de handicap**.

► Étape 2 : Écoutez vos usagers

L'analyse du besoin est une étape évidente de tout processus de conception, mais elle est particulièrement importante dans le cas d'un produit destiné à des personnes en situation de handicap. Le premier point sur lequel vous devez être vigilant est l'identification de vos utilisateurs : outre les personnes en situation de handicap elles-mêmes, il faut aussi considérer **les besoins des aidants** (famille, auxiliaire de vie, etc.) qui sont aussi des utilisateurs de votre futur produit. Par exemple, l'aidant qui installe quotidiennement une personne déficiente motrice dans son fauteuil roulant, qui pousse parfois le fauteuil et en assure l'entretien courant est aussi utilisatrice indirecte du fauteuil roulant. Interrogez ces aidants, ils vous apporteront des informations précieuses sur leurs propres besoins et ceux de la personne en situation de handicap.

Le second point à considérer avec attention est le recueil du besoin de vos utilisateurs principaux, les personnes en situation de handicap. Cette étape est souvent problématique car **ces personnes ont tendance à censurer leurs propres besoins**, les considérant de l'ordre de l'impossible. Elles ont aussi le souci de ne pas déranger et de se contenter de ce qu'elles ont. Pour lever cette autocensure, **multipliez les techniques d'expression du besoin** : entretiens, enquêtes, observations, *focus groups*, *brainstorming*, etc. Si vous n'êtes pas en relation directe avec des personnes en situation de handicap, passez par des associations, elles vous seront très utiles pour obtenir des contacts et pour organiser les rencontres et les séances de travail (lieu, protocole, logistique, etc.).

Enfin, maintenez l'approche systémique du handicap telle que définie plus haut. Votre produit doit :

- répondre aux facteurs personnels de la personne en situation de handicap ;
- s'intégrer dans son environnement ;
- lui permettre de réaliser ses habitudes de vie.

Orientez votre recueil du besoin selon ces trois axes : ne focalisez pas uniquement sur les facteurs personnels, analysez aussi les facteurs environnementaux et les habitudes de vie.

► Étape 3 : Imaginez des marchés de masse

Plutôt que de concevoir « pour les handicapés », partez du principe qu'**une aide technique peut aussi rendre service à une personne valide**. Recherchez les **transferts de technologie** possibles : à quoi ressemblerait un exosquelette du membre supérieur s'il était utilisé pour faire de la musculation dans une salle de sport ? À quoi ressemblerait un fauteuil roulant électrique s'il devenait un petit véhicule urbain pour tous ?

Cette démarche d'extension du besoin et du marché peut vous permettre de progresser vers un produit qui sera mieux accepté par ses utilisateurs, car il se positionnera dans des **univers de produits non stigmatisants** : un exosquelette ressemblant à un équipement de sport donne une image moderne et dynamique de son utilisateur, et non l'image d'une déficience ; de la même manière, un fauteuil roulant ressemblant à un petit véhicule urbain donne une image active de son utilisateur.

Il ne faut pas pour autant imaginer qu'un petit véhicule urbain « standard » répondrait aux besoins spécifiques de toutes les personnes en situation de handicap ! Votre produit

devra donc être personnalisable à l'infini, pour satisfaire chaque demande au plus près. Pour concilier standardisation et personnalisation, utilisez la **conception modulaire**. Un produit modulaire est composé de sous-systèmes ou modules : des modules généraux qui peuvent être réutilisés et organisés différemment dans plusieurs produits au sein d'une gamme, et des modules spécifiques à certains modèles de produits. Les produits modulaires sont donc évolutifs en fonction des besoins et des technologies disponibles, avec un coût limité grâce à une certaine standardisation de la conception et à l'amortissement des composants. Plutôt qu'un fauteuil roulant, vous pouvez ainsi concevoir un véhicule pour tous, satisfaire vos utilisateurs et envisager une extension significative de la cible de votre produit.

Ce principe d'extension à un marché de masse requiert un peu de créativité mais est **potentiellement applicable à toutes les aides techniques aujourd'hui limitées au marché du handicap**.

► Étape 4 : Intégrez un design attractif

De façon cohérente avec votre stratégie d'extension, vous devez proposer un design acceptable pour un marché de masse. Cela suppose d'analyser les tendances et les « codes » dans votre secteur cible (ex. : sport, automobile) et de positionner votre produit de façon judicieuse par rapport à cet existant. C'est le rôle d'un **designer industriel**, acteur indispensable de votre processus de conception. Il possède les outils méthodologiques lui permettant de caractériser l'existant et de proposer un design innovant. Alors que la plupart des aides techniques actuelles ont un aspect froid et évoquent l'univers médical, le designer industriel sera capable de sélectionner une ou plusieurs **tendances fortes des marchés de masse** et d'y inscrire le design de votre produit.

Le travail du designer inclura notamment les étapes suivantes :

- effectuer une veille sur les produits existants, par exemple dans le domaine des équipements sportifs, ou dans celui des petits véhicules individuels ;
- identifier des sous-ensembles cohérents entre eux, ou secteurs d'influence, qui structurent la diversité des styles et des identités formelles des produits. Par exemple des produits au design *high-tech* (moderne, épuré, performant), néo-baroque (luxueux, végétal, ornemental), ludique (rond, doux, coloré), etc. ;
- positionner votre futur produit et élargir ses sources d'inspiration pour réussir un design en harmonie ou en rupture avec l'existant.

Le résultat escompté est un produit qui, grâce à son style attractif pour ses utilisateurs, mais également pour leur entourage, sera **mieux accepté**.

Notre conseil

- **Travaillez en équipe pluridisciplinaire** : comme évoqué plus haut, le designer industriel est un membre indispensable de votre équipe de concepteurs, tout comme les ingénieurs et concepteurs technologues. Intégrer également un spécialiste de l'humain comme l'ergonome ou un spécialiste du handicap comme l'ergothérapeute. Et si vous en avez la possibilité, conviez aussi des utilisateurs et menez une **conception participative**. Cette approche pluridisciplinaire augmentera les chances de succès de votre projet.
- **Travaillez avec des partenaires généralistes** : si vous concevez un produit qui vise directement ou indirectement un marché de masse, contactez des fournisseurs, sous-traitants et distributeurs **généralistes**, c'est-à-dire non spécialisés dans le marché du handicap (ex. : industriels du secteur des produits sportifs ou de l'automobile). Vous

aurez ainsi **plus de chances d'innover** : par la technologie, par le design, par le circuit de distribution (ex. : aide technique disponible dans des grandes surfaces spécialisées pour le sport, ou chez des concessionnaires automobiles), etc.

Évitez les erreurs

Stigmatiser ses utilisateurs : si votre produit ressemble à un produit « pour handicapés », il dégrade l'image de l'utilisateur, et risque donc d'être rejeté. Ne minimisez pas cet effet : l'usage d'un produit ou d'une technologie associée au handicap ou à la dépendance peut être vécu comme une réelle situation d'exclusion. Le produit devient la preuve tangible et affichée du handicap, et en cela il stigmatise la personne. Les technologies pour l'autonomie ont à la fois un rôle dans le maintien ou la compensation d'une fonction altérée, mais aussi dans la relation à l'environnement, l'estime de soi et l'intégration sociale. Elles sont donc parfois à la fois désirées pour l'aide qu'elles apportent et rejetées parce qu'elles soulignent le handicap. Certaines personnes préféreront rester isolées chez elles et renoncer à des activités plutôt que de sortir avec une aide technique trop stigmatisante (ex. : un déambulateur).

Pour aller + loin

Bibliographie

- Fougéryrolas, P. et al., *Classification québécoise - Processus de Production du Handicap (PPH)*, 1998
- Plos, O., *Innover pour et par le handicap. Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche : Application au marché du handicap moteur*, thèse de doctorat, École nationale supérieure d'arts et métiers, 2011
- Marshall, R. et Botterell, P. G., « Modular Design », *Manufacturing Engineer*, 78(3), p. 113-116, 1999
- Salhied, S. E. M. et Kamrani, « Modular Design », in *Collaborative Engineering, Theory and Practice*, A. K. Kamrani et E.S. Abouel Nasr (Eds.). Chap. 10, p. 207-226, Springer, 2008

Auteurs

Stéphanie BUISINE, Ornella PLOS et Améziane AOUSSAT



Les plus Internet

Saisissez la Référence Internet 22745.0247 dans le moteur de recherche du site www.techniques-ingenieur.fr pour accéder aux mises à jour de cette fiche ainsi que la Réf. Internet des rubriques suivantes :

Fiches associées

- 22745.0241 – La conception universelle, inclusive

La conception universelle, inclusive

Référence Internet
22745.0241



Saisissez la Référence Internet 22745.0241 dans le moteur de recherche du site www.techniques-ingenieur.fr pour accéder à cette fiche

Vous souhaitez mettre en œuvre une démarche de conception universelle pour bénéficier des retombées positives en termes d'image pour votre entreprise. En outre, l'incitation réglementaire pour l'accessibilité des produits et services est en route en France depuis la loi du 11 février 2005 « pour l'égalité des droits et des chances ». Mais la notion de conception universelle est vague et peut sembler difficile à appliquer.

La conception universelle est définie comme la **conception de produits et d'environnements** dont l'usage est destiné à tous dans la plus large mesure, sans besoin d'adaptation ou de conception spéciale. Cette conception vise **les personnes de tous âges, toutes tailles et toutes capacités**, pour simplifier l'usage des produits et la vie de chacun, sans coût supplémentaire ou avec un faible surcoût. Elle se décline en de nombreuses approches : « Conception pour tous » pour les technologies de l'information et de la communication, « Conception accessible » pour les espaces et les services, « Conception trans-générationnelle » centrée en particulier sur les personnes âgées, et « Conception inclusive » dont la démarche est basée sur la décomposition des profils utilisateurs en capacités.

3

Nous proposons dans cette fiche une approche simplifiée de la conception universelle qui pourra notamment vous aider à répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les caractéristiques d'un produit universel ?
- Comment tester l'universalité d'un produit ?

En pratique

► Étape 1 : Définissez vos utilisateurs et identifiez leurs capacités

En fonction des produits que vous concevez, vos utilisateurs potentiels peuvent varier. Certains produits s'adressent potentiellement à tous (ex. : *un téléphone portable*), alors que d'autres concernent une population plus restreinte. Par exemple, le poste de conduite d'une voiture ne requiert pas d'être adapté aux caractéristiques des enfants ou des personnes aveugles, car ceux-ci ne sont pas autorisés à conduire. Autre exemple, un outil professionnel ne requiert pas d'être adapté aux caractéristiques des enfants ou des personnes âgées car ceux-ci ne sont pas censés se trouver en situation de travail. En revanche, il peut concerner un salarié handicapé.

Les utilisateurs étant identifiés, les capacités auxquelles on s'intéresse sont celles qui interviennent dans l'interaction avec un produit :

- **Les capacités sensorielles** : troubles éventuels de l'audition, du toucher, de la vision, daltonisme, cécité, etc. Par exemple, l'utilisation standard d'un téléphone portable requiert des capacités visuelles (lecture de l'écran, repérage des touches), des capacités auditives (sonnerie, conversation, retours sonores associés à certaines actions), et tactiles (pour sentir la butée en bout de course des touches, ou les retours vibratoires des écrans tactiles).
- **Les capacités motrices** : troubles éventuels de la dextérité, force limitée, difficultés à parler, incapacité à utiliser certains segments corporels, etc. L'utilisation standard d'un téléphone portable requiert la capacité à tenir le combiné d'une main et à interagir avec l'autre main, ou à faire les deux actions d'une seule main. Il faut aussi être capable de maintenir le téléphone sous ses yeux, d'appuyer sur la bonne touche ou combinaison de touches, de maintenir le téléphone à son oreille sans appuyer sur des touches, et de parler. Il faut même parfois être capable de maintenir le téléphone à son oreille tout en se libérant les mains pour d'autres actions (ex. : prendre des notes, ou faire tout autre chose).
- **Les capacités cognitives** : difficultés de concentration, troubles du langage, de l'apprentissage, altération du temps de réaction, retard mental, etc. Dans l'utilisation standard d'un téléphone portable, les capacités cognitives interviennent principalement dans la compréhension de l'interface (lecture, navigation dans le menu, compréhension des associations entre touches et fonctions), dans la connexion (composition du numéro ou navigation dans le répertoire) et dans l'enchaînement des actions (notamment pour les opérations décrocher/raccrocher).

Il est utile de s'aider d'outils quantitatifs et statistiques pour estimer la population concernée par tel ou tel profil de capacités ou d'incapacités. Le site www.inclusivedesigntoolkit.com estime par exemple, sur la base de la population britannique, que les capacités sensorielles, motrices et cognitives que nous avons décrites pour l'utilisation standard d'un téléphone excluent au total 4,27 millions d'utilisateurs potentiels en Grande-Bretagne. Ces chiffres facilitent la prise de conscience et la prise de décision.

Dans cette première étape, il est intéressant de rencontrer vos futurs utilisateurs pour mieux cerner leurs capacités, leurs stratégies de compensation et leurs besoins. Mais vous pouvez aussi, pour cela, faire appel à des spécialistes (ex. : ergothérapeutes, ergonomes, médecins) qui sauront, dans une certaine mesure, vous rapporter la voix des utilisateurs.

► Étape 2 : Concevez en respectant les sept principes de la conception universelle

Gardez en tête ces sept principes lorsque vous choisissez et développez des solutions :

- **Usage équitable** : le produit doit être utile et commercialisable à tous les groupes d'usagers. Par exemple, une interface vocale et un mode « mains libres » sur le téléphone portable peuvent rendre service à de nombreuses catégories d'utilisateurs : personnes atteintes de troubles de la vision, de troubles moteurs, personnes valides ayant les mains occupées à une autre activité, appel collectif, etc.
- **Flexibilité ou souplesse d'usage** : le produit doit satisfaire un large champ d'attentes individuelles et de capacités. Un même téléphone doit être utilisable en mode vocal, en mode textuel, en mode silencieux, en mode mains libres, etc. Il s'adapte ainsi à différents types d'utilisateurs, mais aussi à différents contextes d'usage pour un même utilisateur.
- **Usage simple et intuitif** : l'utilisation du produit doit être facile à comprendre, quels que soient l'expérience, la compétence, l'habileté de langage ou le niveau de concentration

courant de l'usager. Pour simplifier l'utilisation d'un téléphone portable, on peut diminuer la complexité de son menu et faire apparaître une hiérarchie claire en fonction de l'importance de chaque information.

- **Information perceptible immédiatement** : le produit doit communiquer efficacement à l'usager l'information nécessaire, quelles que soient les conditions ambiantes ou les capacités sensorielles de l'usager. Par exemple, les touches les plus importantes (allumer / éteindre, décrocher / raccrocher) doivent être perceptibles immédiatement, par des repères visuels et tactiles redondants.
- **Tolérance à l'erreur** : le produit doit minimiser les risques et les conséquences négatives d'actions accidentelles ou non délibérées de la part de l'usager. Pour un téléphone portable, on pourrait notamment améliorer les *feedback* de connexion (informer de façon claire l'utilisateur sur l'état de son appareil : en ligne, hors ligne, connecté à internet, non connecté).
- **Faible niveau d'effort physique** : le produit doit permettre un usage efficace et confortable avec le minimum d'effort. Par exemple, permettre la manipulation du téléphone avec un seul doigt ou point de contact, ou encore faciliter les changements de posture et de préhension pendant l'utilisation.
- **Dimension et espace prévus pour l'approche et l'usage** : disposer de dimensions suffisantes (taille, espace, etc.) pour l'atteinte, l'approche. Un téléphone, même s'il est bien conçu, sera inutilisable par une personne qui ne peut pas atteindre une prise murale pour le recharger (ex. : *personne en fauteuil roulant*), ou n'a pas la force nécessaire pour effectuer le branchement. Ces principes peuvent vous sembler abstraits et difficiles à appliquer à votre propre produit : ne vous découragez pas ! Servez-vous en comme des voies de créativité. Vous pouvez d'ailleurs convier les futurs utilisateurs à ces séances de créativité orientées par les principes de la conception universelle.

► Étape 3 : Vérifier auprès des utilisateurs l'acceptabilité de votre produit

Dès que vous disposez de premières maquettes de votre produit, testez-les. Certains concepteurs utilisent pour cela des « simulateurs de déficience », comme par exemple des logiciels qui permettent d'adopter le point de vue d'un utilisateur atteint de troubles de la vision ou de l'audition, ou encore des gants spécialement conçus pour simuler un trouble de la dextérité. Cependant le mieux est encore de confronter le produit (ou la maquette) avec de vrais utilisateurs ! Si vous n'avez pas de contact direct avec eux, vous pouvez passer par des associations, elles seront d'une aide précieuse pour rencontrer vos utilisateurs ainsi que pour organiser les tests utilisateur (lieu, protocole, logistique, etc.).

L'objectif de ces tests utilisateur doit être de caractériser l'**acceptabilité** de votre produit. Celle-ci repose sur trois critères :

- **L'acceptabilité fonctionnelle** : cette notion relève de l'**ergonomie** du produit et est indépendante des performances techniques du produit. Elle se décompose ainsi :
 - l'utilisabilité : efficacité (l'utilisateur parvient-il à réaliser l'activité visée ?), efficience (quel est le coût physique et mental associé à l'utilisation du produit ?) et satisfaction (l'utilisateur est-il satisfait du produit ?) ;
 - l'utilité : le produit répond-il aux besoins de l'utilisateur ?
- **L'accessibilité** : ce critère implique de mesurer l'utilisabilité pour différents profils d'utilisateurs, ayant des capacités différentes et des contextes d'utilisation différents.
- **L'acceptabilité sociale** : cette notion se rapporte à l'image du produit, sa valeur d'estime. Un produit universel doit s'intégrer harmonieusement à l'environnement, aux modes et aux tendances du moment.

Notre conseil

- **Raisonnez en gamme de produits :** il est illusoire d'imaginer qu'un produit unique puisse convenir à tous, quelles que soient les capacités. La conception universelle consiste aussi à décliner un produit en gamme pour s'adapter à des besoins variables, et avec des coûts réduits. Une gamme est constituée de plusieurs produits conçus à partir d'une plateforme commune, selon un principe de conception modulaire. La réutilisation de modules (sous-ensembles de l'architecture du produit) permet d'augmenter les volumes de production combinée tout en diminuant les coûts individuels. Elle respecte en outre le critère d'acceptabilité sociale, puisque tous les éléments de la gamme utilisent les mêmes codes formels et esthétiques, ont une identité cohérente entre eux.
- **Suivez une approche itérative :** la conception universelle pose de nombreux défis : il arrive qu'en apportant une solution pour une catégorie d'utilisateurs on crée des problèmes non anticipés. Pour y faire face, il est judicieux de procéder de façon itérative, selon une démarche de Conception Centrée Utilisateurs. Cela implique de générer des maquettes le plus tôt possible dans le processus de conception (maquettes de principe, maquettes *low fidelity*) et de les tester avec un petit nombre d'utilisateurs (*par exemple : 5 utilisateurs par itération*). On arrive ainsi progressivement à des solutions performantes.

3

Évitez les erreurs

- **Minimiser l'importance de l'image du produit :** dans un projet de conception universelle, on pourrait avoir tendance à privilégier l'adaptation fonctionnelle du produit par rapport à son esthétique. Or, l'image du produit reste un levier d'achat primordial ! Un produit qui semble avoir été conçu « pour les personnes âgées » ou « pour les personnes handicapées » ne sera acheté ni par les uns, ni par les autres, et encore moins par les personnes valides.
- **Pénaliser l'utilisateur valide :** idéalement, les solutions développées pour les utilisateurs ayant des déficiences doivent aussi rendre service aux utilisateurs ayant toutes leurs capacités. Dans tous les cas, il faut aussi préserver les habitudes ou les conventions acquises sur d'autres produits. Par exemple, proposer à l'utilisateur valide soit d'utiliser un nouveau mode de saisie de texte sur téléphone portable (plus performant pour lui), soit de continuer à utiliser le mode dont il avait l'habitude sur d'autres modèles.

Foire aux questions

Faut-il prévoir un coût ou un délai supplémentaire ?

Un investissement supérieur en temps et en argent doit être supporté en début de processus de conception (recherche de solutions, processus itératif), mais il doit aboutir par la suite à un produit optimisé et à une économie sur le coût de la non-qualité. En outre, les bénéfices indirects de la conception universelle peuvent être nombreux : volume de vente, bénéfice d'image, fidélisation des clients, etc.

Cette démarche concerne-t-elle certains types de produits ou est-elle applicable à tous les produits ?

La conception universelle concerne tous les types de produits, et en priorité les produits de la vie quotidienne ou produits « grand public ».

Pour aller + loin

Sites Internet

www.inclusive design toolkit.com/
www.ncsu.edu/project/design-projects/udi/

Bibliographie

- BS 7000-6. *Design management systems. Managing inclusive design*, 2005
- Clarkson, J. et al., *Inclusive Design: design for the whole population*, Springer Ed., 2003
- Erlandson, R. F., *Universal and accessible design for products, services and processes*, CRC Press, 2007
- Keates, S. and J. Clarkson, *Countering design exclusion: an introduction to inclusive design*, Springer Ed., 2004
- Plos, O., *Innover pour et par le handicap. Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche : Application au marché du handicap moteur*, Thèse de doctorat, École nationale supérieure d'arts et métiers, 2011
- Vanderheiden, G. C., « Design for people with functional limitations resulting from disability, aging and circumstance », in *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, G. Salvendy Ed., p. 2010-2052, 1997, New York, Wiley

3

Auteurs

Stéphanie BUISINE, Ornella PLOS et Améziane AOUSSAT



Les plus Internet

Saisissez la Référence Internet 22745.0241 dans le moteur de recherche du site www.techniques-ingenieur.fr pour accéder aux mises à jour de cette fiche ainsi que la Réf. Internet des rubriques suivantes :

Fiches associées

- 22745.0247 – Innovons pour les personnes en situation de handicap



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect



Computers in Human Behavior

journal homepage: www.elsevier.com/locate/comphumbeh

How do interactive tabletop systems influence collaboration?

Stéphanie Buisine ^{a,*}, Guillaume Besacier ^b, Améziane Ouassat ^a, Frédéric Vernier ^b^a Arts et Métiers ParisTech, LCPI, 151 bd Hopital, 75013 Paris, France^b LIMSI-CNRS and University of Paris-11, BP 133, 91403 Orsay Cedex, France

ARTICLE INFO

Article history:

Available online 13 September 2011

Keywords:

Tabletop interfaces
Creative problem solving
Brainstorming
Social loafing
Collaboration
Motivation

ABSTRACT

This paper examines some aspects of the usefulness of interactive tabletop systems, if and how these impact collaboration. We chose creative problem solving such as brainstorming as an application framework to test several collaborative media: the use of pen-and-paper tools, the "around-the-table" form factor, the digital tabletop interface, the attractiveness of interaction styles. Eighty subjects in total (20 groups of four members) participated in the experiments. The evaluation criteria were task performance, collaboration patterns (especially equity of contributions), and users' subjective experience. The "around-the-table" form factor, which is hypothesized to promote social comparison, increased performance and improved collaboration through an increase of equity. Moreover, the attractiveness of the tabletop device improved subjective experience and increased motivation to engage in the task. However, designing attractiveness seems a highly challenging issue, since overly attractive interfaces may distract users from the task.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

1.1. Goal of the research

This paper relates to characterizing the *usefulness* of interactive collaborative tabletop systems: we explore the benefits of using an interactive tabletop device in a collaboration context, whether this changes the way people work together within a group, and if so, to what extent. To this end, we review research on creative problem solving in order to design the most adequate application framework. By means of two iterative experiments we isolate the influence of several features of tabletop systems and rely on social and cognitive psychology literature to interpret our results.

2. Tabletop devices and their evaluation

Our goal is to evaluate interactive tabletop paradigm by measuring its benefits with regard to traditional collaboration situations. Tabletop systems are multi-user horizontal interfaces for interactive shared displays. They implement around-the-table interaction metaphors allowing co-located collaboration and face-to-face conversation in a social setting (Shen et al., 2006). Tabletop prototypes have been developed for various application fields such as games, photo browsing, map exploration, planning

tasks, classification tasks, interactive exhibit medium for museums, drawing, etc. (Scott & Carpendale, 2006; Shen et al., 2006). An abundant literature on tabletop computing has developed in the recent few years, and contains a large number of user studies, which we classify as follows:

- **Ethnographic studies or user needs analyses:** In this category, the methodological framework relies on ecological observations and formalization of what happens when users are involved in tabletop activities. Such methods are characterized by minimal intervention on the part of the experimenter and a realistic context of observation. Results are mainly used to inform the design of future systems: they do not exactly constitute evaluations because they take place either very early in the design process (e.g. task analyses on non-augmented tables or mock-up studies, see Kruger, Carpendale, Scott, & Greenberg, 2004; Müller-Tomfelde, Wessels, & Schremmer, 2008; Scott, Carpendale, & Inkpen, 2004) or very late in the process (after field deployment of systems, see Hornecker, 2008; Mansor, De Angeli, & De Bruijn, 2008; Rick et al., 2009; Ryall, Ringel Morris, Everitt, Forlines, & Shen, 2006; Wigdor, Penn, Ryall, Esenther, & Shen, 2007).
- **Tabletop interface evaluation:** A second category of user studies aims to evaluate design concepts, implementations, or applications. There are two ways of achieving such evaluations: user tests within an iterative design process (see e.g. Cao, Wilson, Balakrishnan, Hinckley, & Hudson, 2008; Hilliges, Baur, & Butz, 2007; Jiang, Wigdor, Forlines, & Shen, 2008; Mazalek, Reynolds, & Davenport, 2007; Pinelle, Stach, & Gutwin, 2008; Rick & Shen, 2007).

* Corresponding author. Tel.: +33 144 246 377; fax: +33 144 246 359.

E-mail addresses: stephanie.buisine@ensam.eu (S. Buisine), guillaume.besacier@limsi.fr (G. Besacier), ameziane.ouassat@ensam.eu (A. Ouassat), frédéric.vernier@limsi.fr (F. Vernier).

Rogers, 2008) and comparisons between several design solutions (see e.g. Block, Gutwin, Haller, Gellersen, & Billinghurst, 2008; Jun, Pinelle, Gutwin, & Subramanian, 2008; Marshall, Hornecker, Morris, Dalton, & Rogers, 2008; Pinelle, Barjawi, Nacenta, & Mandryk, 2009; Ringel Morris, Cassanego et al., 2006; Ringel Morris, Paepcke, Winograd, & Stamberger, 2006).

- **Tabletop paradigm evaluation:** In this last category we include studies comparing the realization of the same activity on a tabletop system and on a given control condition (e.g. traditional desktop systems, interactive boards, pen-and-paper, etc.). Although the two aforementioned categories (ethnographic studies and interface evaluations) enable researchers and practitioners to gain an increasingly detailed picture of user experience in tabletop interface use (e.g. effectiveness, usability, pleasantness, enjoyability of interaction, etc.), evaluating the *usefulness* of these systems remains a key issue. It can be addressed only via a comparison of a tabletop with alternate traditional tools to identify, quantify and understand its benefits and drawbacks with respect to other interaction and collaboration media. There are very few studies of this kind. For example, Rogers and Lindley (2004) reported on positive effects of a tabletop interface compared with a wall display or a computer screen in the context of a collaborative task: they observed more interactions and more role changes (visible as circulation of the input device within the group) in the tabletop condition. Such a result is highly encouraging since the authors were not able to take full advantage of all technological features available in tabletop systems today: for example Rogers and Lindley's device allowed only a single touchpoint (by means of a stylus shared by group members) and a single viewpoint (participants seated side by side, and not face to face). Rogers, Lim, Hazlewood, and Marshall (2009) later investigated several conditions of interface accessibility and tangibility by testing three collaboration devices: a shared laptop with a single mouse, a multi-user tabletop and a physical-digital setup (multi-user tabletop + RFID-enabled tagged objects). The laptop condition gave rise to more verbal contributions and larger differences in physical contribution between the participants (higher inequity). This can be explained by the fact that in the laptop condition there was only one entry point for all group members (i.e. one mouse to share) whereas in the tabletop and physical-digital conditions there were multiple entry points (all group members could interact directly with the task material).

Regarding the specific issue of collaboration around an interactive tabletop device, user studies (our second category) enable researchers to observe and describe how people collaborate with such technology, while comparative studies (our third category) enable them to understand why it is so. For example, user studies provided descriptions of collaboration patterns around the tabletop such as turn-taking and parallel collaboration (Shaer et al., 2010), role assignment strategies (Tang, Pahud, Carpendale, & Buxton, 2010), non-verbal behaviors promoting mutual awareness (Conversy et al., 2011), collaborative learning mechanisms such as suggestion process, negotiation, joint attention and awareness maintenance (Fleck et al., 2009), or subjective benefits of tabletop collaboration (Hartmann, Ringel Morris, Benko, & Wilson, 2010; Smith & Graham, 2010). To explain these benefits, comparative studies have emphasized the positive role of multiple entry points for collaboration (Marshall et al., 2008; Rogers et al., 2009): when compared to a device with a single entry point (e.g. one mouse to be shared by the group members) interactive tabletop systems improve collaboration. In the present study we wish to extend our understanding of the influence of such device on task performance, collaborative behaviors, and subjective experience of

collaborating participants. For this purpose, we chose to compare the use of an interactive tabletop device with a traditional pen-and-paper condition (which is multi-user and still constitutes a reference situation for group meetings) and explore the effects of two other important features of interactive tabletops: the form factor, which enables people to sit around the table and notably face-to-face, and the attractiveness of the device, which we believe is likely to increase users' involvement in the task. A collaborative creative problem solving task seemed particularly relevant to provide a context for these experiments, as explained below.

3. Creative problem solving as an application framework

In this section, we will show that tabletop systems – which are expected to support collaboration by providing sharing and visualization facilities while emphasizing the social nature of collaboration – appears to meet the requirements of creative problem solving. Creativity is the ability to produce work that is both novel and appropriate (Sternberg, 1998). One of the most popular creative problem solving methods is *group brainstorming*: this method enhances idea generation through cognitive stimulation (i.e. exposure to other participants' ideas, see Dugosh & Paulus, 2005; Dugosh, Paulus, Roland, & Yang, 2000; Nijstad, Stroebe, & Lodewijkx, 2002) and social comparison (i.e. the possibility to compare one's own performance to the others', see Bartis, Szymanski, & Harkins, 1988; Dugosh & Paulus, 2005; Harkins & Jackson, 1985; Michinov & Primois, 2005; Paulus & Dzindolet, 1993).

However, a major shortcoming of "oral" brainstorming is the necessity of managing *speech turns*: each participant has to wait for his turn to give an idea, and only one idea can be given within a turn. This severely interferes with idea generation process (Nijstad, Stroebe, & Lodewijkx, 2003) and results in "production blocking" (Diehl & Stroebe, 1987; Michinov & Primois, 2005). One simple solution is to use the written instead of the oral channel to record the ideas, which can be referred to as brainwriting (Isaksen, Dorval, & Treffinger, 2000; VanGundy, 2005), Brainpurge (VanGundy, 2005), etc. A shareable interactive surface is likely to bring new facilities for these activities: saving/loading the session, performing grouped treatments on items (i.e. moving all items together) and making easier the follow-up analysis (no transcription needed). Above these general benefits, a digital tabletop system can implement computer-supported rotations of items (Shen, Vernier, Forlines, & Ringel, 2004) which help to manage the orientation et re-orientation of items for people around the table.

Creativity-supporting tabletop applications have been developed previously (Hartmann et al., 2010; Hilliges et al., 2007; Streitz, Geißler, Holmer, & Konomi, 1999; Warr & O'Neill, 2006) but their actual benefits have not been measured experimentally. The study by Hilliges et al. (2007) is noteworthy since it compared a digital brainstorming application composed of an interactive table and a wall-mounted display to their pen-and-paper counterparts. The results showed no difference in task performance between the two conditions but subjective evaluations were globally favorable to the digital condition. However, since the application involved both a tabletop and a wall-mounted display in all conditions, it was not possible to distinguish the respective benefits of each device within the results.

4. Overview of the experiments

This research included two steps: for the first experiment we found it important to compare the use of an augmented multi-user tabletop system to the reference situation of creative problem solving sessions which relies on pen-and-paper tools and takes place in

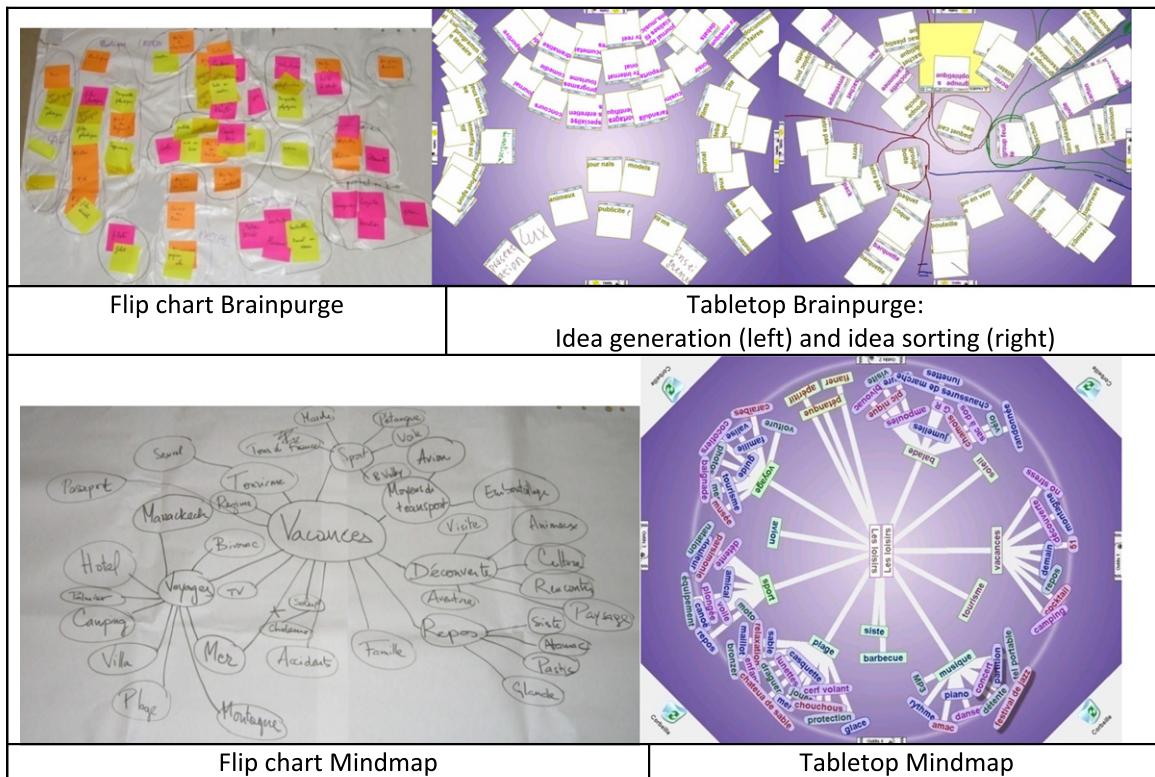


Fig. 1. The creative problem solving tools (Brainpurge and Mindmap) in the two experimental conditions (flip chart and digital tabletop).

front of a flip chart (VanGundy, 2005). The results led us to formulate hypotheses related to tabletops' form factor and to attractiveness of the device. Accordingly we designed the second experiment to complete the picture with a new control condition consisting of a pen-and-paper session around a non-augmented table and a digital tabletop condition enriched with more targeted and more attractive interaction styles. In both experiments we used a repeated-measures design in which groups of participants had the opportunity to compare the interactive tabletop condition and the control condition in similar creativity exercises.

5. Experiment 1

5.1. Participants

Twelve groups of four participants (48 users in total) were involved in this first experiment. Every group included students, teachers and/or staff members from our university. Groups composed of students only were excluded in order to avoid excessive familiarity among participants and to simulate the conditions of creative problem solving sessions in a more realistic fashion. Overall, our users were 33 students, six teachers and nine staff members, 27 men and 21 women, aged 20–53 years (mean = 27.9, SD = 7.7).

5.2. Materials

For the interactive tabletop condition, we used a 88-cm MERL DiamondTouch device (Dietz & Leigh, 2001) with a 1400 * 1050 projected display: participants were seated around the table and interacted with finger-input on the display. The experimenter, who also played the role of session facilitator, sat aside on a high-chair. In the control condition participants were all equipped with sticky notes and marker pens and were seated in front of a flip

chart with the experimenter standing beside it (i.e. the reference situation for creative problem solving sessions, see VanGundy, 2005).

We tested two creative problem solving tools in those conditions: a Brainpurge on sticky notes (VanGundy, 2005) and a Mindmap (Buzan, 1991). These two methods are based on associative logics and belong to the divergent thinking paradigm (Runco, 2004). In both cases participants were asked a general question (e.g. "What does the field of leisure make you think of?"): during the Brainpurge ideas are written down by each participant on sticky notes, then shared and collectively sorted in order to bring out categories of ideas. In the Mindmap, ideas are generated orally by the participants, written down and organized by the facilitator in the form of a tree: the initial question in the center, first-level associations as branches, second-level associations as leaves, etc. (see Buisine, Besacier, Najm, Ouassat, & Vernier, 2007 for more details). The main difference between the two methods concerns the direction of associative logics: Brainpurge explores a semantic network horizontally (within a constant level of abstraction) whereas Mindmap explores it vertically (addressing categories and subcategories). Fig. 1 illustrates these tools in our two experimental conditions.

5.3. Implementation

The digital tabletop creative applications were implemented using the DiamondSpin toolkit (Shen et al., 2004). In the tabletop Brainpurge, each user created his notes using a personal menu located on the edge of the table closest to him. The user can edit his notes (using handwriting, drawing, or typing in on a virtual keyboard), move, rotate, delete, resize, or miniaturize them. Miniaturization consists in pressing a button to instantly shrink a note down to minimal size. It also represents a (reversible) validation operation, since the note is no longer editable when shrunk down

(this enables users to manipulate notes without writing on them). The default spatial orientation of notes is different in the generation and categorization stages (see Fig. 1): in the generation stage, virtual notes cannot be moved out of each participant's personal area and their default orientation is centered on their author (i.e. on a virtual point located outside of the table); in the categorization stage, notes are movable on the whole display area and default orientation always faces the tabletop's nearest edge. The categorization stage is then launched by the experimenter. Users can write directly on the table background, for example to define the boundaries of zones located on the table surface, and label idea categories.

The tabletop Mindmaps are built top-down from the root label (this label is duplicated and the copy is rotated upside-down to be readable by all four users) by using double-tap-and-drop actions to create new nodes. All users can create or move nodes but editing these nodes must be consensual: this is why text input is allowed from a single source only (a physical wireless keyboard) which is managed by the facilitator (see Buisine et al., 2007). This constraint mimics the pen-and-paper procedure in which the facilitator is the only one who holds the marker, in charge of transcribing the participants' ideas. Nodes of the hierarchy can be freely relocated on the table, and sub-hierarchies follow their parent nodes. Node orientation is constrained: first-level nodes always face the closest outside edge of the table and second-level nodes always have their back facing their parent node. Users can also rotate the whole display to change the view without changing the arrangement of the hierarchy.

5.4. Procedure

Participants were informed that the aim of the research was to evaluate a new kind of collaborative medium, the multi-user tabletop device. The creative problem solving methods (Brainpurge or Mindmap) were explained, and Osborn's rules (1953) were delivered: Focus on quantity, Withhold criticism, Welcome unusual ideas, Combine and improve ideas. Each group carried out two short creative problem solving exercises successively: one in the pen-and-paper control condition and one in the digital tabletop condition (repeated-measures design). Counterbalancing of conditions and topic assignment (what the creative problem solving exercises were directed toward) is shown in Table 1. Assignment of groups to experimental cases was randomized. The structure of the reflection being slightly different between the two methods

Table 1

Description, for each of the 12 participant groups, of the creative problem solving tool used (Brainpurge or Mindmap), the topics addressed (industrial sectors of Packaging, Television programs, Media, and Leisure) in each condition (digital Tabletop and control Flip chart) and their order (in square brackets: half of the groups performed the Tabletop condition first, and half performed the Flip chart condition first).

Group ID	Tabletop condition	Flip chart condition
<i>Creative problem solving tool used: the Brainpurge</i>		
1	Television [#1]	Packaging [#2]
2	Packaging [#1]	Television [#2]
3	Television [#1]	Packaging [#2]
4	Packaging [#2]	Television [#1]
5	Television [#2]	Packaging [#1]
6	Packaging [#2]	Television [#1]
<i>Creative problem solving tool used: the Mindmap</i>		
7	Media [#1]	Leisure [#2]
8	Leisure [#1]	Media [#2]
9	Media [#1]	Leisure [#2]
10	Leisure [#2]	Media [#1]
11	Media [#2]	Leisure [#1]
12	Leisure [#2]	Media [#1]

we ran them on different kinds of questions: a creative search at the product level for the Brainpurge (on Packaging and Television programs) and another one at the sector level (on Leisure and Mass media). The typical question for starting the Brainpurge was "What kinds of packaging (respectively television programs) do you know?" and the one question in the Mindmap was "What does the field of leisure (respectively mass media) make you think of?" All exercises had to be achieved within a limited timeframe (8 min for idea generation in the Brainpurge, 10 min for idea categorization in the Brainpurge, and 10 min for the Mindmap).

The tabletop condition was preceded by a familiarization stage where the interface's functionalities were demonstrated to the participants. Both tabletop and flip chart conditions were video-recorded. At the end of the experiment, users had to fill in a questionnaire to assess several subjective variables on 7-point Likert scales. The whole experiment lasted about 1 h for each group.

5.5. Data collection

In this section, we detail the three kinds of variables that were collected.

5.5.1. Performance criteria

Evaluating creativity is a complex issue since there is no "right answer" to a creative problem. Some of the existing tests designed to assess individuals' capacity for creativity (e.g. the Torrance Test of Creative Thinking) cope with this complexity by measuring individual performance with regard to normative data (typically: a database of the most frequent answers to the same problem, see Torrance, 1966). For the particular problems we submitted to our participants (television, packaging, media, leisure), no normative data exist. Hence we decided to create our own database of answers by aggregating all groups' ideas on the same topic. Subsequently, each group's production was expressed as a percentage of this reference production, which accounts for quantity of ideas generated by each group. It must be noted that in the literature on creative problem solving, quantity is considered to be correlated to quality of the creative production (Osborn, 1953; Parnes & Meadow, 1959): the more ideas are generated, the more likely it is that good ideas arise.

This production index was the only performance metric for the Mindmap exercise. For the Brainpurge, two independent judges also carried out a meta-categorization of the aggregate of ideas in order to analyze each group's performance in the categorization stage. For this meta-categorization we adopted a card sorting procedure, a technique used in information architecture design (Nielsen, 1993). The judges had to arrange the global idea pool and generate a two-level category tree, in an unsupervised way (which means that no category labels were supplied). This ad hoc taxonomy, reached by consensus, enabled us to build a dual index (partly inspired by Nijstad et al., 2002) accounting for both the width (number of meta-categories) and depth (number of categories) of each group's outcome: each meta-category represented in a group's production was rewarded by a 10-point score, and each category by an additional 1-point score. Each group's final categorization performance was expressed as a percentage of the aggregate's meta-categorization.

5.5.2. Collaborative behaviors

We chose to assess collaboration through the quantification of contributions and the equity between participants. Indeed for tasks involving negotiation, for collaborative learning, and every time it is important for all members to have their say, equity per se is a desirable state (Marshall et al., 2008). Equity also refers to "democracy", in Habermas' sense (1984), as a set of ways to ensure the information communicated by the various participants is done

so with minimal distortion (as opposed to a repressive communicational framework). Moreover, recent studies found that equity in conversational turn-taking is correlated to the collective intelligence of the group, a factor that explains a group's performance on a wide variety of tasks (Woolley, Chabris, Pentland, Hashmi, & Malone, 2010). Hence in our experiment we decided to assess collaboration through the following inequity index I, where N = size of the group, $1/N$ = the expected proportion of events if each participant contributes equally, and O_i = the observed number of contributions for each individual.

$$I = \left| \frac{1}{N} - \frac{O_i}{\sum_{i=1}^N O_i} \right| \times 100$$

Similar quantification of participants' contributions can be automated by logging interface actions made by individuals (Ringel Morris, Cassanego et al., 2006; Wigdor, Jiang, Forlines, Borkin, & Shen, 2009) but we applied our inequity index to a more complete set of behavioral variables, including spoken contributions. We manually annotated spoken and gestural contributions of each participant from the video-recordings of the sessions: as speech acts, we collected assertions (e.g. giving an idea), information requests (e.g. requesting a clarification about an idea, for example "What do you mean by a shell"), action requests (e.g. asking a participant to "send a note over"), answers to questions, expression of opinions and off-task talk. We also annotated communicative gestures as another kind of contribution to the collaborative task: pointing to an item, moving a note, interrupting someone or requesting a speech turn by a gesture. In the tabletop condition, this variable also includes gesture-inputs on the table, with the exclusion of note creation/editor/suppression actions, which were not considered as communicative or collaborative gestures.

The whole corpus (174 min) was annotated by a single coder but in order to assess the reliability of annotation a second coder independently annotated a 28-min extract (which represents 16% of the corpus). Inter-judge agreement (Cronbach's alpha) amounted to 0.743.

5.5.3. Subjective data

The following variables were collected in the form of 7-point Likert scales: ease of use (1–7) of each device (flip chart and tabletop system), effectiveness (1–7) of each device, pleasantness (1–7) of each device; easiness of communication (1–7) in each condition, effectiveness of communication (1–7) in each condition, pleasantness of communication (1–7) in each condition; easiness of group work (1–7) in each condition, effectiveness of group work (1–7) in each condition and pleasantness of group work (1–7) in each condition. Furthermore, users were particularly prompted to make qualitative comments at their leisure. Likert scale results of the questionnaire were analyzed quantitatively and free comments were analyzed qualitatively.

5.6. Results

Statistical analyses were performed by means of ANOVAs using SPSS. Results with means and standard deviations are detailed in Table 2.

No significant effect of the condition (control flip chart and digital tabletop) appeared on any of our performance indices: production index for the Brainpurge, categorization index for the Brainpurge, production index for the Mindmap. Possible confounding effects produced either by the topics addressed or by the order of conditions were checked by means of *t*-tests. This analysis showed no significant effect of the topics in the Brainpurge ($t(5) = 1.21$, NS) or in the Mindmap ($t(5) = 0.72$, NS) and no

significant effect of the order of conditions ($t(5) = 0.86$; NS for the Brainpurge and $t(5) = -0.93$, NS for the Mindmap).

With regard to collaborative behaviors, the variables "expression of opinion" and "off-task talk" comprised too many missing values to be analyzed. Other raw data showed no significant difference in the absolute number of any of the behaviors. Analysis of the inequity index showed that participants' verbal contributions (sum of all behaviors but communicative gestures) were significantly more equitable in tabletop than in flip chart condition. Finally, the same result arose for communicative gestures: they were significantly better-balanced in the tabletop condition than in the flip chart condition.

The results of subjective data are somewhat contradictory between the Brainpurge and Mindmap exercises. For the Brainpurge, the use of pen and paper was evaluated as easier and more efficient than use of the digital tabletop. According to the comments added by users this result can be mainly attributed to the size of the table, which proved too small for four users manipulating more than a hundred notes at the same time. The other variables examined (pleasantness of use; ease, effectiveness and pleasantness of communication; ease, effectiveness and pleasantness of group work) showed no significant difference between tabletop and flip chart conditions.

For the Mindmap exercise, the tabletop was rated as significantly more pleasant to use, and allowing a more pleasant communication between participants. There was no significant effect of the condition (control flip chart or digital tabletop) on ease of use and efficiency of Mind-map building as well as for the other variables examined.

5.7. Discussion

The results of this first experiment can be summarized as follows: the digital tabletop had no influence on the creative performance, but it did improve collaboration in the sense that participants had more equitable contributions compared to the control flip chart condition. Finally, subjective evaluation showed mixed results: users preferred pen-and-paper for the Brainpurge but preferred the digital tabletop for the Mindmap.

The results on collaborative behaviors showed remarkable consistency between the two creative problem solving tools (Brainpurge and Mindmap). Physical accessibility of the device can naturally explain why gestural contributions were more equitable in the tabletop condition. However, physical accessibility does not explain why the amount of verbal contributions is constant over the conditions: on the contrary, with physical accessibility the verbal channel should have been less important to collaborate. Moreover, physical accessibility does not explain why verbal contributions were more equitable with the tabletop system. An alternative explanation can be found in the literature on the *social loafing* phenomenon (Karau & Williams, 1993; McKinlay, Procter, & Dunnett, 1999; Serva & Fuller, 1997): in a group situation, some participants tend to under-contribute (with comparison to a situation where they would work alone). Conversely, other participants tend to over-contribute, which is termed *social compensation*. The simultaneous occurrence of social loafing and social compensation results in the emergence of leaders and followers (high inequity), as we observed in the control flip chart condition. McKinlay et al. (1999) showed that a remote electronic brainstorming application decreased social compensation, resulting in more equitable contributions but also in an overall decrease of contributions (which we did not observe in our experiment). We showed that a digital tabletop system can decrease both social loafing and social compensation, leading to an overall constant amount of contributions, but a significantly better balance among group members.

Table 2

Means (*m*), standard deviations (SD), degrees of freedom (DOF), *F* values (*F*) and significance (Sig.) for the main dependent variables in the Flip chart control condition and the Digital tabletop condition.

	Flip chart control		Digital tabletop		DOF	<i>F</i>	Sig.
	<i>m</i>	SD	<i>m</i>	SD			
<i>Performance</i>							
Production index in Brainpurge (by group)	54	9.6	64	20.3	1/5	0.76	NS
Categorization index in Brainpurge (by group)	68.7	10.1	55.8	13.6	1/5	2.13	NS
Production index in Mindmap (by group)	50.8	12.2	46.5	16.4	1/5	0.92	NS
<i>Collaboration</i>							
Number of communicative gestures in Brainpurge (by user)	14.1	4.6	15.8	2.7	1/23	3.87	NS
Number of communicative gestures in Mindmap (by user)	4.3	4.6	6	3.3	1/23	3.59	NS
Inequity of speech acts in Brainpurge (by user)	14.9	8	10.2	7.3	1/23	7.93	*
Inequity of speech acts in Mindmap (by user)	12.1	7	10.3	9.2	1/23	7.35	*
Inequity of communicative gestures in Brainpurge (by user)	20.4	15.4	9.1	5.8	1/23	12.29	**
Inequity of communicative gestures in Mindmap (by user)	20.4	15.4	9.8	6.8	1/23	8.94	**
<i>Subjective data</i>							
Ease of Brainpurge	5.9	0.9	4.8	1.4	1/23	8.41	*
Efficiency of Brainpurge	5.5	0.9	5	1.1	1/23	6.27	*
Pleasantness of Mindmap	4.6	1.3	6	1.2	1/23	10.43	**
Pleasantness of communication in Mindmap	5	1.3	5.9	1.3	1/23	5.01	*
Efficiency of group work in Mindmap	5.2	1.2	5.7	1.3	1/23	3.56	NS
Pleasantness of group work in Mindmap	4.8	1.4	5.8	1.3	1/23	4.23	NS
Ease of Mindmap	5.4	1.3	5.4	1.3	1/23	<0.1	NS
Efficiency of Mindmap	5	1.3	5.4	1.3	1/23	1.02	NS

NS, Non-significant result.

* *p*-value < 0.05.

** *p*-value < 0.01.

In our view two hypotheses can account for this result:

- (H1) the decrease in social loafing can result from the spatial setup of participants around the table (in the control condition they were side-by-side, facing the flip chart). The underlying reason can be a higher group cohesiveness (which was shown to decrease social loafing, see Karau & Hart, 1998) or a stimulation of social comparison, providing indirect self-evaluation which is also known to decrease social loafing (Harkins & Szymanski, 1988).
- (H2) the attractiveness of a new technology may have motivated users to contribute to the task just for the fun of using the interactive tabletop system (external incentive to users' contributions). While H1 relies on a group effect, H2 suggests an increase in individual involvement of users, individual motivation, which can also be a moderating factor of social loafing (Brickner, Harkins, & Ostrom, 1986; Shepperd, 1993).

To decide between these two hypotheses we designed a second experiment: it seemed necessary to create a new control condition with pen-and-paper tools around a non-augmented table (to test H1) and a new tabletop condition with refined interaction styles in an attempt to further improve the attractiveness of the device (to test H2). Finally, given the lack of effect on creative performance and the mixed results on the subjective evaluations, a secondary goal of Experiment 2 was to integrate user requirements collected during Experiment 1 (as qualitative data, informal comments or our own observations) in order to improve our tabletop creative applications.

6. Experiment 2

6.1. Participants

Eight groups of four participants (32 users in total) were involved in the second experiment. 26 participants were students, two were teachers and four were staff members (all different from Experiment 1), 21 were men and 11 were women. Participants were aged 19–39 years (mean = 25.4, SD = 3.7). We followed the

same rule as in Experiment 1 that excessive familiarity should be avoided in the groups and consistently recruited participants that did not know each other.

6.2. Materials

For this second experiment we used a 107-cm MERL Diamond-Touch (instead of the 88-cm model used in Experiment 1) in order to meet users' requirements for a larger tabletop surface.

The spatial setup used in Experiment 1 for the tabletop condition (the four participants around the table with the experimenter sitting nearby on a highchair) was used in both conditions for Experiment 2: with the new digital tabletop on the one hand, and with the new pen-and-paper control condition on the other hand. In the latter case, we used a 145-cm non-augmented table with a 110-cm sheet of paper set on it to stand in for the flip chart; participants were equipped with sticky notes and marker pens.

We tested only the Brainpurge tool in Experiment 2. This exercise was more challenging since in Experiment 1 users preferred the pen-and-paper condition to carry out the Brainpurge. Moreover, the other evaluation criteria (performance and collaborative behaviors) showed such consistent results over the two creative problem solving methods (Brainpurge and Mindmap) that we assumed they were not method-dependent: testing several methods did not, therefore, seem necessary.

6.3. Implementation

The new interaction styles that were implemented for the interactive tabletop Brainpurge application are described and illustrated in Appendix A. These interaction styles were designed in order to increase the device's attractiveness and test our H2 hypothesis.

6.4. Procedure

In order to get comparable results, we used in Experiment 2 (E2) the same repeated-measures procedure as in Experiment 1 (E1). However, it seemed necessary to introduce a new independent variable to the protocol because access to Google Images (see

Table 3

Description, for the eight participant groups, of the topics addressed (packaging or television programs) in each condition (advanced digital tabletop and control pen-and-paper on a table), of their order (in square brackets: half of the groups performed the paper-and-table condition first and half performed the advanced tabletop condition first) and of the availability of Google Images (symbolized by GI).

Group ID	Advanced tabletop	Paper-and-table condition
1	Creative problem solving tool used: the Brainpurge Packaging [#2] GI	Television [#1]
2	Packaging [#2]	Television [#1]
3	Television [#2] GI	Packaging [#1]
4	Television [#2]	Packaging [#1]
5	Television [#1] GI	Packaging [#2]
6	Television [#1]	Packaging [#2]
7	Packaging [#1] GI	Television [#2]
8	Packaging [#1]	Television [#2]

Appendix A) seemed likely to bias our experiment. It can indeed provide additional cognitive stimulation and source of inspiration, leading to unfair advantages over the pen-and-paper condition. Therefore, only half of the groups were provided with the Google Images functionality: this enabled us to assess its impact on creative problem solving and still compare our two experimental conditions within a sub-sample. **Table 3** presents the counterbalancing scheme for our new conditions: for convenience reasons, and to distinguish them from the E1 conditions, we term them “advanced tabletop” and “paper-and-table” conditions respectively. Assignment of groups to experimental cases was randomized.

The tabletop condition was preceded by a familiarization stage to demonstrate interface functionalities and let the participants manipulate them during 5 min. Both tabletop and paper-and-table conditions were video-recorded. At the end of the experiment, users had to fill in the same questionnaire as in Experiment 1. Furthermore, in order to test our H2 hypothesis, we added a few scales (fun of use, self-assessment of creativity) as well as a customized motivation scale inspired by existing scales (Chow & Law, 2005; Pelletier, Vallerand, Green-Demers, Blais, & Brière, 1996; Rubin & Hernandez, 1988; Zaharias, 2006). For the motivation scale, users had to rate their agreement on 7-point Likert scales to the following items: “I was motivated to do well” (1–7), “The results are important to me” (1–7), “I tried to do my best” (1–7), “I would like to know my performance” (1–7), “I would like to know the others’ performance” (1–7), “I would like to carry on using the interactive tabletop device” (1–7). The experiment lasted about 1 h for each group.

Table 4

Means (*m*), standard deviations (SD), degrees of freedom (DOF), *F* values (*F*) and significance (Sig.) for the main dependent variables in the paper-and-table condition and in the advanced tabletop condition.

	Paper and table		Advanced tabletop		DOF	<i>F</i>	Sig.
	<i>m</i>	SD	<i>m</i>	SD			
<i>Performance</i>							
Production index (by group)	62.5	11.7	51.6	14.3	1/7	8.11	*
Categorization index (by group)	71.1	14.3	60.2	15	1/7	4.73	NS
<i>Collaboration</i>							
Number of speech acts (by user)	28.2	6.8	21.5	8.8	1/31	13.41	**
Number of communicative gestures (by user)	16.9	5.8	14.3	5.6	1/31	8.99	**
Inequity of speech acts (by user)	4.7	3.8	5.2	4.8	1/31	3.05	NS
Inequity of communicative gestures (by user)	5	3.7	6.9	5.7	1/31	4.44	*
<i>Subjective data</i>							
Ease of use	5.8	1.3	5	1.2	1/31	7.93	**
Pleasantness of use	4.9	0.9	5.7	1	1/31	9.93	**
Pleasantness of communication	5.3	1	5.9	0.8	1/31	14.64	**
Pleasantness of group work	5.3	1.2	6.1	0.8	1/31	11.93	**
Fun	4.6	1.3	6.3	0.9	1/31	33	**
Motivation	5.2	1.1	5.7	1.1	1/31	7.76	**

NS, Non-significant result.

* *p*-values < 0.05.

** *p*-values < 0.01.

6.5. Data collection and results

We collected the same metrics of performance as in Experiment 1 (E1): a score for idea production and another for idea categorization, for each group. However, the baseline performance was not the same for all analyses: to compare the experimental conditions within Experiment 2 (E2) we considered the aggregated productions of all eight groups for E2, whereas to compare the results of E1 and E2 we aggregated the production of the 14 Brainpurge groups and took it as a new reference. To clarify the description of the results, the four conditions are named as follows: E1-tabletop will be called “basic tabletop” and E2-tabletop “advanced tabletop”; E1-control condition will be called “flip chart” and E2-control “paper-and-table”.

In E2 the paper-and-table condition yielded better scores of idea production than the advanced tabletop condition. The use of Google Images had no significant effect on idea production ($t(6) = 0.43$, NS) or categorization ($t(6) = 1.42$, NS). **Table 4** details the results for the main variables in E2.

Comparing E1 and E2, the analysis revealed that idea production was better in E2 ($F(1/13) = 13.11$, $p = 0.005$). Fisher's LSD post hoc showed that the paper-and-table was better than the flip chart ($p = 0.015$); the advanced tabletop condition was better than the basic tabletop ($p = 0.045$); the flip chart was not different from the basic tabletop ($p = 0.611$) and the paper-and-table condition was not different from the advanced tabletop ($p = 0.173$). The categorization score was higher in pen-and-paper conditions ($F(1/10) = 6.06$, $p = 0.034$). Post-hoc show that advanced tabletop was not different from basic tabletop ($p = 0.154$); flip chart was better than basic tabletop ($p = 0.038$) and paper-and-table was not different from advanced tabletop ($p = 0.137$).

Collaborative behaviors in E2 were analyzed with the same procedure as in E1. The raw data showed more collaborative behaviors in paper-and-table than in advanced tabletop condition: more speech acts and communicative gestures. There also proved to be more collaborative behaviors in E2 than in E1 (total behaviors in pen-and-paper conditions $t(55) = 13.35$, $p < 0.001$; total behaviors in tabletop conditions $t(55) = 9.12$, $p < 0.001$).

Results show that the inequity index was significantly lower in the paper-and-table condition for the following behaviors: information requests, action requests, communicative gestures, total behaviors. No significant difference appeared on the other variables of E2 dataset.

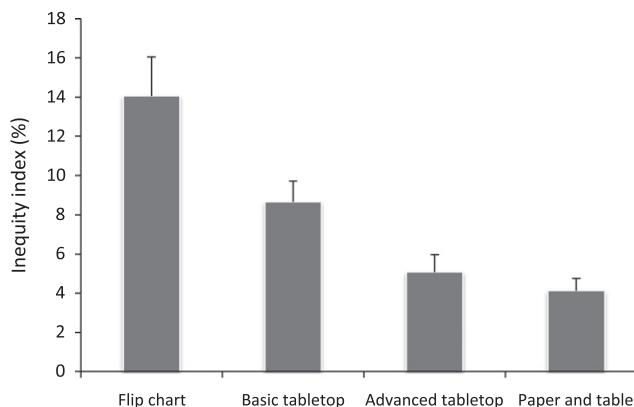


Fig. 2. Average inequity (gap between each participant's actual contribution and the theoretical value of 25%, in absolute value) in the four tested conditions: flip chart in Experiment 1, basic digital tabletop in Experiment 1, advanced digital tabletop in Experiment 2, and paper-and-table in Experiment 2.

Comparing E1 and E2, inequity proved to be significantly lower in E2 (total behaviors in pen-and-paper conditions $t(55) = 5.33$, $p < 0.001$; total behaviors in tabletop conditions $t(55) = 2.59$, $p = 0.012$). Fig. 2 represents the inequity index on the total of collaborative behaviors in the four conditions (flip chart, basic tabletop, advanced tabletop, paper-and-table).

Finally, regarding subjective evaluations, the advanced tabletop condition was better rated than paper-and-table for the following variables: pleasantness of interaction, pleasantness of communication, pleasantness of group work, fun, and motivation. The average score of willingness to carry on using the tabletop system amounts to 6/7 ($SD = 0.9$). However, paper-and-table was judged easier than the advanced tabletop condition. The other subjective variables examined showed no significant difference between the two conditions, and we did not compare subjective evaluations of E1 and E2 because we considered them as relative and not absolute data.

6.6. Discussion

Regarding creative performance, our results show that idea generation increased with the advanced prototype and the new control condition. The performance was notably higher in the paper-and-table condition compared with the flip chart condition, which suggests that H1 hypothesis is verified (i.e. a positive effect of the “around-the-table” setup).

Why would the around-the-table setup be beneficial? We know that brainstorming performance increases with cognitive stimulation (Dugosh & Paulus, 2005; Dugosh et al., 2000; Nijstad et al., 2002) or with social comparison (Bartis et al., 1988; Dugosh & Paulus, 2005; Harkins & Jackson, 1985; Michinov & Primois, 2005; Paulus & Dzindolet, 1993). In the first experiment, we used two kinds of creative problem solving methods, namely the Brainpurge and MindMap. Basically, mindmapping is highly prone to cognitive stimulation, because ideas are delivered verbally to all the participants. On the contrary, mindmapping is not prone to social comparison, since all actions are funneled through the facilitator, so one's ability to assess one's own contribution is low compared to the Brainpurge method, where post-it notes are written in different handwritings. The fact that our results were very similar between these two conditions did not enable us to conclude on the underlying reason explaining the benefits of the around-the-table setup. The increase in performance in the advanced tabletop condition, compared to basic tabletop, enables us to elaborate further on this issue. There are several differences between the two tabletop

conditions: some improvements in the prototype (robustness, surface size) and new styles of interaction (H2 hypothesis). However, the higher performance in paper-and-table with comparison to advanced tabletop invalidates H2. Furthermore, paper-and-table was supposed to generate low cognitive stimulation (participants did not see the content of other participants' sticky notes during idea generation) and more social comparison (they physically saw the number of sticky notes filled in and piled up by others). On the contrary the advanced tabletop condition may have led to more cognitive stimulation (participants saw other participants' notes during their creation, as well as the illustrations, which are even easier to process upside down than text) but lower social comparison (once notes were created they could be inserted into the slot and there was no feedback on the number of notes created by each participant). Therefore we assume that the primary reason for performance increase in the paper-and-table condition was social comparison, which was enhanced by the spatial configuration of participants around the table.

In Experiment 1, the lack of effect of basic tabletop on performance compared to flip chart could be explained by weaknesses in the first prototype. Besides, inferiority of advanced tabletop compared to paper-and-table might result from the absence of feedback on the other participants' performance (i.e. number of ideas generated), which limited social comparison. Another hypothesis is derived from our own observations of the sessions: in advanced tabletop, users spent more time editing notes than in paper-and-table. Text input was slower with the virtual keyboard than with marker pens, and some users lost some time searching for images (e.g. some of them happened to rephrase their notes to refine their Google search when they found the images were not satisfactory). However this hypothesis is questioned by the absence of significant difference between the sessions with and without Google Images.

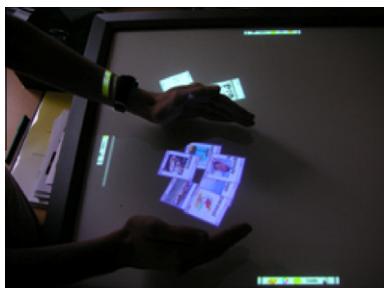
Idea categorization was also improved in Experiment 2 compared to Experiment 1. Further theoretical hypotheses would be needed to interpret these results, but the improvement observed between flip chart and paper-and-table may also be linked to the spatial arrangement of participants (H1).

Overall results show that Experiment 2 yielded more collaborative behaviors and lower social loafing than Experiment 1. Conclusions that can be made about collaborative behavior are similar to those made regarding performance criteria. Improved collaboration in paper-and-table compared with flip chart can be explained by the around-the-table setup (H1). Improved collaboration in advanced tabletop compared with the basic tabletop condition may result from improvements in the prototype: indeed the H2 hypothesis (i.e. a positive impact of tabletop's attractiveness) is invalidated by the superiority of paper-and-table over the advanced tabletop condition. To explain this, one could point out that the interaction styles used in the advanced prototype may have been likely to reinforce individual manipulation behaviors more than collaborative behaviors dedicated to task completion.

Finally, subjective evaluations were globally in favor of the advanced tabletop condition. Contrary to Experiment 1, users preferred the tabletop Brainpurge to the pen-and-paper Brainpurge, especially because of the pleasant and fun nature of the interface. Our results also confirm that motivation significantly increased thanks to the advanced tabletop system. These results can be attributed to the attractiveness of the device (H2 hypothesis), because they are not attributable to a higher effectiveness (objectively or in subjective evaluations), nor to a higher ease of use (on the contrary paper-and-table was rated as easier), nor to the spatial configuration of participants (which was the same as in paper-and-table).

Table A1

Description of the interaction styles of our new Brainpurge tabletop prototype.

*Notes grouping/de-grouping*

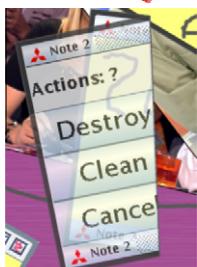
Our first prototype did not provide any means to group the virtual notes and manipulate a pile as a single item. This proved to be an important need for the categorization phase. In our second prototype users can encircle several independent notes with both hands to group them. After a 3-s feedback confirming which notes will be grouped, the notes inside the hands cluster together and become a single object, colored in purple. Users can double-tap on the group to de-group them.

*Fisheye fan and note extraction*

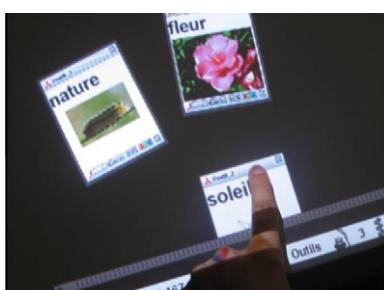
A two-finger gesture enables users to visualize the notes belonging to a group: the first finger defines the center of a fan, while the other one defines the focus of a scroll fisheye (*i.e.* the note closest to this finger is displayed bigger). From this position the user can also extract the focused note by dragging it out of the fan while the other notes remain grouped together. Finally when the gesture is released the group of notes takes its initial clustered arrangement back.

*Inertia throwing*

To move a note or a group of notes without moving the finger as far as their intended destination, users can throw them away. A coefficient of friction determines the speed of the moving item. Items do not collide between one another but can bounce on the table borders. Acceleration and deceleration coefficients were parameterized empirically so that an item can be thrown to the opposite end of the tabletop but cannot bounce back as far as its initial location.

*Note peeling and use of reverse side*

In order to save space on notes, we implemented the possibility for users to access note-specific buttons on their reverse side by peeling the notes over, and introduced specific animations (Besacier, Rey, Najm, Buisine, & Vernier, 2007).

*Storage and anonymity slots*

In the idea generation stage, hundreds of notes accumulate and space management on the tabletop can become difficult. Besides, some users' shyness can lead them to self-censorship. We introduced virtual slots to cover these two needs: a slot is available in front of each user to slip notes into, when space is needed or when the user wants to hide a note he created. Notes are sent in a collective virtual storage space and re-appear all together during the categorization stage. In order to avoid unintentional slotting, we empirically parameterized the kinematic so that gestures that were too rapid moved the note over, not inside, the slot (Besacier et al., 2007).

*Google Images search*

In Experiment 1 most users were uncomfortable with handwriting or finger drawing and mainly used the virtual keyboard to edit notes. In the new prototype we provided users the 20 first results of a Google Images search with the text in the note. Users can select the image they want to insert in their notes from a pie menu.

7. Conclusion

Our two experimental iterations enabled us to better understand the potential of interactive tabletop devices for collaboration. Previous research had emphasized their multi-user nature and demonstrated their benefits with comparison to the collective use of a single-user interactive device. We chose a more challenging issue in comparing an interactive tabletop device with pen-and-paper tools, which are still great tools for collaboration. This study enabled us to identify and characterize the impact of two features of tabletop devices.

Firstly, the spatial configuration of sitting around a table appears to influence the way people work together: it is likely to improve performance and collaboration (increase of collaborative behaviors and decrease of social loafing). These effects may be a consequence of an increase in social comparison in this configuration: closer proximity and more opportunities for subtle communication channels (e.g. eye contact, facial expressions or body language). In terms of design perspectives, it would be interesting to further emphasize social comparison by means of interaction artifacts (e.g. real-time explicit feedback on each one's performance).

The second feature we identified is the attractiveness of the device, which is likely to improve subjective experience and to increase users' motivation. However, our results also suggest that highly attractive interfaces could lead to a decrease in collaboration (individuals focus on the system rather than on their partners). Combining the benefits of device attractiveness and collaboration may be achieved by explicitly designing interaction styles for collaboration, which was not the case in our study.

Several limitations of this study draw avenues for future research. First, we used ad hoc groups composed of students and university staff. Future research should extend our findings using groups of co-workers such as design teams, or ad hoc creative problem solving groups with real expectations regarding the outcome of the session. Such populations will not necessarily be subject to social loafing or to the effects of interface attractiveness in the same way as our users were. A second major shortcoming of our study is its timeframe. Longitudinal research should investigate whether our results endure over longer periods of time: When the novelty effect disappears, will the attractiveness of the device persist? Does the process of social loafing evolve with the history of the group? Finally, future research should examine other tasks to complete our understanding of interactive tabletop systems' impact on collaboration. Research addressing group performance more generally should consider interactive collaborative tabletop devices since equity in contribution was shown to correlate to the collective intelligence factor (Woolley et al., 2010). Despite the limitations of our study, we believe that it provided new knowledge on tabletop systems, on the influence of their form factor (improvement of performance and collaboration) and of their attractiveness (improvement of subjective experience and motivation). But the actual success of this new kind of collaborative medium might partly rely on solving the paradox of designing attractive interactions without diverting users from their task. The increasing interest in tabletop systems suggests that continued research is timely and warranted.

Acknowledgments

This study was supported by the ANR-RNTL DigiTable project (www.digitable.fr).

Appendix A

See Table A1.

References

- Bartis, S., Szymanski, K., & Harkins, S. G. (1988). Evaluation and performance. A two-edged knife. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 14, 242–251.
- Besacier, G., Rey, G., Najm, M., Buisine, S., & Vernier, F. (2007). Paper metaphor for tabletop interaction design. In *HCI'07 Human Computer Interaction International. Lecture Notes in Computer Science* (pp. 758–767). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Block, F., Gutwin, C., Haller, M., Gellersen, H., & Billinghurst, M. (2008). Pen and paper techniques for physical customization of tabletop interfaces. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 19–26).
- Brickner, M. A., Harkins, S. G., & Ostrom, T. M. (1986). Effects of personal involvement: Thought-provoking implications for social loafing. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51, 763–769.
- Buisine, S., Besacier, G., Najm, M., Aoussat, A., & Vernier, F. (2007). Computer-supported creativity: Evaluation of a tabletop mind-map application. In *HCI'07 Human Computer Interaction International. Lecture Notes in Computer Science* (pp. 22–31). Springer.
- Buzan, T. (1991). *The mind map book*. Penguin Books.
- Cao, X., Wilson, A. D., Balakrishnan, R., Hinckley, K., & Hudson, S. E. (2008). ShapeTouch: Leveraging contact shape on interactive surfaces. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 139–146).
- Chow, A., & Law, N. (2005). Measuring motivation in collaborative inquiry-based learning contexts. In *International conference on computer support for collaborative learning* (pp. 68–75). ACM Press.
- Conversy, S., Gaspard-Boulinc, H., Chatty, S., Valès, S., Dupré, C., & Ollagnon, C. (2011). Supporting Air Traffic Control collaboration with a tabletop system. In *CSCW'11 international conference on computer-supported cooperative work* (pp. 425–434). ACM Press.
- Diehl, M., & Stroebe, W. (1987). Productivity loss in brainstorming groups: Toward the solution of a riddle. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53(3), 497–509.
- Dietz, P. H., & Leigh, D. (2001). DiamondTouch: A multi-user touch technology. In *UIST'01 international conference on user interface software and technology* (pp. 219–226). ACM Press.
- Dugosh, K. L., & Paulus, P. B. (2005). Cognitive and social comparison processes in brainstorming. *Journal of Experimental Social Psychology*, 41, 313–320.
- Dugosh, K. L., Paulus, P. B., Roland, E. J., & Yang, H. C. (2000). Cognitive stimulation in brainstorming. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(5), 722–735.
- Fleck, R., Rogers, Y., Yuill, N., Marshall, P., Carr, A., Rick, J., & Bonnett, V. (2009). Actions speak loudly with words: Unpacking collaboration around the table. In *ITS'09 international conference on interactive tabletops and surfaces* (pp. 189–196). ACM Press.
- Habermas, J. (1984). *Theory of communicative action*. Boston: Beacon Press.
- Harkins, S. G., & Jackson, J. M. (1985). The role of evaluation in eliminating social loafing. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 11(4), 457–465.
- Harkins, S. G., & Szymanski, K. (1988). Social loafing and self-evaluation with an objective standard. *Journal of Experimental Social Psychology*, 24, 354–365.
- Hartmann, B., Ringel Morris, M., Benko, H., & Wilson, A. D. (2010). Pictoria: Supporting collaborative design work by integrating physical and digital artifacts. In *CSCW'10 international conference on computer-supported cooperative work* (pp. 421–424). ACM Press.
- Hilliges, O., Baur, D., & Butz, A. (2007). Photohelix: Browsing, sorting and sharing digital photo collections. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 87–94).
- Hilliges, O., Terrenghi, L., Boring, S., Kim, D., Richter, H., & Butz, A. (2007). Designing for collaborative creative problem solving. In *C&C'07 international conference on creativity and cognition* (pp. 137–146). ACM Press.
- Hornecker, E. (2008). "I don't understand it either, but it is cool" – Visitor interactions with a multi-touche table in a museum. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 121–128).
- Isaksen, S. G., Dorval, K. B., & Treffinger, D. J. (2000). *Creative approaches to problem solving: A framework for change*. Kendall Hunt.
- Jiang, H., Wigdor, D., Forlines, C., & Shen, C. (2008). System design for the WeSpace: Linking personal devices to a table-centered multi-user, multi-surface environment. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 105–112).
- Jun, L., Pinelle, D., Gutwin, C., & Subramanian, S. (2008). Improving digital handoff in shared tabletop workspaces. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 11–18).
- Karau, S. J., & Hart, J. W. (1998). Group cohesiveness and social loafing: Effect of a social interaction manipulation on individual motivation within groups. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 2, 185–191.
- Karau, S. J., & Williams, K. D. (1993). Social loafing: A meta-analytic review and theoretical integration. *Journal of Personality and Social Psychology*, 65, 681–706.
- Kruger, R., Carpendale, S., Scott, S. D., & Greenberg, S. (2004). Roles of orientation in tabletop collaboration: Comprehension, coordination and communication. *Computer Supported Cooperative Work*, 13, 501–537.
- Mansor, E. I., De Angeli, A., & De Bruijn, O. (2008). Little fingers on the tabletop: A usability evaluation in the kindergarten. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 99–102).
- Marshall, P., Hornecker, E., Morris, R., Dalton, N. S., & Rogers, Y. (2008). When the fingers do the talking: A study of group participation with varying constraints to

- a tabletop interface. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 37–44).
- Mazalek, A., Reynolds, M., & Davenport, G. (2007). The TViews table in the home. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 52–59).
- McKinlay, A., Procter, R., & Dunnett, A. (1999). An investigation of social loafing and social compensation in computer-supported cooperative work. In *GROUP'99* (pp. 249–257). ACM Press.
- Michinov, N., & Primois, C. (2005). Improving productivity and creativity in online groups through social comparison process: New evidence for asynchronous electronic brainstorming. *Computers in Human Behavior*, 21, 11–28.
- Müller-Tomfelde, C., Wessels, A., & Schremmer, C. (2008). Tilted Tabletops: In between horizontal and vertical workspaces. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 53–60).
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Academic Press.
- Nijstad, B. A., Stroebe, W., & Lodewijkx, H. F. M. (2002). Cognitive stimulation and interference in groups: Exposure effects in an idea generation task. *Journal of Experimental Social Psychology*, 38, 535–544.
- Nijstad, B. A., Stroebe, W., & Lodewijkx, H. F. M. (2003). Production blocking and idea generation: Does blocking interfere with cognitive processes? *Journal of Experimental Social Psychology*, 39, 531–548.
- Osborn, A. F. (1953). *Applied imagination: Principles and procedures of creative problem-solving*. Charles Scribner's Sons.
- Parnes, S. J., & Meadow, A. (1959). Effects of "brainstorming" instructions on creative problem solving by trained and untrained subjects. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 171–176.
- Paulus, P. B., & Dzindolet, M. T. (1993). Social influence processes in group brainstorming. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64(4), 575–586.
- Pelletier, L., Vallerand, R., Green-Demers, I., Blais, M., & Brière, N. (1996). Vers une conceptualisation motivationnelle multidimensionnelle du loisir: Construction et validation de l'échelle de motivation vis-à-vis des loisirs (EML). *Loisir et Société*, 19, 559–585.
- Pinelle, D., Stach, T., & Gutwin, C. (2008). TableTrays: Temporary, reconfigurable work surfaces for tabletop groupware. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 45–52).
- Pinelle, D., Barjawi, M., Nacenta, M., & Mandryk, R. (2009). An evaluation of coordination techniques for protecting objects and territories in tabletop groupware. In *CHI'09 international conference on human factors in computing systems* (pp. 2129–2138).
- Rick, J., & Rogers, Y. (2008). From DigiQuilt to DigiTile: adapting educational technology to a multi-touch table. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 79–86).
- Rick, J., Harris, A., Marshall, P., Fleck, R., Yuill, N., & Rogers, Y. (2009). Children designing together on a multi-touch tabletop: An analysis of spatial orientation and user interactions. In *IDC'09 international conference on interaction design and children* (pp. 106–114).
- Ringel Morris, M., Cassanego, A., Paepcke, A., Winograd, T., Piper, A. M., & Huang, A. (2006). Mediating group dynamics through tabletop interface design. In *IEEE computer graphics and applications* (pp. 65–73).
- Ringel Morris, M., Paepcke, A., Winograd, T., & Stamberger, J. (2006). TeamTag: Exploring centralized versus replicated controls for co-located tabletop groupware. In *CHI'06 international conference on human factors in computing systems* (pp. 1273–1282). ACM Press.
- Rogers, Y., Lim, Y. K., Hazlewood, W. R., & Marshall, P. (2009). Equal opportunities: Do shareable interfaces promote more group participation than single user displays? *Human-Computer Interaction*, 24, 79–116.
- Rogers, Y., & Lindley, S. (2004). Collaborating around vertical and horizontal large interactive displays: Which way is best? *Interacting with Computers*, 16, 1133–1152.
- Rubin, H. I., & Hernandez, E. F. (1988). Motivations and behaviors of software professionals. In *International conference on management of information systems personnel* (pp. 62–71). ACM Press.
- Runco, M. A. (2004). Creativity. *Annual Review of Psychology*, 55, 657–687.
- Ryall, K., Ringel Morris, M., Everitt, K., Forlines, C., & Shen, C. (2006). Experiences with and observations of direct-touch tabletops. In *Tabletop 2006 international workshop on horizontal interactive human-computer systems* (pp. 89–96). IEEE Computer Society.
- Scott, S. D., & Carpendale, S. (Eds.). (2006). Interacting with digital tabletops. In *Special issue of IEEE computer graphics and applications* (Vol. 26).
- Scott, S. D., Carpendale, M. S. T., & Inkpen, K. M. (2004). Territoriality in collaborative tabletop workspaces. In *CSCW'04 international conference on computer-supported cooperative work* (pp. 294–303). ACM Press.
- Serva, M. A., & Fuller, M. A. (1997). Preventing social loafing in the collaborative technology classroom. In *SIGCPR'97* (pp. 84–86). ACM Press.
- Shaer, O., Kol, G., Strait, M., Fan, C., Grevet, C., & Elfenbein, S. (2010). G-nome surfer: A tabletop interface for collaborative exploration of genomic data. In *CHI'10 international conference on human factors in computing systems* (pp. 1427–1436). ACM Press.
- Shen, C., Vernier, F., Forlines, C., & Ringel, M. (2004). DiamondSpin: An extensible toolkit for around-the-table interaction. In *CHI'04 international conference on human factors in computing systems* (pp. 167–174). ACM Press.
- Shen, C., Ryall, K., Forlines, C., Esenthaler, A., Vernier, F., Everitt, K., Wu, M., Wigdor, D., Ringel Morris, M., Hancock, M., & Tse, E. (2006). Informing the design of direct-touch tabletops. In *IEEE computer graphics and applications* (pp. 56–66).
- Shepperd, J. A. (1993). Productivity loss in performance groups: A motivation analysis. *Psychological Bulletin*, 113, 67–81.
- Smith, J. D., & Graham, T. C. N. (2010). Raptor: Sketching games with a tabletop computer. In *Future play 2010* (pp. 191–198). ACM Press.
- Sternberg, R. J. (1998). *Handbook of creativity*. Cambridge University Press.
- Streitz, N. A., Geißler, J., Holmer, T., & Konomi, S. (1999). I-LAND, an interactive landscape for creativity and innovation. In *CHI'99 international conference on human factors in computing systems* (pp. 120–127). ACM Press.
- Tang, A., Pahud, M., Carpendale, S., & Buxton, B. (2010). VisTACO: visualizing tabletop collaboration. In *ITS'10, international conference on interactive tabletops and surfaces* (pp. 29–38). ACM Press.
- Torrance, E. P. (1966). *The torrance tests of creative thinking*. Princeton: Personnel Press.
- VanGundy, A. B. (2005). *101 activities for teaching creativity and problem solving*. San Francisco: John Wiley & Sons, Inc.
- Warr, A., & O'Neill, E. (2006). Public social private design (PSPD). In *CHI'06 international conference on human factors in computing systems* (pp. 1499–1504). ACM Press.
- Wigdor, D., Penn, G., Ryall, K., Esenthaler, A., & Shen, C. (2007). Living with a tabletop: Analysis and observations of long term office use of a multi-touch table. In *IEEE international workshop on horizontal interactive human-computer system* (pp. 60–67).
- Wigdor, D., Jiang, H., Forlines, C., Borkin, M., & Shen, C. (2009). WeSpace: The design, development, and deployment of a walk-up and share multi-surface collaboration system. In *CHI'09 international conference on human factors in computing systems* (pp. 1237–1246). ACM Press.
- Woolley, A. N., Chabris, C. F., Pentland, A., Hashmi, N., & Malone, T. W. (2010). Evidence for a collective intelligence factor in the performance of human groups. *Science*, 330, 686–688.
- Zaharias, P. (2006). A usability evaluation method for e-learning: Focus on motivation to learn. In *CHI'06 international conference on human factors in computing systems* (pp. 1571–1576). ACM Press.



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Computers in Human Behavior

journal homepage: www.elsevier.com/locate/comphumbeh

Dynamic tabletop interfaces for increasing creativity

Lara Schmitt ^a, Stéphanie Buisine ^{a,*}, Jonathan Chaboissier ^b, Améziane Aoussat ^a, Frédéric Vernier ^b^a Arts et Métiers ParisTech, LCPI, 151 bd Hopital, 75013 Paris, France^b LIMSI-CNRS, BP 133, 91403 Orsay Cedex, France**ARTICLE INFO****Article history:**

Available online 31 May 2012

Keywords:

Interactive tabletop
Creativity
Brainstorming
Time pressure
Social comparison

ABSTRACT

We designed a tabletop brainwriting interface to examine the effects of time pressure and social pressure on the creative performance. After positioning this study with regard to creativity research and human activity in dynamic environments, we present our interface and experiment. Thirty-two participants collaborated (by groups of four) on the tabletop brainwriting task under four conditions of time pressure and two conditions of social pressure. The results show that time pressure increased the quantity of ideas produced and, to some extent, increased the originality of ideas. However, it also deteriorated user experience. Besides, social pressure increased quantity of ideas as well as motivation, but decreased collaboration. We discuss the implications for creativity research and Human–Computer Interaction. Anyhow, our results suggest that the Press factor, operationalized by Time- or Social-pressure, should be considered as a powerful lever to enhance the effectiveness of creative problem solving methods.

© 2012 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Goal of the research

The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) considers innovation as essential to economic growth and to competitiveness, particularly in western countries. Innovation can be defined as an invention, or a new product, that meets a commercial success (Perrin, 2001). To manage this combination of invention and adequacy to the market, the top five methods used in industrial companies include creativity techniques (invention) as well as market analysis, cost analysis and methods for comparing solutions (Geis, Bierhals, Schuster, Badke-Schaub, & Birkhofer, 2008). Hence the development of effective creativity techniques appears crucial for industrial innovation.

The general aim of our research is to improve such creativity techniques. For this purpose, we will present in this article three contributions. The first one is a conceptual contribution, focused on improving creativity through the Press factor. This is an original and challenging approach, which has been poorly investigated in the creativity literature. Hence we also refer to the domain of human performance in dynamic environments to better understand the effects of pressure. The second contribution is an operational one, taking the aforementioned conceptual elaboration as a basis for the design of a computer mediated tabletop interface for group creativity. This interface includes graphical artifacts implementing two kinds of pressures: time pressure and social

pressure. This kind of contribution is also original in the creativity literature, which usually focuses on methods rather than on interactive tools to support groupwork. Finally, the third contribution is an experimental one, allowing us to quantify the effects of our implementation of pressure on three kinds of variables: in this respect we provide new knowledge about the potential impact of pressure on (1) performance to the creative task, (2) collaboration behavior, and (3) subjective experience of participants.

2. Overview on creativity

Creativity is the ability to produce work that is both novel and appropriate (Sternberg, 1998). As initially proposed by Rhodes (1961), creativity can be seen as a construct of four "Ps": Person, Process, Product, and Press. The Person component refers to the individual characteristics and personality traits correlating to creativity. Research on this component (see e.g. Bolin & Neuman, 2006; Feist, 1998) has shown that creativity can be influenced by certain personality traits such as psychotism, social anxiety, openness, impulsivity, individualism, extroversion. The Process relates to the cognitive mechanisms of creativity. In this respect, the role of associative processes in divergent thinking and problem solving has been repeatedly emphasized (Nijstad & Stroebe, 2006; Runco, 2004), as well as the mechanisms related to group creativity, such as cognitive stimulation and social comparison (Dugosh & Paulus, 2005). The Product refers to the creativity outcomes and their evaluation criteria, with the assumption that studies of products like publications, paintings, poems, or designs are highly objective.

* Corresponding author.

E-mail addresses: lara1168@hotmail.fr (L. Schmitt), stephanie.buisine@ensam.eu (S. Buisine), jonathan.chaboissier@limsi.fr (J. Chaboissier), ameziane.aoussat@ensam.eu (A. Aoussat), [frédéric.vernier@limsi.fr](mailto:frederic.vernier@limsi.fr) (F. Vernier).

Finally, Press corresponds to the contextual and environmental factors interacting with creativity. A broad overlook at the creativity literature suggests that this component was much less studied than the 3 other P-factors (see literature reviews from [Runco, 2004](#); [Zeng, Proctor, & Salvendy, 2010](#)). According to [Runco \(2004\)](#), the concept of "Press" can be attributed to [Murray \(1938\)](#) and describes pressures on the creative process or on creative persons. Two types of pressures can be distinguished: alpha pressures which are the objective aspects of press, and beta pressures which correspond to people's subjective interpretations of contextual pressures. For example, competition, which is an objective contextual factor, may stimulate or inhibit creativity depending on individual's interpretation.

[Amabile \(1983\)](#) defends the general view that extrinsic constraints or pressures, by impairing intrinsic motivation, have a detrimental effect on creative performance. More specifically, [Runco \(2004\)](#) emphasizes that time pressure should be avoided when a creative outcome is expected: time is important for incubation, and for creative work. He cites the example of outstanding creative achievements like Darwin's theory of evolution which required sustained efforts and time to elaborate. Likewise, [McFadzean \(1998\)](#) reports that the development of post-it notes by 3M was possible only because the company allowed their inventor Arthur Fry to spend time working on the concept. However, [Amabile herself \(1983\)](#) observed inconsistent effects of extrinsic pressures on the outcomes of creative tasks. She hypothesized that extrinsic pressures have a negative impact on heuristic creative tasks (when it is not specified what should be done to produce a creative response) whereas they can have a positive impact on algorithmic creative tasks (when people know explicitly how to produce a creative response). The abovementioned examples of Darwin's theory of evolution or 3M's post-it notes, as well as employees' daily activity at work, all refer to heuristic tasks in which people are not told what to do to be creative. In contrast, we are interested in the present study to examine the effects of the Press factor on a brainstorming task, whose method attempts to render creativity more algorithmic.

Brainstorming in Osborn's seminal framework ([1953](#)) is a clearly-defined and structured task, with explicit rules, applied in a limited timeframe, within the scope of a designated paradigm. This active creative method was developed in order to help people overcome cognitive fixations. Indeed, the limited capacity of short-term memory and the automatic spreading activation mechanisms explain why people are often limited to a narrow, familiar, and bounded subset of the problem space. Cognitive fixations result in ignoring about 80% of potential solution space and being unaware of doing so (see review by [Zeng et al. \(2010\)](#)). Venturing beyond the highly familiar categories requires efforts and Osborn's brainstorming method was developed to support such process. It is a group method relying on two basic principles: deferment of judgment and quantity leads to quality. Deferment of judgment emphasizes the need for separating ideation and evaluation. Because original ideas may appear unusual or slightly bizarre, they might easily fall victim to self-censure and censure from others ([Stroebe, Nijstad, & Rietzschel, 2010](#)). Furthermore, emphasizing quantity of ideas as the desired outcome further reduces group members' tendency to be critical of the ideas produced. It was actually shown in experimental studies that quantity of ideas correlates to the number of high-quality ideas (e.g. $r = 0.69$ in [Parnes and Meadow \(1959\)](#); $r = 0.82$ in [Diehl and Stroebe \(1987\)](#)).

Brainstorming is also meant to be a playful activity, which is likely to increase its effectiveness to free the group's creative potential ([VanGundy, 1997](#)). According to [McFadzean \(1998\)](#), research at the University of Michigan showed that laughter causes the release of endorphins, which in turn provide a burst of energy and an impetus to creativity. It can also help group members take

things less seriously thus reducing self-censorship. In this respect, the Press-factor could also be seen as a potential lever to playfulness since challenges, rewards, or time pressure are classical workings of game design.

To summarize, we have seen in this section that although pressures are considered detrimental to heuristic creative tasks, it cannot be excluded that they could improve other tasks such as brainstorming. Indeed, because brainstorming in Osborn's framework tends to make creativity more algorithmic, it could respond positively to pressure. To further reason on the potential impact of pressure on creativity, we examined the literature related to the effects of pressures on different kinds of cognitive and collaborative activities. This research field, focusing on human activity in so-called "dynamic environments", proved fruitful to structure our study of creativity, as we will show in the next section.

3. Human activity in dynamic environments

[Osman \(2010\)](#) opens her literature review of human activity in dynamic environment by providing six examples of activities that seem eclectic at first sight: ecosystem control, automated pilot management, incineration plant monitoring, investment game, sugar factory plant control, and water purification system. However, these tasks all involve complex sequential decision making and occur in what she calls "complex dynamic environments". These are uncertain environments, changing either as a consequence of human actions, autonomously, or both ([Osman, 2010](#)). For this reason, complex dynamic environments bear the risk for the human operator of losing control. Task complexity is related to the characteristics and the number of elements and relations it is necessary to account for ([Hoc, Amalberti, & Plee, 2000](#)). [Osman's \(2010\)](#) unifying approach of economics, engineering, ergonomics, Human-Computer Interaction, management, and psychology, results in identifying four main sources of uncertainty in complex dynamic environments (see also [Funke, 2001](#)): (1) time pressure, (2) feedbacks, outcomes and reactions of the system to the operators' actions (positive, negative feedback, unpredictable, unreliable, invalid or invisible one...), (3) involvement of multiple actors and stakeholders, and (4) ill-structured problems with shifting, ill-defined, or competing goals.

Research on time pressure has identified many ways in which cognitive processes change with time pressure. In this respect, a number of contradictory findings were reported (see [Maule, Robert, Hockey, & Bdzola, 2000](#)): time pressure has sometimes been shown to increase the quality of decision-making, and sometimes to reduce it, to induce less extreme judgments, to reduce the propensity to take risks, etc. For example, [Kerstholt \(1994\)](#) simulated a diagnosis task involving a virtual athlete running a race: subjects had to monitor the athlete's fitness level over time and react accordingly. Declines in fitness level could be caused either by dehydration, cardiac overload, overheating or a false alarm. The subjects had to diagnose the problem by consulting the athlete's physiological parameters and administer the adequate treatments (give water, rest or cool). In this study, the complex dynamic environment was characterized by: the autonomous evolution of the athlete's fitness level, time pressure (operationalized as speed of system decline), the diagnosis task which is ill-structured by nature, and the system feedback to the subject actions. The results show a general speedup of information processing as time pressure increases, up to a maximum where the strategy fails and leads to system collapse (inverted U-shaped relation between time pressure and performance).

Finance is another field in which decisions have often to be made under time pressure. [Kocher and Sutter \(2006\)](#) examined the influence of time pressure and time-dependent incentive

schemes on decision making. The experimental task was a beauty-contest game designed with the same principles as financial tasks. The results are somewhat contradictory with those from Kerstholt (1994) since decision making was better under low time pressure, but time-dependent payoffs under high time pressure led to significantly quicker decision-making without reducing the quality of decisions (U-shaped relation).

Rogalski (1996) examines how humans collaborate under pressure, and more particularly how crew members in an aircraft cooperate in an incidental situation. To increase workload (and pressure), she used full-size simulation of an engine fire during takeoff and observed how experienced pilots cooperate on the main task (piloting) and on the incident (fire). Here, the complex dynamic environment involves the management of autonomous variables (external parameters for the piloting task, fire spreading), system feedbacks for both tasks, time pressure particularly emphasized by fire spreading, coordination of the crew, and competing goals (between the main task and the incident). The results show that explicit verbal cooperation (e.g. information sharing between crew members, situation awareness) decreased with pressure although distributed cooperation through action was maintained. Under pressure the pilots focused on the specific tasks they are assigned to in the distributed cooperation pattern, while explicit (verbal) cooperation was impaired. Rogalski explains that task complexity may interfere with explicit cooperation requirements: cooperation becomes a secondary task with respect to individual allocated task performance.

After this brief literature review, the relation between human performance and pressure remains unclear, between U-shaped and inverted U-shaped relation. If pressure could stimulate individual performance, or speed up individual cognitive processing, it could also impair collaboration and induce attentional filtering (Kelly & Loving, 2004). In other words, all hypotheses are left open regarding the effects of pressure in the creativity application framework. Nevertheless, this state of the art and particularly Osman's (2010) approach helped us operationalize the concept of dynamic environment (and pressure) into creativity research, as will be developed in the following section.

4. A tabletop interface for brainwriting

We have designed a tabletop platform for creativity, and first explain why it appears as a relevant medium for creative problem solving tasks.

Brainstorming in Osborn's framework is a collective idea generation technique which enables the group to benefit from many collective phenomena, but also suffers from several failings. Examples of positive effects associated to brainstorming include cognitive stimulation (the exposure to other participants' ideas enhances idea generation in individuals, see Dugosh & Paulus, 2005; Dugosh, Paulus, Roland, & Yang, 2000; Nijstad, Stroebe, & Lodewijkx, 2002) and social comparison (the possibility to compare one's own performance to the others' is a source of motivation, see Bartis, Szymanski, & Harkins, 1988; Dugosh & Paulus, 2005; Harkins & Jackson, 1985; Michinov & Primois, 2005; Paulus & Dzindolet, 1993).

However, a major shortcoming of classical "oral" brainstorming is the necessity of managing speech turns: each participant has to wait for his turn to give an idea, and only one idea can be given within a turn. This constraint severely interferes with idea generation process (Nijstad, Stroebe, & Lodewijkx, 2003) and results in "production blocking" (Diehl & Stroebe, 1987; Michinov & Primois, 2005). One simple way of counteracting production blocking is to use the written instead of the oral channel to record the ideas, which can be referred to as brainwriting (Heslin, 2009; Isaksen,

Dorval, & Treffinger, 2000; Paulus & Yang, 2000; VanGundy, 2005). In this method, participants silently share written ideas, for example on sticky notes.

Another key issue in brainstorming is social loafing (Harkins & Szymanski, 1988; Karau & Hart, 1998; Karau & Williams, 1993; Serva & Fuller, 1997): it was observed that in brainstorming groups, some participants tend to under-contribute with comparison to a situation where they would brainstorm alone. Hence the social nature of brainstorming can also impair the creative performance.

To overcome the aforementioned limitations of group brainstorming while maintaining its strengths, we have designed a creativity-supporting tabletop device (Fig. 1). Tabletop systems are multi-user horizontal interfaces for interactive shared displays. They implement around-the-table interaction metaphors allowing co-located collaboration and face-to-face conversation in a social setting (Shen et al., 2006). Because they emphasize both situation awareness (shared display) and group awareness (around-the-table configuration), they are expected to support both cognitive stimulation and social comparison processes. Moreover, to avoid production blocking, we developed an interface allowing idea collection in the form of virtual post-it notes (i.e. brainwriting). Finally, we have observed that our device was likely to decrease social loafing in at least two ways. In a previous series of experiments (Buisine, Besacier, Aoussat, & Vernier, 2012), we have compared the performance of 20 groups of four participants on creative problem solving tasks in four different media conditions: pen and paper tools on a flipchart, pen and paper tools around a table, and two versions of a digital tabletop interface with more or less advanced interaction styles (implementing two degrees of attractiveness). Firstly, the "around-the-table" form factor proved to increase equity of collaboration (balance in number of contributions from group members). Equity corresponds to the inverse of social loafing and correlates to the Collective Intelligence of a group, a factor that explains the group's performance on a wide variety of tasks (Woolley, Chabris, Pentland, Hashmi, & Malone, 2010). Furthermore, our results showed that the attractiveness of the tabletop device increased extrinsic motivation to engage in the task, which is also a moderating factor of social loafing (Brickner, Harkins, & Ostrom, 1986; Shepperd, 1993).

For the present study the tabletop brainwriting tool was implemented using the DiamondSpin toolkit (Shen, Vernier, Forlines, & Ringel, 2004). Each participant creates his digital post-it notes using a push-up menu located on the edge of the table closest to him. Newly created notes can be edited (using handwriting, drawing, or typing in on a virtual keyboard), can be moved, or deleted. To illustrate an idea on a note, the system also provides the 20 first results of a Google Images search when a text is typed. An image

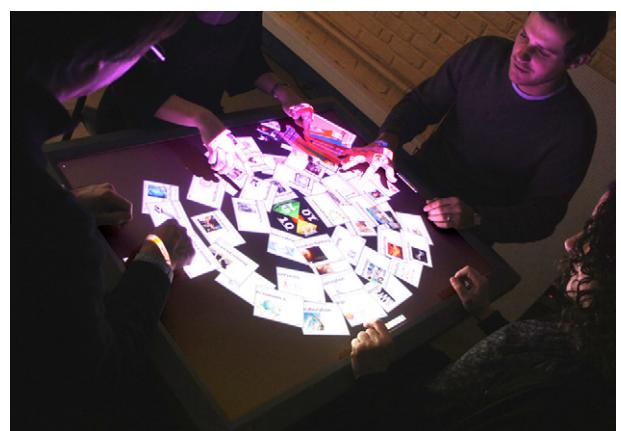


Fig. 1. Our tabletop brainwriting system.

can be chosen from a pie menu (Shen, Hancock, Forlines, & Vernier, 2005) to further appear in the note. When a note is completed, the user miniaturizes it: it consists in pressing a button to instantly shrink a note down to minimal size. It also represents a validation operation, since the note is no longer editable when shrunk down (this enables users to manipulate notes without writing on them). The default spatial orientation of notes is different according to their state: during idea generation, virtual notes cannot be moved out of each participant's personal area and their default orientation is centered on their author (i.e. on a virtual point located outside of the table); once a note is validated, it is automatically attracted in the collective space in the center area of the table. Notes are animated to help participants notice them and improve idea sharing. This animated movement brings the validated post-it note just beyond the center of the table, in the opposite quarter of the table. The animation is designed so as to bypass the geometric center of the table where the orientation suddenly flips 180°. The note path follows an arc of circle around the center as an invitation for other users to read it before it is piled on the opposite side. To make more notes visible we spread them randomly at two pre-defined distances of the center. An example of automatic arrangement of notes is visible on Fig. 1. However, notes in the collective space remain manually movable on the whole display area.

In the following section we describe how we implemented the Press factor into this tabletop brainwriting system.

5. Implementation of the Press factor

A first challenge of the present study was to operationalize the Press factor on our tabletop brainwriting system. To design the experiment we likened the Press factor to a complex dynamic environment,

and relied on Osman's (2010) typology of dynamic variables to transfer this concept into a brainwriting task. We subsequently imagined more than a hundred ways of introducing dynamic variables into brainwriting (see Table 1).

As will be developed and described below, we chose to examine the effects of two factors: (1) time pressure in idea generation and (2) social pressure emphasized by the display of each participant's performance score.

5.1. Time pressure

As seen in Section 2 (state-of-the-art on creativity research) and Section 3 (state-of-the-art on human performance in dynamic environments), the effects of time pressure on human cognition, and more specifically on creativity are unclear and we wish to contribute to this complex issue by examining its impact on a brainwriting task. For implementing time pressure we had several choices, for example (see Table 1): limiting the time for a whole session; limiting the time for generating each idea; setting participants a number of ideas to produce; designing flashing post-it notes (with flash rate gradually accelerating); playing music gradually accelerating throughout the task, etc. The two latter (flashing notes and music) are subjective rather than objective pressures because although flash rate or music accelerates, it does not necessarily imply that participants have more little time to be creative. Besides, the concept of forcing the participants to produce a certain number of ideas is only an indirect way of introducing time pressure and a more direct time pressure seems more appropriate to a controlled experiment. Finally, we considered that limiting the time for each idea constituted a more continuous time pressure than limiting the duration of the session. In the latter case, participants may feel the pressure only at the end of the session and this was likely to decrease the potential impact of the pressure.

This is why we decided to set a timeout for each post-it note. We designed a system to validate the post-it notes automatically after a given delay. Once the delay is expired, the note cannot be edited anymore, and is automatically dispatched in the collective space for sharing ideas. A new empty note is then automatically created in the participant's personal space. If the validated note is still empty, it is deleted. Users can also validate their notes before the end of the delay.

During edition, time pressure is visible through two visual feedbacks (Fig. 2). The top right corner of the note displays a rotating clock. The corner becomes transparent as time elapses, with a movement referring to the hand of a clock. However, pilot tests revealed that this signal was not prominent enough, hence we added a vertical gauge on each side of the note. The color¹ of these feedbacks simultaneously turns green to red to enforce user perception of time pressure.

5.2. Social pressure

The second kind of pressure we decided to address is social pressure. The benefits of social comparison are well-known. They can be observed for example when individual outputs are identifiable (with comparison to a situation where outputs are pooled, see Harkins & Jackson, 1985), when participants believe that their output will be evaluated (Bartis et al., 1988), when they are given a performance standard for their task (Paulus & Dzindolet, 1993; Shepherd, Briggs, Reinig, & Yen, 1995), when they are exposed to the ideas of other participants (with comparison to a situation where they think the ideas come from a computer, see Dugosh &

Table 1
Examples of dynamic variables that could be introduced into a brainwriting activity (extract). The [*] indicate the factors implemented in the present study.

Osman's categories of dynamic variables	Possible adaptations to brainwriting
A. Time pressure	<ul style="list-style-type: none"> • Limited time for editing an idea [*] • Limited time for a session (display an hourglass) • Number and frequency of notes controlled by the system • Flashing notes (with flash rate gradually accelerating) • Play a music that gradually accelerates • ...
B. System feedbacks	<ul style="list-style-type: none"> • Automatic classification of ideas • Automatically display images in the table background • Random movements of blank and filled in notes • Reward certain ideas • Encouragements/comments from the system • ...
C. Involvement of multiple actors	<ul style="list-style-type: none"> • Display performance scores [*] • Compete with the system • Competing subgroups • Obligation to develop the others' ideas • Inform the participants of the last ideas edited (with e.g. scrolltext) • ...
D. Shifting goals	<ul style="list-style-type: none"> • Trivial pursuit: switch between goals according to your position on a track • Free association from images (goal unknown) • The participants have different goals • Ideas are noted on their relevancy to the goal: you must generate ideas to guess the goal • Morphological matrix (forced combinations between unrelated concepts) • ...

¹ For interpretation of color in Figs. 1–3, the reader is referred to the web version of this article.

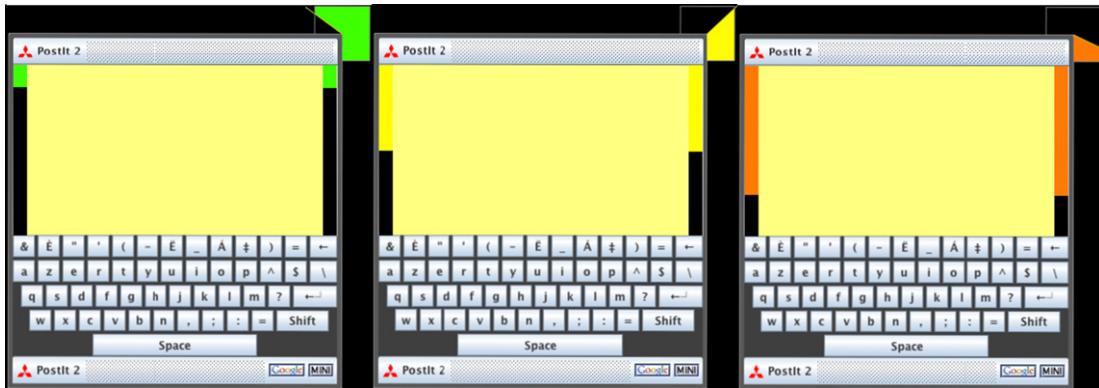


Fig. 2. Different states of time pressure feedbacks.

Paulus, 2005), or when they are periodically informed of each one's performance level (Michinov & Primois, 2005; Paulus, Nakui, Putman, & Brown, 2006). In all these experiments, social comparison was created by means of direct and explicit information (a group performance standard, individual performance levels) in the absence of implicit contextual information (group awareness, situation awareness, or performance perception). Indeed in these experiments, the participants' challengers were always physically absent (Dugosh & Paulus, 2005; Michinov & Primois, 2005; Paulus & Dzindolet, 1993; Shepherd et al., 1995) or they were present but worked on separate computers and had no clue to the others' performance level (Paulus et al., 2006). In other words, these experiments simulated social comparison in order to better control it. In contrast, we wish to test the effects of a specific pressure *in addition to* the contextual and environmental information (group and situation awareness) already available to a group working in presence (co-located participants around a table who share their post-it notes). Can social comparison be further emphasized in this case? Does the performance continue to increase or does it reach a maximum (inverted U-shaped relation)?

To answer these questions, we decided to provide real-time explicit feedback on individual performance and display it on the table background the group is working on. Similar feedback signals intended for visualizing individual performance in group situations can be found in the literature (DiMicco, Pandolfo, & Bender, 2004; Rashid et al., 2006; Ringel Morris et al., 2006) but they were not used in the context of creative tasks. A notable exception is the study from Kim, Chang, Holland, and Sandy Pentland (2008), in which group members of a brainstorming task were provided with sociometric badges and mobile phones facing them on a table. The sociometric badges recorded their participation level to the task (e.g. speaking time, speaking energy...) and the mobile phone displayed a visualization of the balance and interactivity level between group members. This device proved to influence group interactivity towards a more equitable collaboration pattern, but had no effect on the number of ideas generated. Actually the fact that the feedback accounted for verbal participation but not for the number of ideas may explain the lack of effect on the latter. Hence in the present study we will test whether a feedback regarding directly the *number of ideas* generated by each member will influence the creative performance of groups working on a digital tabletop device, a system that already favors group awareness and situation awareness by nature. It should be noted that such real-time feedback is possible only because we use a fully-digital environment and could hardly be tested with pen and paper tools.

Social pressure was set by counting the number of valid (non empty) notes for each user and display a real-time performance feedback. Usually this kind of feedback is displayed through histograms, either on a wall display (DiMicco et al., 2004) or on a table-



Fig. 3. Performance feedback used to create social pressure. In addition to the number of notes generated, the rank of each participant is graphically represented by the size and color of his portion.

top interface (Ringel Morris et al., 2006): in the latter case, the histogram was duplicated in front of each participant highlighting his own score. In order to strengthen the comparison between participants, we designed a unique feedback to be placed in the center of the table, ensuring intuitive visualization of performance as well as facilitating the attribution of the scores to the participants. This feedback is a circular histogram, looking like a pie chart divided into four portions, one in front of each user, displaying his particular score (Fig. 3). Each portion prints the number of valid post-it notes and highlights the rank of the user. The rank is represented by the size of the portion (bigger is better) and the color (greener is better). The original design of the circular histogram was guided by the goal of having a single artifact, located at equal distance of all users. This design implies to have a very noticeable view of the scores at all time by all the participants. We relied on the redundancy of three graphical features (large numeric labels, ordered colors and size of the histogram portions). A more subtle design could be achieved (for screen real estate saving for instance) but the need for measurable effects in the experiment played in favor of a strong representation.

6. Experiment

6.1. Participants

Eight groups of four subjects (32 users in total) participated in the experiment. This sample included 22 students, six teachers and four staff members from two research institutes, 19 men and 13 women, aged 27.7 years on average ($SD = 6.7$).

6.2. Material

We used a 107-cm Circle Twelve DiamondTouch device (Dietz & Leigh, 2001) with a 1400×1050 projected display. Participants were seated around the table and interacted with finger-input on the display. A video camera placed above the table recorded the sessions.

6.3. Procedure

The session began with a presentation of the tabletop brainwriting method and a familiarization with the interactive device. The interface's functionalities as well as the experimental conditions (time pressure, social pressure) were explained and demonstrated to the participants. The goal of the session was then presented: participants had to imagine the "Swiss Army knife" (a multi-function multi-tool pocket knife) of the future. Before starting the idea generation, Osborn's rules (1953) were delivered: Focus on quantity, Withhold criticism, Welcome unusual ideas, Combine and improve ideas. A key principle in Osborn's brainstorming method is to unleash creativity by deferring judgment (divergent thinking). The three first rules all refer to this principle of separating idea generation and evaluation. Another principle of brainstorming is to favor associative creativity from others' ideas (cognitive stimulation). The fourth rule then encourages participants to appropriate others' ideas and transform them. These rules need to be formalized and periodically reminded to the brainstorming participants because such attitudes are not spontaneous. However, it was repeatedly shown that brainstorming with Osborn's rules is more efficient than brainstorming without the rules (Parnes & Meadow, 1959; Paulus et al., 2006; Turner & Rains, 1965; Weisskopf-Joelson & Eliseo, 1961).

Time pressure, which was a within-subject variable, included four conditions: P0 (no time limit to edit a post-it note), P1 (edition time limited to 60 s), P2 (30 s) and P3 (15 s). These values were chosen after a pretest session which had determined an average spontaneous edition time of 15.3 s ($SD = 4.8$) – a value which does not include the time for searching ideas. The 20-min brainwriting session was divided into four 5-min stages of these different time pressure levels. The order of conditions was counterbalanced across the sample: two groups experienced increasing time pressure all along the session (P0–P1–P2–P3), two groups experienced decreasing time pressure (P3–P2–P1–P0), and four groups experienced uneven succession of conditions (P1–P0–P3–P2 and P2–P3–P0–P1). Between two stages the participants were offered a few minutes to read and discuss the ideas on the table. Such breaks appeared necessary to better share ideas, particularly in high levels of time pressure in which the participants could not take the time to read all ideas on the fly. Moreover, breaks in a brainstorming have a number of benefits (Paulus et al., 2006): they allow for incubation-like processes, they stop the decline in number of ideas generated over time and contribute to re-motivate the participants for the following stage. After the break the table was cleared and the participants had to start again generating ideas on the same topic, but in a new condition.

Social pressure was a between-subject variable: the performance feedback was displayed on the table background for half of the groups. For the other half the table background was empty. The performance scores were reset at the beginning of each 5-min stage in order to give participants more opportunities to "win" a stage.

At the end of the experiment, users had to fill in a questionnaire (see Appendix A) to assess several subjective variables with Likert-type items (ordinal response format contrasting two semantic ends along a continuum). The whole experiment lasted about 1 h for each group.

6.4. Data collection and analysis

6.4.1. Performance criteria

As it was shown that quantity of ideas correlates to the number of high-quality ideas (e.g. linear correlation coefficient $r = 0.69$ in Parnes and Meadow (1959); $r = 0.82$ in Diehl and Stroebe (1987)), we considered the quantity of ideas as a first performance measure. To collect it in an unbiased way we had to clean the idea corpus from incomprehensible notes and from duplicates in each user's production. To complement this metric, we also assessed the originality by collecting the number of unique ideas (in Torrance's (1966) sense): uniqueness is decided with regard to normative data (typically: a database of the most frequent answers to the same problem). For this purpose we created our own database of answers to our "Swiss Army knife" problem by aggregating all groups' ideas. In this corpus we identified the ideas appearing only once and considered them as unique ideas. Note should be taken that uniqueness or originality are different from relevance and some unique ideas may well appear as irrelevant. Relevance could be assessed with regard either to users' needs or to a market strategy. We did not have sufficient information to assess relevance of each idea and were not in contact with any Swiss Knife manufacturer. Therefore in this study we focused only on originality as an evaluation criterion for ideas, considering also that it is the most widely acknowledged requisite for creativity (Runco, 2004).

6.4.2. Collaborative behaviors

We annotated the collaborative behaviors from the video-recordings of the sessions in order to quantify each participant's contributions and calculate an inequity index. Equity in collaboration refers to "democracy", as a set of ways to ensure the information communicated by the various participants is done so with minimal distortion, as opposed to a repressive communicational framework (Habermas, 1984). Equity in conversational turns is also correlated to the Collective Intelligence of the group (Woolley et al., 2010). Hence we assessed collaboration through the following inequity index I, where N = size of the group, $1/N$ = the expected proportion of collaborative behaviors if each participant contributes equally, and O_i = the observed number of collaborative behaviors for each individual.

$$I = \left| \frac{1}{N} - \frac{O_i}{\sum_{i=1}^N O_i} \right| \times 100$$

Similar quantification of participants' contributions can be automated by logging interface actions made by individuals (Ringel Morris et al., 2006; Wigdor, Jiang, Forlines, Borkin, & Shen, 2009) but we applied our inequity index to a more complete set of behavioral variables. Indeed we consider that task completion cannot be reduced to interface actions, and we wished particularly to account for spoken contributions. Hence we collected conversational turns (e.g. reading an idea, asking a question, answering, etc.) and communicative gestures (e.g. pointing to an item, moving a note, requesting speech turn by a gesture). Gesture input for note edition was not collected since it was not considered as communicative or collaborative gestures. The whole video corpus (160 min) was annotated by a single coder but in order to assess the reliability of annotation a second coder independently annotated a 20-min extract (i.e. 12.5% of the corpus). Inter-judge agreement (Cronbach's alpha) amounted to 0.876 on this extract, which means that the two coders obtained very close results with regard to the number of conversational turns and communicative gestures per participant, and that the annotation can be considered as reliable (Cronbach's alpha above 0.7).

6.4.3. Subjective data

In the questionnaire (see Appendix A), the participants had to compare the four successive conditions they had seen on 25

criteria: for each criterion, the participant had four scales to complete, one for each time pressure condition. The evaluation criteria were distributed in three sections. The first section was dedicated to usability criteria (easiness, fun, agreeableness, satisfaction, self-assessed level of collaboration with the other participants, self-assessed quantity and quality of ideas generated). The second section was a customized motivation questionnaire inspired by existing scales (Chow & Law, 2005; Pelletier, Vallerand, Green-Demers, Blais, & Brière, 1996; Rubin & Hernandez, 1988; Zaharias, 2006). The following items were used: "I was motivated to do well, the results are important to me, I tried to do my best, I would like to know my performance, I would like to know the others' performance." A global motivation score for each condition is obtained by averaging the answers to these five items. Finally the third section of the questionnaire was a self-evaluation of the affects and emotions experienced during the four conditions. This part was adapted from Maule et al.'s (2000) evaluation scale of the impact of time pressure: 12 items were used to assess three dimensions, namely happiness, anxiety, and energy. In addition to these 24 questions, users were also particularly prompted to make qualitative comments at their leisure.

6.5. Results

The dataset was analyzed by means of ANOVAs with Time-pressure as within-subject factor (P0, P1, P2, P3) and Social-pressure (performance feedback, no feedback) as between-subject factor. Fisher's LSD was used for post-hoc tests; all the analyses were performed with SPSS v18.

6.5.1. Performance criteria

The corpus of ideas generated by all groups initially contained 1483 ideas. After incomprehensible notes or duplicates (within a user's production) were removed, the corpus comprised 1450 ideas. This represents a global rate of 11.3 ideas per participant for a 5-min session ($SD = 5.2$), and we checked that there was no ordering effect in the number of ideas produced in the four successive sessions ($F(3/90) = 0.145$; NS). However, we observed a main effect of Time-pressure on the number of ideas ($F(3/90) = 29.45$; $p < 0.001$; see Fig. 4): in P0 condition participants generated significantly less ideas ($m = 8.38$ ideas) than in the other conditions ($p < 0.019$). In P1 condition they tended to generate less ideas ($m = 10.1$) than in P2 ($m = 11.41$; $p = 0.068$). And P3 condition yielded significantly more ideas ($m = 15.44$) than all other conditions ($p < 0.001$).

A main effect of Social-pressure also appeared ($F(1/30) = 6.55$; $p = 0.016$; see Fig. 5), showing that significantly more ideas were generated in the presence of the performance feedback ($m = 12.83$) than in the absence of feedback ($m = 9.83$).

Out of 1450 ideas in the whole corpus, only 110 met the uniqueness criterion, which represents 7.6% of the corpus. Examples of

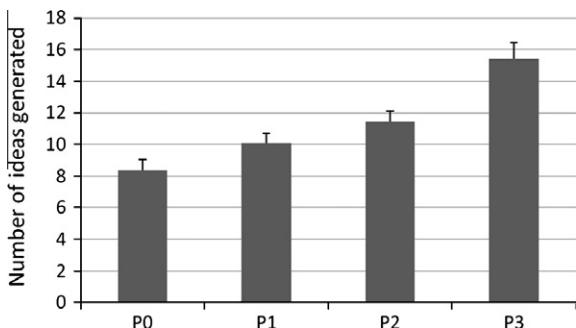


Fig. 4. Effect of Time-pressure (P0–P3) on the number of ideas generated by each participant in a 5-min session.

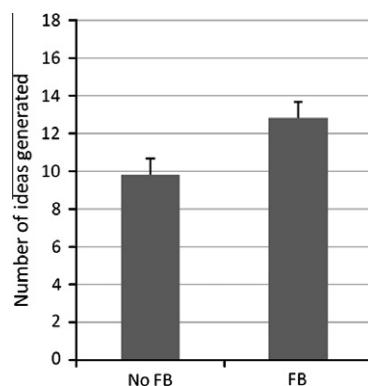


Fig. 5. Effect of Social-pressure (No FeedBack; Performance FeedBack) on the number of ideas generated by each participant in a 5-min session.

unique ideas for the "Swiss Army knife" problem are listed in Table 2. On this idea sample ANOVA was run at the group level (1 value by group). We obtained a main effect of Time-pressure ($F(3/18) = 3.46$; $p = 0.038$; see Fig. 6) showing that groups produced more unique ideas in P2 condition than in P0 ($p = 0.033$), P1 ($p = 0.007$) and P3 (marginally, $p = 0.079$). Other pairwise comparisons were not significant. Besides, there was no effect of Social-pressure on the number of unique ideas ($F(1/6) = 0.082$; NS).

6.5.2. Collaborative behaviors

The number of conversational turn was not significantly influenced by Time-pressure ($F(3/90) = 2.35$; NS), but it decreased with Social-pressure ($F(1/30) = 7.54$; $p = 0.01$). The number of collaborative gestures was influenced neither by Time-pressure ($F(3/90) = 1.46$; NS) nor by Social-pressure ($F(1/30) = 2.68$; NS).

Equity in turn-taking was impacted neither by Time-pressure ($F(3/90) = 2.26$; NS) nor by Social-pressure ($F(1/30) = 3.67$; NS). Likewise, equity of collaborative gestures showed no effect of Time-pressure ($F(3/66) = 0.38$; NS) nor of Social-pressure ($F(1/22) = 0.12$; NS).

6.5.3. Subjective data

A main effect of Time-pressure on easiness was observed ($F(3/90) = 44.41$; $p < 0.001$): P0 condition was judged marginally easier ($m = 6.47$) than P1 ($m = 6.31$; $p = 0.056$), itself easier than P2 ($m = 5.38$; $p < 0.001$) and P2 easier than P3 ($m = 4.16$; $p < 0.001$). The Social-pressure had no effect on easiness ($F(1/30) = 2.74$; NS).

Table 2

Examples of unique ideas (extract from a corpus of 110 ideas). Unique ideas are those which appear only once in the database of 1450 ideas (aggregation of all groups' productions).

Examples of unique ideas: "A knife that would..."

- Be allowed in aircrafts
- Include a GPS projecting arrows on the ground
- Have a weather-sensitive color
- Include a food analyzer detecting sugar rate
- Include a battery charger for mobile phones
- Include a seismograph
- Float when falls down in the water
- Include a mushroom detector
- Include a vase
- Include a bird singing analyzer
- Include an invisibility cloak
- Include a mosquito net
- Include a baby monitor
- Not harm users' nails to open
- Include an instantaneous rest dispenser
- ...

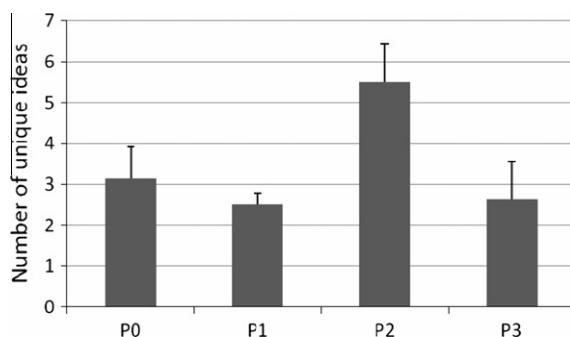


Fig. 6. Effect of Time-pressure level (P0–P3) on the number of unique ideas generated by a group in a 5-min session.

There was also a main effect of Time-pressure ($F(3/90) = 5.67; p = 0.001$) on agreeableness, showing that P3 condition was judged as significantly less agreeable than all other conditions ($p < 0.033$). The other pairwise comparisons were not significant. Besides, there was no effect of Social-pressure on agreeableness ($F(1/30) = 2.21$; NS).

No effect of Time-pressure ($F(3/90) = 0.52$; NS) nor Social-pressure ($F(1/30) = 0.37$; NS) was found on the fun criterion. Likewise, satisfaction level was not influenced by Time-pressure ($F(3/90) = 1.99$; NS) nor by Social-pressure ($F(1/30) = 0.31$; NS). Self-assessment of collaboration showed the same pattern ($F(3/90) = 1.55$; NS for Time-pressure and $F(1/30) = 3.78$; $p = 0.061$ for Social-pressure), and self-assessed quantity of ideas generated also ($F(3/90) = 0.86$; NS for Time-pressure and $F(1/30) = 0.28$; NS for Social-pressure). However, Time-pressure had a main effect on self-assessed quality of ideas generated ($F(3/90) = 3.48$; $p = 0.019$): participants thought they have produced better ideas in P0 ($m = 4.78$) than in P3 condition ($m = 3.94$; $p = 0.028$). The other pairwise comparisons were not significant. Social-pressure had no influence on self-assessed quality of ideas ($F(1/30) = 1.39$; NS).

Regarding motivation, we observed no significant effect of Time-pressure ($F(3/90) = 0.17$; NS), but we found a main effect of Social-pressure ($F(1/30) = 6.6$; $p = 0.015$) showing that participants submitted to the performance feedback were more motivated ($m = 5.28$) than those who worked without performance feedback ($m = 4.47$).

Finally, the emotions and affects experienced during the session proved to be impacted by Time-pressure ($F(3/90) = 5$; $p = 0.003$ for the Energy, $F(3/90) = 13.66$; $p < 0.001$ for Anxiety and $F(3/90) = 3.44$; $p = 0.020$ for Happiness). Energy proved to be higher in P3 condition than in all other conditions ($p = 0.005$), Anxiety level was similar in P0 and P1, significantly higher in P2 ($p < 0.036$) and highest in P3 ($p < 0.001$). Finally, Happiness was significantly higher in P1 than in P2 ($p = 0.031$) and P3 ($p = 0.025$). There was no effect of Social-pressure on Energy ($F(1/30) = 2.07$; NS), Anxiety ($F(1/30) = 0.04$; NS) or Happiness ($F(1/30) = 0.06$; NS).

6. Discussion

6.6.1. Effects of time pressure

Our results show that time pressure successfully impacted the creative performance of brainstorming groups. This is a totally novel result in the field of creativity. We expected that it would stimulate idea generation and speed up idea search, but we actually thought we would obtain an inverted U-shaped curve, with idea generation reaching a maximum and decreasing under highest time pressure level(s). Surprisingly, the quantity of ideas increased linearly with time pressure, and we could not identify any ceiling. In the highest Time-pressure condition P3, participants produced nearly twice as more ideas ($m = 15.44$ ideas) than in the no-Time-pressure condition P0 ($m = 8.38$ ideas). Strikingly, self-as-

sessed quantity of ideas did not vary with time pressure, which suggests that the participants did not realize that they generated more ideas under time pressure.

Contrary to quantity of ideas, our second performance criterion, namely uniqueness of ideas, highlighted a ceiling: the number of unique ideas was highest in P2 condition (edition time limited to 30 s), with sufficient but not-too-high time pressure to speed up idea generation without impairing idea search, note edition, or both. This is also a highly original result that, to our knowledge, cannot be found in earlier literature. In P3 condition (edition time limited to 15 s), participants kept editing more and more ideas but “getting nowhere” since they did not manage to produce unique (or original) ideas. Participants may have partly perceived this result because they rated the quality of their ideas lowest for P3 condition ($m = 3.94/7$). However, they did not realize that their ideas in P2 ($m = 4.38$) could be better than those from P0 ($m = 4.78$).

The behavioral analysis performed on the video-recordings revealed no effect of Time-pressure on collaboration. Consistently, participants reported a constant level of collaboration across conditions. Our informal observations of the sessions led us to think that under high time pressure they clearly had *no time* to collaborate, but did it anyway. We felt that it was a way to cope with pressure, to show a kind of solidarity. Fun, satisfaction and motivation were also preserved in spite of time pressure and showed constant intermediate-to-high levels (respectively $m = 5.87$; $m = 5.38$ and $m = 4.88/7$).

However, time pressure severely impacted easiness: as time pressure increased, easiness fell from a very high level ($m = 6.47/7$ in P0 condition) to an intermediate one ($m = 4.16/7$ in P3 condition). Agreeableness also significantly decreased in P3. Finally, emotional pattern significantly deteriorated under time pressure, with increasing energy and anxiety, and decreasing happiness.

6.6.2. Effects of social pressure

Social pressure proved to influence idea generation as well: the mere presence of the performance feedback on the table background led to significantly more ideas produced. With comparison to the effects of time pressure, it should be emphasized that social pressure increased idea generation *without* impairing user experience: easiness level, fun, satisfaction, agreeableness, emotional pattern, self-assessment of collaboration, of quantity and quality of ideas all remained constant in spite of the increase in social pressure. It even had a positive impact on motivation.

However, we observed two limitations of social pressure: firstly, the number of unique ideas stagnated although the total number of ideas had increased under social pressure. Secondly, it led the participants to reduce the quantity of collaborative verbal behaviors. These two limitations might be linked to one another. Indeed social pressure, by intensifying competition between participants, impaired collaboration (which, in brainwriting, mainly consists in sharing ideas). Hence, lower collaboration may have resulted in reduced cognitive stimulation and disrupted divergence and generation of unique ideas. This body of results, including performance, subjective and behavioral impacts of social pressure is unique in the literature: usually social comparison is studied with regard to performance (Bartis et al., 1988; Dugosh & Paulus, 2005; Michinov & Primois, 2005; Paulus et al., 2006; Shepherd et al., 1995), sometimes conjointly with subjective experience (Harkins & Jackson, 1985; Paulus & Dzindolet, 1993), but the possible drawbacks of social comparison on collaboration were not previously identified as they are in our experiment.

7. Conclusion

We showed that to some extent, explicit time pressure can stimulate creativity: in a brainwriting task, time pressure can help

increase quantity of ideas, and enhance originality (number of unique ideas). We are not suggesting that time pressure stimulates *all kinds* of creativity: designers, scientists, and everyone expected to be creative, should not be placed under time pressure in their everyday work, of course. But the possibility that time pressure could speed up the creative process like it was shown to speed up other cognitive mechanisms should not always be ruled out in the literature. In this respect, our experiment provides a new viewpoint on creative process.

Our results concern algorithmic creative tasks only, in Amabile's (1983) sense: algorithmic tasks include methods from the creative problem solving toolbox used in a time- and sequence-structured group format (Isaksen et al., 2000; VanGundy, 2005). In this specific context, time pressure clearly proved to speed up information processing, or idea search, but reached a maximum since under highest time pressure uniqueness of ideas decreased. Although with an accelerated process, too-high time pressure may shorten the exploration space in associative memory. The fact that the creative performance decreased beyond a given Time-pressure level tends to support Kerstholt's (1994) results (inverted U-shaped relation between time pressure and human performance) better than those from Kocher and Sutter (2006 – U-shaped relation). Regarding collaboration under time pressure, our results appear inconsistent with Rogalski's (1996) observations since collaboration remained stable across Time-pressure conditions. We feel that this result can be attributed to the tabletop device: the conviviality of spatial arrangement around the table may have compensated for the decrease in collaboration that should normally be observed under time pressure. The relation between conviviality, or group cohesiveness, and collaboration is also supported by the fact that collaboration decreased under social pressure. Therefore we may have found with the tabletop system a solution to favor collaboration even in highly demanding situations such as time pressure.

In addition to the speedup of idea search process, the positive effect of time pressure on creative performance can be explained by a better compliance with Osborn's (1953) rules (time pressure may have forced the participants to give up self-censorship). However, it cannot really be attributed to an increase in playfulness: although fun, satisfaction and motivation were not *impaired* by Time-pressure, they were not *improved* either. Besides, time pressure clearly deteriorated other aspects of user experience (easiness, agreeableness and emotional patterns). Therefore we recommend that each group finds its own acceptable Time-pressure level for optimizing both performance level and subjective experience. This level might depend on the individuals forming the group and their capacity to cope with pressure.

Beyond social comparison, which was repeatedly shown to increase idea production (Bartis et al., 1988; Dugosh & Paulus, 2005; Harkins & Jackson, 1985; Michinov & Primois, 2005; Paulus & Dzindolet, 1993; Paulus et al., 2006; Shepherd et al., 1995), our study showed that an additional social pressure further enhances its benefits. At first sight, this kind of pressure seems easier to handle than time pressure, since our results showed that it improved performance (quantity of ideas) and user experience (motivation) at the same time. However, the detrimental effect of social pressure on collaboration and its lack of effect on the number of unique ideas are of serious concern. One way to further emphasize the benefits of social pressure could be for example to design new interaction techniques forcing the participants to share their ideas or to work on others' ideas. Such adaptations of the brainwriting method could increase cognitive stimulation without relying on spontaneous collaboration, given that competitiveness resulting from social pressure is likely to impair this collaboration.

Time pressure has not been studied a lot in Human–Computer Interaction although computers manage time very well and offer the possibility to study it very accurately. It is also a challenging

issue since time pressure effects are not straightforward. This study explored two new tools (time and social pressure) to enhance tabletop experience when faster pace is desirable. Current research is exploring many application domains for tabletop systems (games, monitoring, military, sale, etc.) but it is too early to decide if the pace of such activities will always fit expectations. When multiple users sit around a tabletop interface we cannot expect the global pace to always satisfy every user but we can expect that the UI designer studied the target activity and identified pitfalls of certain paces. For example slow paces can be a problem for monitoring activity where a constant attention is necessary and fast paces can be a problem for strategic games where acting too fast is inefficient. Due to the novelty of the setting, tabletop experiments often reveal user prudence (tending to slow down the pace) and excitement (tending to speed up the pace). When novelty effect will fade out, interaction pace will be socially moderated and politeness may promote the pace of the slowest user. In critical applications (e.g. military) a leader remains necessary to manage the pace and makes the tabletop system a real competitor to the non-electronic counterpart. At least for non-critical activity like brainstorming this study shows pace management can be provided by the system. However, it also showed that pace management must be carefully designed since it remains a critical aspect of users' individual and collective experience. Real-time tabletop user interfaces require more experiments in order to better understand which tools can be used and how, and how effectiveness and acceptability can be optimized.

Several limitations of this study draw avenues for future research. First, we used ad hoc groups composed of students and university staff. Future research should extend our findings using groups of co-workers such as design teams, or ad hoc creative problem solving groups with real expectations regarding the outcome of the session. Such populations will not necessarily be subject to pressure in the same way as our users were. In this respect the literature on knowledge management, organizational learning and leadership strategies may provide a useful framework to draw a more complete picture of our conceptual elaboration on the Press factor. A second major shortcoming of our study is its timeframe. Longitudinal research should investigate whether our results endure over longer periods of time, whether individual and collective strategies emerge regarding the way participants cope with pressure, whether social pressure evolves with the history of the group, etc. Despite the limitations of our study, we believe that it provided new knowledge on the influence of the Press factor on creativity and will give rise to new kinds of research implementing tabletop-supported creativity.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2012.05.007>.

References

- Amabile, T. M. (1983). The social psychology of creativity: A componential conceptualization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45, 357–376.
- Bartis, S., Szymanski, K., & Harkins, S. G. (1988). Evaluation and performance: A two-edged knife. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 14, 242–251.
- Bolin, A. U., & Neuman, G. A. (2006). Personality, process, and performance in interactive brainstorming groups. *Journal of Business and Psychology*, 20(4), 565–585.
- Brickner, M. A., Harkins, S. G., & Ostrom, T. M. (1986). Effects of personal involvement: Thought-provoking implications for social loafing. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51, 763–769.
- Buisine, S., Besacier, G., Aoussat, A., & Vernier, F. (2012). How do interactive tabletop systems influence collaboration? *Computers in Human Behavior*, 28, 49–59.
- Chow, A., & Law, N. (2005). Measuring motivation in collaborative inquiry-based learning contexts. In *International conference on computer support for collaborative learning* (pp. 68–75). ACM Press.

- Diehl, M., & Stroebe, W. (1987). Productivity loss in brainstorming groups: Toward the solution of a riddle. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53(3), 497–509.
- Dietz, P. H., & Leigh, D. (2001). DiamondTouch: A multi-user touch technology. In *UIST'01 international conference on user interface software and technology* (pp. 219–226). ACM Press.
- DiMicco, J. M., Pandolfo, A., & Bender, W. (2004). Influencing group participation with a shared display. In *CSCW'04 international conference on computer-supported cooperative work* (pp. 614–623). ACM Press.
- Dugosh, K. L., & Paulus, P. B. (2005). Cognitive and social comparison processes in brainstorming. *Journal of Experimental Social Psychology*, 41, 313–320.
- Dugosh, K. L., Paulus, P. B., Roland, E. J., & Yang, H. C. (2000). Cognitive stimulation in brainstorming. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(5), 722–735.
- Feist, G. J. (1998). A meta-analysis of personality in scientific and artistic creativity. *Personality and Social Psychology Review*, 2(4), 290–309.
- Funke, J. (2001). Dynamic systems as tools for analyzing human judgment. *Thinking and Reasoning*, 7, 69–89.
- Geis, C., Bierhals, R., Schuster, I., Badke-Schaub, P., & Birkhofer, H. (2008). Methods in practice – A study on requirements for development and transfer of design methods. In *Proceedings of DESIGN 2008 international design conference* (pp. 369–376).
- Habermas, J. (1984). *Theory of communicative action*. Boston: Beacon Press.
- Harkins, S. G., & Jackson, J. M. (1985). The role of evaluation in eliminating social loafing. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 11(4), 457–465.
- Harkins, S. G., & Szymanski, K. (1988). Social loafing and self-evaluation with an objective standard. *Journal of Experimental Social Psychology*, 24, 354–365.
- Heslin, P. A. (2009). Better than brainstorming? Potential boundary conditions to brainwriting for idea generation in organizations. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 82, 129–145.
- Hoc, J. M., Amalberti, R., & Plee, G. (2000). Vitesse du processus et temps partagé: Planification et concurrence attentionnelle. *L'année Psychologique*, 100, 629–660.
- Isaksen, S. G., Dorval, K. B., & Treffinger, D. J. (2000). *Creative approaches to problem solving: A framework for change*. Kendall Hunt.
- Karau, S. J., & Hart, J. W. (1998). Group cohesiveness and social loafing: Effect of a social interaction manipulation on individual motivation within groups. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 2, 185–191.
- Karau, S. J., & Williams, K. D. (1993). Social loafing: A meta-analytic review and theoretical integration. *Journal of Personality and Social Psychology*, 65, 681–706.
- Kelly, J. R., & Loving, T. J. (2004). Time pressure and group performance: Exploring underlying processes in the attentional focus model. *Journal of Experimental Social Psychology*, 40, 185–198.
- Kerstholt, J. H. (1994). The effect of time pressure on decision-making behaviour in a dynamic task environment. *Acta Psychologica*, 86, 89–104.
- Kim, T., Chang, A., Holland, L., & Sandy Pentland, A. (2008). Meeting mediator: Enhancing group collaboration using sociometric feedback. In *CSCW'08 international conference on computer supported cooperative work* (pp. 457–466). ACM Press.
- Kocher, M. G., & Sutter, M. (2006). Time is money – Time pressure, incentives, and the quality of decision-making. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 61, 375–392.
- Maule, J. A., Robert, G., Hockey, J., & Bdzoza, L. (2000). Effects of time-pressure on decision-making under uncertainty: Changes in affective state and information processing strategy. *Acta Psychologica*, 104, 283–301.
- McFadzean, E. (1998). Enhancing creative thinking within organisations. *Management Decision*, 36, 309–315.
- Michinov, N., & Primois, C. (2005). Improving productivity and creativity in online groups through social comparison process: New evidence for asynchronous electronic brainstorming. *Computers in Human Behavior*, 21, 11–28.
- Murray, H. A. (1938). *Explorations in personality*. New York: Oxford Univ. Press.
- Nijstad, B. A., & Stroebe, W. (2006). How the group affects the mind: A cognitive model of idea generation in groups. *Personality and Social Psychology Review*, 10, 186–213.
- Nijstad, B. A., Stroebe, W., & Lodewijkx, H. F. M. (2002). Cognitive stimulation and interference in groups: Exposure effects in an idea generation task. *Journal of Experimental Social Psychology*, 38, 535–544.
- Nijstad, B. A., Stroebe, W., & Lodewijkx, H. F. M. (2003). Production blocking and idea generation: Does blocking interfere with cognitive processes? *Journal of Experimental Social Psychology*, 39, 531–548.
- Osborn, A. F. (1953). *Applied imagination. Principles and procedures of creative problem-solving*. Charles Scribner's Sons.
- Osman, M. (2010). Controlling uncertainty: A review of human behavior in complex dynamic environments. *Psychological Bulletin*, 136, 65–86.
- Parnes, S. J., & Meadow, A. (1959). Effects of "brainstorming" instructions on creative problem solving by trained and untrained subjects. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 171–176.
- Paulus, P. B., & Dzindolet, M. T. (1993). Social influence processes in group brainstorming. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64(4), 575–586.
- Paulus, P. B., Nakui, T., Putman, V. L., & Brown, V. R. (2006). Effects of task instructions and brief breaks on brainstorming. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 10(3), 206–219.
- Paulus, P. B., & Yang, H. C. (2000). Idea generation in groups: A basis for creativity in organizations. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82, 76–87.
- Pelletier, L., Vallerand, R., Green-Demers, I., Blais, M., & Brière, N. (1996). Vers une conceptualisation motivationnelle multidimensionnelle du loisir: Construction et validation de l'échelle de motivation vis-à-vis des loisirs (EML). *Loisir et Société*, 19, 559–585.
- Perrin, J. (2001). *Concevoir l'innovation industrielle*. Paris: CNRS Editions.
- Rashid, A. M., Ling, K., Tassone, R. D., Resnick, P., Kraut, R., & Riedl, J. (2006). Motivating participation by displaying the value of contribution. In *CHI'06 international conference on human factors in computing systems* (pp. 955–958).
- Rhodes, M. (1961). An analysis of creativity. *The Phi Delta Kappan*, 42, 305–310.
- Ringel Morris, M., Cassanego, A., Paepcke, A., Wingrad, T., Piper, A. M., & Huang, A. (2006). Mediating group dynamics through tabletop interface design. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 65–73.
- Rogalski, J. (1996). Co-operation processes in dynamic environment management: Evolution through training experienced pilots in flying a highly automated aircraft. *Acta Psychologica*, 91, 273–295.
- Rubin, H. I., & Hernandez, E. F. (1988). Motivations and behaviors of software professionals. In *International conference on management of information systems personnel* (pp. 62–71). ACM Press.
- Runco, M. A. (2004). Creativity. *Annual Review of Psychology*, 55, 657–687.
- Serva, M. A., & Fuller, M. A. (1997). Preventing social loafing in the collaborative technology classroom. In *SIGCPR'97* (pp. 84–86). ACM Press.
- Shen, C., Vernier, F., Forlines, C., & Ringel, M. (2004). DiamondSpin: An extensible toolkit for around-the-table interaction. In *CHI'04 international conference on human factors in computing systems* (pp. 167–174). ACM Press.
- Shen, C., Hancock, M. S., Forlines, C., & Vernier, F. D. (2005). CoR²Ds: Context-rooted rotatable dragables for tabletop interaction. In *CHI'05 international conference on human factors in computing systems* (pp. 1781–1784). ACM Press.
- Shen, C., Ryall, K., Forlines, C., Esenther, A., Vernier, F., Everitt, K., et al. (2006). Informing the design of direct-touch tabletops. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 56–66.
- Shepherd, M. M., Briggs, R. O., Reinig, B. A., & Yen, J. (1995). Social loafing in electronic brainstorming: Invoking social comparison through technology and facilitation techniques to improve group productivity. In *HICSS'95 Hawaii international conference on system sciences* (pp. 523–532). IEEE.
- Shepperd, J. A. (1993). Productivity loss in performance groups: A motivation analysis. *Psychological Bulletin*, 113, 67–81.
- Sternberg, R. J. (1998). *Handbook of creativity*. Cambridge University Press.
- Stroebe, W., Nijstad, B. A., & Rietzschel, E. F. (2010). Beyond productivity loss in brainstorming groups: The evolution of a question. In M. P. Zanna, & J. M. Olson (Eds.), *Advances in experimental social psychology* (Vol. 43, pp. 157–203).
- Torrance, E. P. (1966). *The torrance tests of creative thinking*. Princeton: Personnel Press.
- Turner, W. M., & Rains, J. D. (1965). Differential effects of "brainstorming" instructions upon high and low creative subjects. *Psychological Reports*, 17, 753–754.
- VanGundy, A. B. (1997). *Creative problem solving for managers*. College Park: University of Maryland.
- VanGundy, A. B. (2005). *101 Activities for teaching creativity and problem solving*. San Francisco: John Wiley & Sons, Inc..
- Weisskopf-Joelson, E., & Eliseo, T. S. (1961). An experimental study of the effectiveness of brainstorming. *Journal of Applied Psychology*, 45(1), 45–49.
- Wigdor, D., Jiang, H., Forlines, C., Borkin, M., & Shen, C. (2009). WeSpace. The design, development, and deployment of a walk-up and share multi-surface collaboration system. In *CHI'09 international conference on human factors in computing systems* (pp. 1237–1246). ACM Press.
- Woolley, A. N., Chabris, C. F., Pentland, A., Hashmi, N., & Malone, T. W. (2010). Evidence for a collective intelligence factor in the performance of human groups. *Science*, 330, 686–688.
- Zaharias, P. (2006). A usability evaluation method for e-learning: Focus on motivation to learn. In *CHI'06 international conference on human factors in computing systems* (pp. 1571–1576). ACM Press.
- Zeng, L., Proctor, R. W., & Salvendy, G. (2010). Creativity in ergonomic design: A supplemental value-adding source for product and service development. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 52, 503–525.

Embodied Creative Agents: A Preliminary Social-Cognitive Framework

Stéphanie Buisine^{1,*}, Améziane Ouassat¹, and Jean-Claude Martin²

¹ ENSAM-LCPI, 151 bd de l'Hôpital, 75013 Paris, France

stephanie.buisine@paris.ensam.fr

² LIMSI-CNRS, BP 133, 91403 Orsay Cedex, France

Abstract. The goal of this paper is to open discussion about industrial creativity as a potential application field for Embodied Conversational Agents. We introduce the domain of creativity and especially focus on a collective creativity tool, the brainstorming: we present the related research in Psychology which has identified several key cognitive and social mechanisms that influence brainstorming process and outcome. However, some dimensions remain unexplored, such as the influence of the partners' personality or the facilitator's personality on idea generation. We propose to explore these issues, among others, using Embodied Conversational Agents. The idea seems original given that Embodied Agents were never included into brainstorming computer tools. We draw some hypotheses and a research program, and conclude on the potential benefits for the knowledge on creativity process on the one hand, and for the field of Embodied Conversational Agents on the other hand.

Keywords: Embodied Conversational Agents, Creativity, Brainstorming, Facilitator, Expressivity, Personality.

1 Introduction

This paper presents a potential application field for Embodied Conversational Agents (ECAs) which has not been explored yet, namely the field of industrial creativity and computer-supported brainstorming. The paper is structured as follows: in section 2 we define the field of industrial creativity, and expose the brainstorming process and state of the art. In section 3 we show that ECAs were never included in the existing creativity-supporting tools although they would raise interesting research questions. We elaborate on several examples of hypotheses and present the related research program. We expose the expected benefits of such a research program for both fields of industrial creativity and ECA design, before concluding on our general iterative approach between a social-cognitive framework of creativity and experimental investigations.

* Corresponding author.

2 Industrial Creativity

2.1 Scope Definition

Creativity is a high-level cognitive process which has given rise to researches in various fields such as Psychology [14, 63], Engineering [6, 33, 50, 68] or Human-Computer Interaction [12, 24, 61, 62]. Creativity applies to artistic work (e.g. fine arts, literature, architecture, music), educative domain (e.g. early-learning and playing activities), scientific skills (e.g. problem resolution, discoveries, epistemological breakthroughs), and industrial applications (e.g. creation of product functions, stylistic design of artifacts).

In this paper we consider creativity in industrial applications, for example when some people design products that contribute to changing our everyday habits with new technologies or innovative functions (e.g. global positioning systems in cars to find one's way, or in mobile phones to be easily located, portable players radically changing our relations to our multimedia contents, etc.). Understanding and supporting this kind of creativity is not only an interesting research challenge: industrial innovation being one of the few ways for western countries to remain competitive, the product life cycle is getting shorter and shorter and new products have to be constantly developed and timely placed to market.

2.2 Brainstorming

Group Creativity. To improve creativity, a wide-spread practice in companies is the group brainstorming. Although creativity fundamentally remains an individual capacity, many collective creativity phenomena were demonstrated. For example, cognitive stimulation (i.e. the exposition to others' ideas) proved to enhance idea generation in individuals [21, 22, 45]. Moreover, social comparison (i.e. the possibility to compare one's own performance to the others') was shown to be motivating for brainstorming participants and to improve idea generation [2, 32, 38, 43, 53]. Therefore creativity appears worth implementing in groups, for example in the form of a brainstorming. This is especially true for industrial creativity which can benefit from multiple, or even multidisciplinary viewpoints [8].

The Brainstorming Method. Although brainstorming is sometimes practiced wildly, some methodological toolkits [33, 50, 68] have been formalized to structure the reflection and manage groups' dynamics. For example, the preparation (e.g. decomposing the problem, formulating the questions to address) is fundamental to the quality of outcome from the session. Besides, for efficient idea generation and a smooth running of the group, Osborn [50] recommends stating and displaying the following rules during the whole course of the session: *Criticism is ruled out; Free-wheeling is welcomed; Quantity is wanted; Combination and improvement are sought*. These rules need to be formalized and periodically reminded to the brainstorming participants because such attitudes are not spontaneous, and the use of Osborn's rules actually proved to enhance brainstorming productivity [52, 54, 65, 71]. The brainstorming is also more efficient when leaded by a "facilitator", i.e. someone who does not participate in the idea generation but manages speech turns, encourages

the participants individually and collectively, ensures that the focus on the problem and the brainstorming rules are kept observed [36, 49, 50, 51, 54]. Today, being a facilitator can be a full-time occupation since many consulting services specialized in creative problem solving were set up to assist companies in their conducting of creativity sessions.

Electronic Brainstorming. A major shortcoming of classical brainstorming sessions as previously defined is the absolute necessity of managing speech turns: each participant has to wait for her/his turn to give an idea and can give only one idea within a turn. However, it was demonstrated that ideas do not come one by one but rather by “trains of thought” (i.e. by automatic and rapid accumulations of semantically related ideas [46]). Verbal brainstorming therefore interferes with idea generation process in several ways: due to the coordination needs and time constraints, the participants have to rehearse some of their ideas, which stops further idea generation and prevents them from listening to the ideas of others, or they select the ideas they will give to the group (which implies a self-censorship that should normally be ruled out). These phenomena occurring during verbal brainstorming are referred to as “production blocking” [19, 43, 46].

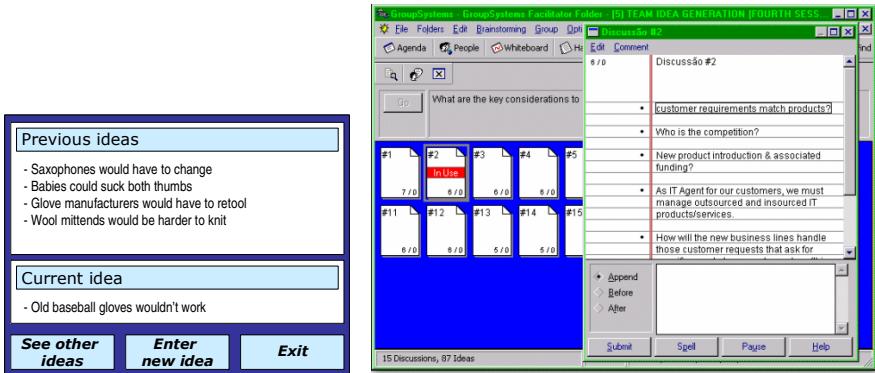


Fig. 1. Examples of collective electronic brainstorming systems: On the left panel, a research tool adapted from Gallupe et al. [27], here used in the Thumbs Problem (a classical problem in brainstorming research about the practical benefits or difficulties that would arise if everyone had an extra thumb on each hand). On the right panel, the commercial software GroupSystems I (www.groupsupport.com).

To counteract production blocking while keeping the advantages of group brainstorming (e.g. the positive effects of cognitive stimulation and social comparison), electronic brainstorming procedures were created. They consist in making the participants simultaneously generate ideas on individual computers networked together and located in the same room [17]. The ideas typed in by the participants are displayed on a large-screen in the front of the room, as well as on each workstation (Fig. 1). The role of the facilitator is the same as in traditional brainstorming except that s/he does not have to manage speech turns. In the field of

Computer-Supported Cooperative Work (CSCW), electronic brainstorming tools fall into the category of group decision systems and electronic meeting rooms [23]. They are rather simple systems relative to other co-located or distant groupware, and the context of creativity does not suppose any special needs.

Electronic brainstorming were shown to actually improve idea production in comparison to control brainstorming sessions [16, 27, 28, 34, 42, 58, 66], and this benefit increases with group size [17, 18].

Personality Issues in Brainstorming. Beside modeling general brainstorming mechanisms applying to all groups whatever their composition, many researchers examined the influence of participants' personality on idea generation and creativity [5, 7, 11, 25, 26, 31, 56]. The close analysis of these results is beyond the scope of the present paper but we may mention for example that the following personality traits were shown to influence creativity: psychoticism, social anxiety, openness, impulsivity, individualism, extroversion, etc.

The previous studies all concerned participants' personality. Likewise, we may wonder whether facilitator's personality would also influence idea production from the brainstorming participants. However, to our knowledge, this issue has never been investigated. Although the usefulness of facilitators was confirmed [36, 49, 51, 54], their behavior and recommended personality was always kept constant. A good facilitator is expected to always stay neutral, to express professionalism and self-confidence, to be dynamic and demonstrate great communication and listening skills, to be friendly and show a sense of humor [20, 70]. What if the facilitator was more emotionally involved in her/his relation to the group? What if s/he showed extreme sympathy or, conversely, disagreeableness? The question is not straightforward since participant's creativity is likely to be triggered off by both positive feelings (through e.g. social facilitation or the experience of positive affects [10]) and negative feelings (because it is fundamentally an adaptive capacity for solving problems in contexts of fear, discomfort, aggression, competition, etc. [50]).

3 How Can Embodied Agents Help?

The possibility to employ Embodied Conversational Agents (ECAs) in electronic brainstorming interfaces is never evoked in the previous state of the art. Yet, some of those systems originally designed to be used in a co-located setup have evolved to applications for distant asynchronous brainstorming through the Internet [17, 43]. But the interface of these systems was never embodied.

The same observation applies more generally in the broad field of computer-supported creativity. Corporate needs for creativity gave rise to a market for computational tools of creativity and a lot of research prototypes and commercial software have been developed¹. According to Shneiderman [61], the existing computer solutions can be categorized into three approaches: inspirational tools (e.g. favoring visualization, free association, or sources of inspiration), structural tools (e.g. databases, simulations, methodical techniques of reasoning), and situational tools (e.g.

¹ Examples of commercial software include Goldfire Innovator (www.invention-machine.com), ThoughtOffice (www.ideacenter.com), MindManager (www.mindjet.com).

based on the social context, enabling peer-consultation, or dissemination). Lubart [39] adopted a classification grounded on the role played by the computer in the creative process: systems assisting the user in the management of creative projects (computer as nanny), those supporting communication and collaboration within a team (computer as pen-pal), systems implementing creativity enhancement techniques (computer as coach) and those contributing to the idea production (computer as colleague). But these roles were never personified and such a possibility is never mentioned in the literature related to creativity-assisting tools.

Likewise in the field of ECAs, industrial creativity was never studied as a potential application framework. ECAs are used in contexts of games, education, personal assistance, commercial websites, etc. The domain closest to creativity may be the use of ECAs as partners of storytelling for children [13, 59].

3.1 Hypotheses

The idea to integrate ECAs into creativity-supporting tools, and especially into brainstorming tools, seems relevant for several reasons we develop in the following paragraphs.

Personification. Personifying the interface can be interesting in itself, as it was shown with pedagogical agents whose presence can be sufficient to improve subjective experience and also sometimes performance [3, 44, 67]. Therefore it could be interesting to investigate whether this kind of effect would also arise for a creativity application in which either the brainstorming participants or the facilitator are represented by ECAs.

Dialog. The domain of ECAs is still considered as lacking believability because current technologies of artificial intelligence do not meet users' requirements in terms of dialog. But in the field of creativity, especially if the ECA represents a partner in the brainstorming, such a weakness can become a strength [39]. Indeed the contribution of ECAs would not rely on exact reasoning but could be related to suggesting new ways for idea searching, to diverging by associative thinking, using e.g. databases and semantic networks. In such a context, a weird idea association made by an ECA could be useful and efficient; in fact, an artificial diverging agent was previously implemented in a brainstorming system [47], but this agent was not personified. Therefore we assume that the effect of interface personification could be tested without being biased by ECA's poor reasoning capacities.

This argument applies for a partner ECA but not for a facilitator ECA, who would have to understand all the interaction and react adequately and timely. In this case the solution could be to include an ECA and a model of nonverbal behavior into the system and control the verbal behavior by a wizard-of-oz setup.

Expressivity, Personality, Role-Playing. A major research interest in ECA community concerns agents' capacity to mimic human affective behaviors [4, 9, 15, 40] and personality expression (with e.g. the adaptation of FFM and OCC personality models [1]). ECA personalities can be used to control the expression of emotion (intensity or modalities), to represent the importance of goals, or to modify the

probability of occurrence of certain behaviors [69]. The interrelations between emotions, mood and personality are especially focused on [57, 64]: for example some models of personality featuring several interdependent layers with different timescales were proposed [29, 37]. The final goal of such research is to endow virtual characters with individual personalities [41, 60]: how different characters cope differently with emotions, which weights they use for evaluating events, etc. Gesture style dictionaries [48] and character profiles [30] were also studied.

Some of these expressive agents were included into teams of ECAs in which each one has his role (see Rist et al. [55] for a review): for example, the eShowroom generates commercials by using several presentation agents with different roles, different attitudes towards the product, different personality traits, etc. Pedagogical applications were also designed with teams of ECAs [35] representing different instructional roles such as the expert, the tutor, the mentor, the motivator, the learning companion (or peer tutee), the helper, the competitor, the troublemaker, etc. Sometimes human users can join the team as in multi-party gatherings and conversations in virtual space: for example the Magic Monitor [55] is a multi-user conferencing system in which ECAs represent the conversation partners, be they humans or virtual conversational agents, and the system includes a virtual facilitator agent who provides meta-information about the conversation. Some recent online games² are also built on a similar architecture: the players choose their character, collaborate together with other players and with virtual agents towards the achievement of a common goal.

In the context of creativity sessions, there are only two roles (potentially associated with multiple personality dimensions): the partner and the facilitator. A few studies examined the influence of group members' personality on the creativity of their partners, showing e.g. that the presence of social anxious people in a group made their partners spontaneously lower their performance [11]. However, personality research has been concerned mainly with the relation between individuals' personality and their own creativity, and the influence of the facilitator's personality was never tested.

The use of ECAs for representing brainstorming partners or facilitator could enable us to further study the effects of social and affective interactions in a brainstorming task. In comparison to protocols involving acting experimenters, ECAs would have the advantage of being more easily controllable and of displaying repeatable behaviors. They could thus constitute a new experimental tool for exploring creativity processes.

3.2 Research Program

Evaluating creativity. In the following research program we intend to collect creativity metrics that are classically used in the literature [45], such as: the quantity of ideas generated (which is correlated to the quality of the production [52]), the width of production (i.e. the number of semantic categories represented), the depth of production (i.e. the number of semantically-related ideas), the semantic distance (i.e. originality) between the ideas and the initial problem. These metrics are generally submitted to inter-judge agreement procedures.

² See e.g. Guild Wars, www.guildwars.com

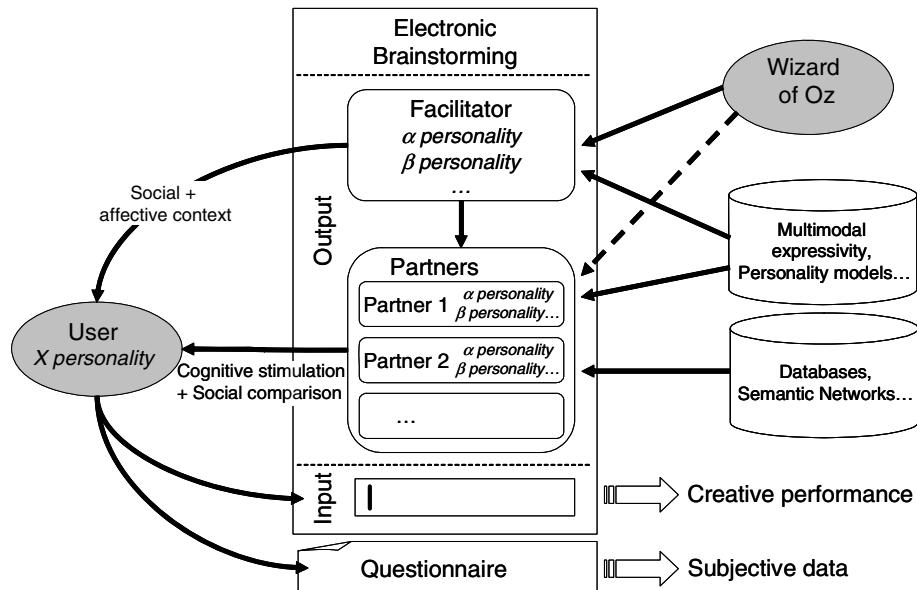


Fig. 2. General architecture of the experimental setups

Personification. The first step could be to introduce existing ECA models into a simple electronic brainstorming system. The goal would be to merely implement the personification hypothesis with ECAs' personality set to neutral (cf. Fig. 2 with expressivity and personality models deactivated). To justify the presence of ECAs and facilitate experimental control, we may test only distant electronic brainstorming situations: indeed, such a procedure would enable us for example to simulate the behavior of all group members and test only one user at a time (instead of groups of users).

By combining different features of our system we could create the following range of experimental conditions:

- Collective distant electronic brainstorming (with no personification),
- Collective distant electronic brainstorming with an ECA facilitator,
- Collective distant electronic brainstorming with ECA partners and facilitators (the test user would first have to choose an avatar),
- Individual electronic brainstorming (cf. Fig. 2 with partners removed) with a non-personified facilitator,
- Individual electronic brainstorming with an ECA facilitator.

These experimental conditions would enable us to evaluate the effects of personifying the facilitator both on individual and collective creativity, and the effects of personifying the partners on collective creativity. The effects of personification should also be evaluated on users' subjective impressions. Furthermore, the collection of gender and personality data from the test users could enable us to identify potential relations between individuals' personality and their reactions (both on performance and subjective dimensions) to the presence of ECAs.

Personality. The following step would consist in manipulating the social and affective environment of electronic brainstorming by giving ECAs a strong personality. The most influencing character in the brainstorming might be the facilitator; therefore we assume that the effects of personality would be more clear-cut when implemented in ECA facilitators (in comparison to ECA partners). That is why we chose to especially emphasize this hypothesis in the present section.

To help us model the expression of personalities in the facilitator's role, we should first conduct a few pilot tests with human brainstorming participants and human facilitators acting within different communication styles, personalities, emotions, etc. Those (costly) pilot studies are not expected to produce significant experimental results because they may not be repeated a sufficient number of times. Their aim would rather be to feed a computational model of multimodal expressive behavior for ECAs.

With a trained model (eventually validated with replay procedures [9]) the large-scale experiments could be conducted by creating the following conditions (see Fig. 2):

- Collective distant electronic brainstorming with an ECA facilitator, α personality,
- Collective distant electronic brainstorming with an ECA facilitator, β personality,
- Individual electronic brainstorming (cf. Fig. 2 with partners removed) with an ECA facilitator, α personality,
- Individual electronic brainstorming with an ECA facilitator, β personality.

It should be noticed that several control conditions would be provided by the first research step (collective and individual conditions with no personification and with a neutral ECA facilitator).

For the moment the α and β (and so on...) personality traits have not been determined because this requires a closer literature analysis. However, we intend to test at least a positive (i.e. socially desirable) personality trait and a negative one. We wish to examine their effects on both the idea generation performance and the subjective experience of users. Finally, these data would be crossed with user's gender and personality in order to investigate interaction effects between user's and facilitator's individual characteristics.

Extension to Other Kinds of Creativity. An example of medium- to long-term perspective to such a research could be to extend the experimental focus to other kinds of creativity, for example educational creativity (early-learning activities) dedicated to children, in individual or in collective modes. According to the results obtained in the previous research steps, some of the experiments could be replicated in order to test the generalization of the effects to other populations and other kinds of creativity. For example we could imagine that the cognitive and social mechanisms of creativity and their relation to the affective context could be different between children and adults.

4 Expected Outcomes

We think that the exploratory developments envisioned in this paper could have significant contributions to both the fields of creativity research and ECA design.

4.1 Contribution to Creativity Research

The potential benefits to the study of creativity process can be formulated as follows:

- Further modeling of cognitive, affective and social mechanisms of creativity: especially, the results about the influence of the affective context on creativity could help us understand the nature of creativity (an archaic capacity related to a feeling of danger or a modern evolution related to social comfort).
- Comparison between individual and collective creativity processes: are those the same and only mechanism? Does the environment of a group change the individual's reaction and adaptation?
- Comparison between children's and adults' creativity processes: to obtain reliable data on this topic we will have to ensure that the tasks (related to industrial and educative creativity) will remain fairly comparable. The creative educative task for children will have to be designed as an adaptation of the task submitted to adult users.
- Perspectives for new creativity-supporting tools: if the results appear to be easily transferable to a commercial development (e.g. a positive effect of personification, or of simple expressivity parameters), we could imagine to promote the design of more efficient tools to improve creativity, and indirectly industrial innovation.

4.2 Contribution to ECA Research

Finally, the research directions presented in this paper could be beneficial to the ECA community by the following aspects:

- Providing a context for modeling the behavioral expression of affects, of personality traits and social interactions from the way human facilitators behave.
- Comparison of the way users perceive a human / an ECA: do they reliably decode and interpret multimodal behaviors and personality?
- Providing improvement directions for the design of ECAs (based on the previous observations).
- Exploration of a new application field, and potentially identification of new usefulness elements.

5 Conclusion

Inspired by Kim and Baylor's approach with pedagogical agents [35], our goal in this paper was to introduce a preliminary social-cognitive framework to serve as a theoretical basis for and a guide to the optimal design of Embodied Creative Agents. In this respect, creative agents could be developed both as cognitive tools and as social tools for supporting creative processes: creative agents as cognitive tools could be equipped with databases and semantic networks for associative thinking and take turns when the user does not generate ideas. Besides, creative agents as social tools would be present on the screen, exhibit their own performance (ECA partners), express their personality and react to the user's behavior (ECA facilitator) in order to provide a social context for the creative practice.

The first set of agents that would be designed to afford these social-cognitive dimensions could then enable us to conduct a series of experimental studies that would in turn expand the social-cognitive framework: research on creative processes will be expected to progress through such a spiral iterative approach.

References

1. André, E., Klesen, M., Gebhard, P., Allen, S., Rist, T.: Integrating models of personality and emotions into lifelike characters. In: Workshop on Affect in Interactions Towards a new Generation of Interfaces, pp. 136–149 (1999)
2. Bartis, S., Szymanski, K., Harkins, S.G.: Evaluation and performance: A two-edged knife. *Personality and Social Psychology Bulletin* 14, 242–251 (1988)
3. Beun, R.J., de Vos, E., Witteman, C.: Embodied conversational agents: Effects on memory performance and anthropomorphisation. In: Rist, T., Aylett, R., Ballin, D., Rickel, J. (eds.) IVA'2003 International Conference on Intelligent Virtual Agents. LNCS, vol. 2792, pp. 315–319. Springer, Heidelberg (2003)
4. Bevacqua, E., Pelachaud, C.: Expressive audio-visual speech. *Journal of Visualization and Computer Animation* 15, 297–304 (2004)
5. Bolin, A.U., Neuman, G.A.: Personality, process, and performance in interactive brainstorming groups. *Journal of Business and Psychology* 20(4), 565–585 (2006)
6. Bonnardel, N.: *Créativité et conception: Approches cognitives et ergonomiques*. Solal Editions, Marseille (2006)
7. Bouchard, T.J.: Personality, problem-solving procedure, and performance in small groups. *Journal of Applied Psychology Monograph* 53(1), 1–29 (1969)
8. Brown, V.R., Paulus, P.B.: Making group brainstorming more effective: Recommendations from an associative memory perspective. *Current Directions in Psychological Science* 11(6), 208–212 (2002)
9. Buisine, S., Abrilian, S., Niewiadomski, R., Martin, J.C., Devillers, L., Pelachaud, C.: Perception of blended emotions: From video corpus to expressive agent. In: Gratch, J., Young, M., Aylett, R., Ballin, D., Olivier, P. (eds.) IVA 2006. LNCS, vol. 4133, pp. 93–106. Springer, Heidelberg (2006)
10. Burleson, W.: Developing creativity, motivation, and self-actualization with learning systems. *International Journal of Human-Computer Studies* 63, 436–451 (2005)
11. Camacho, L.M., Paulus, P.B.: The role of social anxiousness in group brainstorming. *Journal of Personality and Social Psychology* 68(6), 1071–1080 (1995)
12. Candy, L., Hori, K.: The digital muse: HCI in support of creativity. *Interactions* 10, 44–54 (2003)
13. Cooper, B., Brna, P.: Fostering cartoon-style creativity with sensitive agent support in tomorrow's classroom. *Educational Technology & Society*, vol. 4 (2001)
14. Csikszentmihalyi, M.: *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention*. Harper Perennial, New York (1996)
15. De Rosis, F., Pelachaud, C., Poggi, I., Carofiglio, V., De Carolis, B.: From Greta's mind to her face: Modelling the dynamics of affective states in a conversational embodied agent. *International Journal of Human-Computer Studies* 59, 81–118 (2003)
16. Dennis, A.R., Valacich, J.S.: Computer brainstorms: More heads are better than one. *Journal of Applied Psychology* 78(4), 531–537 (1993)
17. Dennis, A.R., Williams, M.L.: Electronic brainstorming: Theory, research and future directions. *Kelley School of Business, Technical Reports* TR116-1 (2002)

18. DeRosa, D.M., Smith, C.L., Hantula, D.A.: The medium matters: Mining the long-promised merit of group interaction in creative idea generation tasks in a meta-analysis of the electronic group brainstorming literature. *Computers in Human Behavior* 23, 1549–1581 (2007)
19. Diehl, M., Stroebe, W.: Productivity loss in brainstorming groups: Toward the solution of a riddle. *Journal of Personality and Social Psychology* 53(3), 497–509 (1987)
20. Ditkoff, M.: The ten personas of a brainstorm facilitator (2004), <http://www.innovationtools.com>
21. Dugosh, K.L., Paulus, P.B.: Cognitive and social comparison processes in brainstorming. *Journal of Experimental Social Psychology* 41, 313–320 (2005)
22. Dugosh, K.L., Paulus, P.B., Roland, E.J., Yang, H.C.: Cognitive stimulation in brainstorming. *Journal of Personality and Social Psychology* 79(5), 722–735 (2000)
23. Ellis, C.A., Gibbs, S.J., Rein, G.L.: Groupware: Some issues and experiences. *Communications of the ACM* 34, 38–58 (1991)
24. Farooq, U.: Eureka! Past, present, and future of creativity research in HCI. *ACM Crossroads* 12, 6–11 (2005)
25. Feist, G.J.: A meta-analysis of personality in scientific and artistic creativity. *Personality and Social Psychology Review* 2(4), 290–309 (1998)
26. Furnham, A., Yazdanpanahi, T.: Personality differences and group versus individual brainstorming. *Personality and Individual Differences* 19(1), 73–80 (1995)
27. Gallupe, R.B., Bastianutti, L.M., Cooper, W.H.: Unblocking brainstorms. *Journal of Applied Psychology* 76(1), 137–142 (1991)
28. Gallupe, R.B., Cooper, W.H., Grisé, M.L., Bastianutti, L.M.: Blocking electronic brainstorms. *Journal of Applied Psychology* 79(1), 77–86 (1994)
29. Gebhard, P.: ALMA - A Layered Model of Affect. In: *AAMAS'05 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 29–36 (2005)
30. Gillies, M., Ballin, D.: A model of interpersonal attitude and posture generation. In: Rist, T., Aylett, R., Ballin, D., Rickel, J. (eds.) *IVA 2003. LNCS (LNAI)*, vol. 2792, Springer, Heidelberg (2003)
31. Goncalo, J.A., Staw, B.M.: Individualism-collectivism and group creativity. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 100, 96–109 (2006)
32. Harkins, S.G., Jackson, J.M.: The role of evaluation in eliminating social loafing. *Personality and Social Psychology Bulletin* 11(4), 457–465 (1985)
33. Isaksen, S.G., Dorval, K.B., Treffinger, D.J.: Creative approaches to problem solving: A framework for change. Kendall Hunt (2000)
34. Kerr, D.S., Murthy, U.S.: Divergent and convergent idea generation in teams: A comparison of computer-mediated and face-to-face communication. *Group Decision and Negotiation* 13, 381–399 (2004)
35. Kim, Y., Baylor, A.L.: A social-cognitive framework for pedagogical agents as learning companions. *Educational Technology Research & Development* 54, 569–590 (2006)
36. Kramer, T.J., Fleming, G.P., Mannis, S.M.: Improving face-to-face brainstorming through modeling and facilitation. *Small Group Research* 32, 533–557 (2001)
37. Kshirsagar, S.: A multilayer personality model. *SMARTGRAPH '02 International symposium on Smart Graphics*, pp. 107–115. ACM Press, New York, USA (2002)
38. Leggett Dugosh, K., Paulus, P.B.: Cognitive and social comparison processes in brainstorming. *Journal of Experimental Social Psychology* 41, 313–320 (2005)
39. Lubart, T.: How can computers be partners in the creative process. *International Journal of Human-Computer Studies* 63, 365–369 (2005)

40. Martin, J.C., Niewiadomski, R., Devillers, L., Buisine, S., Pelachaud, C.: Multimodal complex emotions: Gesture expressivity and blended facial expressions. *International Journal of Humanoid Robotics* 3, 269–292 (2006)
41. Maya, V., Lamolle, M., Pelachaud, C.: Influences on embodied conversational agent's expressivity: Towards an individualization of the ECAs. In: AISB'04 (2004)
42. McLaughlin Hymes, C., Olson, G.M.: Unblocking brainstorming through the use of a simple group editor, pp. 99–106. ACM Press, New York, USA (1992)
43. Michinov, N., Primois, C.: Improving productivity and creativity in online groups through social comparison process: New evidence for asynchronous electronic brainstorming. *Computers in Human Behavior* 21, 11–28 (2005)
44. Moreno, R., Mayer, R.E., Spires, H., Lester, J.: The case for social agency in computer-based teaching: Do students learn more deeply when they interact with animated pedagogical agents? *Cognition and Instruction* 19, 177–213 (2001)
45. Nijstad, B.A., Stroebe, W., Lodewijkx, H.F.M.: Cognitive stimulation and interference in groups: Exposure effects in an idea generation task. *Journal of Experimental Social Psychology* 38, 535–544 (2002)
46. Nijstad, B.A., Stroebe, W., Lodewijkx, H.F.M.: Production blocking and idea generation: Does blocking interfere with cognitive processes? *Journal of Experimental Social Psychology*, 39, 531–548 (2003)
47. Nishimoto, K., Sumi, Y., Mase, K.: Toward an outsider agent for supporting a brainstorming session - An information retrieval method from a different viewpoint. *Knowledge-Based Systems* 9, 377–384 (1996)
48. Noot, H., Ruttkay, Z.: Gesture in style. In: Camurri, A., Volpe, G. (eds.) GW 2003. LNCS (LNAI), vol. 2915, p. 324. Springer, Heidelberg (2004)
49. Offner, A.K., Kramer, T.J., Winter, J.P.: The effects of facilitation, recording, and pauses on group brainstorming. *Small Group Research* 27, 283–298 (1996)
50. Osborn, A.F.: Applied Imagination. Principles and procedures of creative problem-solving. Charles Scribner's Sons (1953)
51. Oxley, N.L., Dzindolet, M.T., Paulus, P.B.: The effects of facilitators on the performance of brainstorming groups. *Journal of Social Behavior and Personality* 11(4), 633–646 (1996)
52. Parnes, S.J., Meadow, A.: Effects of "brainstorming" instructions on creative problem solving by trained and untrained subjects. *Journal of Educational Psychology* 80(4), 171–176 (1959)
53. Paulus, P.B., Dzindolet, M.T.: Social influence processes in group brainstorming. *Journal of Personality and Social Psychology* 64(4), 575–586 (1993)
54. Paulus, P.B., Nakui, T., Putman, V.L., Brown, V.R.: Effects of task instructions and brief breaks on brainstorming. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice* 10(3), 206–219 (2006)
55. Rist, T., André, E., Baldes, S., Gebhard, P., Klesen, M., Kipp, M., Rist, P., Schmitt, M.: A review of the development of embodied presentation agents and their application fields. In: Prendinger, H., Ishizuka, M. (eds.) Life-Like Characters: Tools, Affective Functions, and Applications, pp. 377–404. Springer, Heidelberg (2003)
56. Rothenberg, A.: Creativity: Complex and healthy. *Psychological Inquiry* 4(3), 217–221 (1993)
57. Rousseau, D., Hayes-Roth, B.: A social-psychological model for synthetic actors. *International Conference on Autonomous Agents*, pp. 165–172. ACM Press, New York, USA (1998)

58. Roy, M.C., Gauvin, S., Limayem, M.: Electronic group brainstorming: The role of feedback on productivity. *Small Group Research* 27, 215–247 (1996)
59. Ryokai, K., Vaucelle, C., Cassell, J.: Virtual peers as partners in storytelling and literacy learning. *Journal of Computer Assisted Learning* 19, 195–208 (2003)
60. Sandecock, J., Padgham, L., Zambetta, F.: Creating adaptive and individual personalities in many characters without hand-crafting behaviors. In: Gratch, J., Young, M., Aylett, R., Ballin, D., Olivier, P. (eds.) IVA 2006. LNCS (LNAI), vol. 4133, pp. 357–368. Springer, Heidelberg (2006)
61. Shneiderman, B.: Creating creativity: User interfaces for supporting innovation. *ACM Transactions On Computer-Human Interaction (TOCHI)* 7, 114–138 (2000)
62. Shneiderman, B., Fischer, G., Czerwinski, M., Resnick, M., Myers, B.: Creativity support tools: Report from a U.S. National Science Foundation sponsored workshop. *International Journal of Human-Computer Interaction* 20, 61–77 (2006)
63. Sternberg, R.J.: *Handbook of Creativity*. Cambridge University Press, Cambridge (1998)
64. Trappl, R., Petta, P.: Creating personalities for synthetic actors. Towards autonomous personality agents. Springer, New York (1997)
65. Turner, W.M., Rains, J.D.: Differential effects of "brainstorming" instructions upon high and low creative subjects. *Psychological Reports* 17, 753–754 (1965)
66. Valacich, J.S., Dennis, A.R., Connolly, T.: Idea generation in computer-based groups: A new ending to an old story. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 57, 448–467 (1994)
67. Van Mulken, S., André, E., Müller, J.: The persona effect: How substantial is it? In: HCI'98 International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 53–66. Springer, Heidelberg (1998)
68. VanGundy, A.B.: 101 activities for teaching creativity and problem solving. John Wiley & Sons, Inc, Chichester (2005)
69. Vinayagamoorthy, V., Gillies, M., Steed, A., Tangy, E., Pan, X., Loscos, C., Slater, M.: Building expression into virtual characters. In: Eurographics Conference, State of the Art Reports (2006)
70. Wallgren, M.K.: Reported practices of creative problem solving facilitators. *Journal of Creative Behavior* 32, 135–148 (1998)
71. Weisskopf-Joelson, E., Eliseo, T.S.: An experimental study of the effectiveness of brainstorming. *Journal of Applied Psychology* 45(1), 45–49 (1961)



The effects of speech–gesture cooperation in animated agents’ behavior in multimedia presentations

Stéphanie Buisine ^{a,*}, Jean-Claude Martin ^{b,c}

^a Ecole Nationale Supérieure d’Arts et Métiers, 151 boulevard de l’Hôpital, 75013 Paris, France

^b LIMSI-CNRS, BP 133, 91403 Orsay Cedex, France

^c LINC-IUT de Montreuil, 140 rue de la Nouvelle France, 93100 Montreuil, France

Received 31 July 2006; received in revised form 13 April 2007; accepted 18 April 2007

Available online 18 May 2007

Abstract

Until now, research on arrangement of verbal and non-verbal information in multimedia presentations has not considered multimodal behavior of animated agents. In this paper, we will present an experiment exploring the effects of different types of speech–gesture cooperation in agents’ behavior: redundancy (gestures duplicate pieces of information conveyed by speech), complementarity (distribution of information across speech and gestures) and a control condition in which gesture does not convey semantic information. Using a Latin-square design, these strategies were attributed to agents of different appearances to present different objects. Fifty-four male and 54 female users attended three short presentations performed by the agents, recalled the content of presentations and evaluated both the presentations and the agents. Although speech–gesture cooperation was not consciously perceived, it proved to influence users’ recall performance and subjective evaluations: redundancy increased verbal information recall, ratings of the quality of explanation, and expressiveness of agents. Redundancy also resulted in higher likeability scores for the agents and a more positive perception of their personality. Users’ gender had no influence on this set of results.

© 2007 Published by Elsevier B.V.

Keywords: Embodied conversational agents; Multimodal behavior; Redundancy; Experimental evaluation

1. Introduction

Multimedia education is one of the primary application fields for embodied conversational agents. These virtual characters are used to present the educational material, answer users’ questions and give feedback about their progression. They are also expected to increase entertainment and motivation in the learning process (Johnson et al., 2000, 2003; Lester et al., 1999a; Stone and Lester, 1996) and a recent research topic especially focuses on social mechanisms, such as politeness, arising from human-agent interaction (Johnson et al., 2005; Krämer, 2005). Embodied conversational agents in pedagogical-like applications

were actually shown to increase perceived easiness and entertainment (Van Mulken et al., 1998), to increase learning transfer and interest ratings (Moreno et al., 2001), and sometimes to increase memorization (Beun et al., 2003) in comparison with equivalent systems with no agent.

Because they are visually embodied and use speech synthesis, animated agents can partly behave like a teacher in the classroom, i.e. they can support or illustrate their verbal explanations with hand gestures. For example, they can point to the educational material or depict particular properties of objects or ideas, like shapes, sizes, or spatial relationships. McNeill (1992) has identified four types of gestures that speakers routinely use when they talk: (1) deictic or pointing gestures indicating entities in the conversational space; (2) iconic gestures that capture concrete aspects of the semantic content of speech (e.g. shape, size); (3) metaphoric gestures capturing abstract aspects of the

* Corresponding author. Tel.: +33 1 44 24 63 77; fax: +33 1 44 24 63 59.

E-mail addresses: stephanie.buisine@paris.ensam.fr (S. Buisine), martin@limsi.fr (J.-C. Martin).

semantic content (e.g. uncertainty); and (4) beat gestures that accompany the rhythm of speech independently of the semantic content. In tutors' behavior some of these spontaneous gestures can have an educative function: in a study investigating human teachers' multimodal behavior, Goldin-Meadow et al. (1999) showed that children understand a math lesson better when the teacher produces hand gestures matching the speech content than in conditions with no hand gesture.

From such a result we can assume that efficient pedagogical agents should display matching speech–gesture combinations. However, this recommendation is not sufficient to specify an agent's multimodal behavior, since speech and gestures can cooperate in different ways (see for example the types of cooperation listed by Knapp, 2002). In this paper, we present an in-depth study of the effects of two types of multimodal combinations in embodied agents' behavior. Our goal is to contribute to the field of pedagogical or presentation agents by providing insights for the design of multimodal behavior, and also to the field of multimodal output systems, by isolating the effects of different multimodal strategies on users.

We focus on two types of speech–gesture cooperation called redundancy and complementarity (cooperation also studied by Cassell and Prevost, 1996; Cassell et al., 2000). We define redundancy as a duplication of information in several modalities (e.g. verbal/pictorial, visual/auditory), and complementarity as the distribution of information across several modalities (the integration of modalities being necessary to understand the information). To illustrate these two types of speech–gesture cooperation, consider a history lesson about Hannibal's route of invasion: if the teacher says "Hannibal went from North Africa to Italy" and produces two deictic gestures on a map (one indicating North Africa, the other one indicating Italy), the gestures are considered *redundant* to the speech content (they duplicate the identification of countries mentioned by speech). Conversely, if the teacher says "Hannibal went from North Africa to there" and completes the utterance with a pointing gesture to Italy, the gesture is considered *complementary*. The listener has to integrate both modalities to get the full message. The same reasoning applies to iconic gestures: if the initial utterance is accompanied by an iconic gesture showing the land route from North Africa to Italy, the gesture is considered *complementary* to the speech content because it conveys a new piece of information (Hannibal went by land and not by sea). If the teacher details the route verbally ("through Spain...") and uses the same iconic gesture, the latter becomes *redundant* to the speech content. With such examples in mind, our initial research question was the following: in a pedagogical context, which one of the two strategies, the redundant or the complementary, would be the more efficient? Which one would be preferred by tutees? Although the study by Goldin-Meadow et al. (1999) provides empirical evidence of the role of gestures in education, it did not investigate the respective effects of redundant and comple-

mentary gestures. Indeed, Goldin-Meadow's concept of matching gestures (Goldin-Meadow, 1999; Goldin-Meadow et al., 1999) includes both redundant and complementary gestures, while mismatches are gestures conflicting with speech. Likewise, Cassell et al. (1999) compared the effects of matching and mismatching speech–gesture combinations on the listener's memorization but without examining the differences between redundant and complementary matching combinations.

Some embodied pedagogical systems such as AutoTutor (Graesser et al., 2005) include an agent who is not embedded in the learning environment and comments the educational material from a separate window. In a similar situation (agent unable to move about and producing deictic gestures from a distance), Craig et al. (2002) showed that the agent's redundant pointing gestures had no effect on the learning performance in comparison to a condition with no agent. Therefore the gestures might have an influence on the learning process only when the agent is embedded in the learning environment and can designate the illustrative items unambiguously. Some of the existing systems in this category are typically implemented to produce complementary speech–gesture combinations. For example, the Cosmo agent (Lester et al., 1999b), who teaches Internet packet routing, is capable of pointing unambiguously to an item in his environment while giving a verbal explanation about it. In this case, a module called the deictic planner manages the use of the appropriate demonstrative (this, these, that, those) in order to optimize the speech content. As a result, Cosmo produces multimodal utterances such as "this router has more traffic" with a coordinated deictic gesture. Here, speech and gesture cooperate by complementarity because each modality conveys a specific piece of information and the listener has to integrate the modalities to understand the message (the router concerned can be identified only by gesture). Cooperation by complementarity allows the amount of information given by each modality to be reduced: the Rea agent (Cassell, 2001) is another example of an implementation optimizing the distribution of meaning across speech and gestures. When Rea talks about an object, she can describe some of its features by hand gestures (e.g. shape or size) without mentioning them by speech. Conversely, the Steve agent (Rickel and Johnson, 1999), who teaches procedural tasks with complicated machinery, tends to use speech–gesture redundancy. One typical example of Steve's multimodal utterance, is "open cut-out valve 3" accompanied by a pointing gesture to this particular valve. In this example, the valve can be identified by speech alone and by gesture alone. Therefore we can consider that the gesture is redundant to the speech. Finally, other systems such as Max (Kopp et al., 2005) generate the gestures in accordance with the availability of each modality, the postural context, and a part of random choice. We assume that such a strategy results in a mix of complementary and redundant gestures. All these systems were repeatedly user-tested and proved to be efficient, but the effects of redundant and

complementary speech–gesture cooperation were never tested.

In short, the effects of speech–gesture cooperation in a learning context seem to have never been investigated, either with human tutors or with embodied conversational agents. Yet the effects of other kinds of redundancy in multimedia learning have been previously discussed, for example redundancy between text and image. Tutors' gestures are not analogous to pictures for multiple reasons: in our previous examples gestures do not replace images since pictorial or visual material is always used to support the verbal discourse. Gestures provide a new intermediate communicative modality between speech and image: they can be used to integrate speech and image (e.g. deictic gestures towards the image synchronized to relevant verbal information) or they can provide visual information closely integrated to speech (because they come from the same source – the agent – and they are temporally synchronized with the speech content). However, without confusing image and gestures, we can nonetheless examine previous results on multimedia redundancy to see what they suggest about the effects of speech–gesture cooperation. The first step is to identify possible media combinations, since the effects of redundancy depend on the media involved (for reviews, see Le Bohec and Jamet, 2005; Moreno and Mayer, 2002). Verbal redundancy, which involves presenting simultaneously written and auditory forms of the same text, is known to enhance memorization. Redundancy between an auditory text (auditory-verbal material) and an image (visual-non-verbal material) also facilitates learning. However, according to the cognitive load theory (Kalyuga et al., 1999), redundancy between written text (visual-verbal material) and image (visual-non-verbal material) leads to split attention and thus disturbs learning (see also Dubois et al., 2003). As speech conveys auditory-verbal material and gesture conveys visual-non-verbal material, the previous set of results suggests that, compared to a control condition with no gestures, speech–gesture redundancy facilitates learning. However, neither the cognitive load theory (Kalyuga et al., 1999) nor the dual-processing model of working memory (Moreno and Mayer, 2002) enable the effects of complementarity (speech and gesture both bring part of the message) to be predicted: this strategy relates speech and graphic material better (by means of deictic and iconic gestures) than the control condition; it also reduces the total amount of information compared to redundancy (no duplication); however, it may require an additional effort to integrate auditory-verbal and visual-non-verbal material into a single mental representation.

The following experiment was designed to study the effects of speech–gesture cooperation of animated agents in a learning context supported by images. To this end, we will test the following strategies: redundancy between speech and gesture, complementarity, and a control condition in which gesture does not convey semantic information. We did not implement a control condition with no

agent (replacing him with e.g. an arrow pointing to the image, synchronized to the verbal discourse) because similar situations were previously tested (Beun et al., 2003; Moreno et al., 2001; Van Mulken et al., 1998) and showed that even with limited or no functionality, animated agents are useful in pedagogical applications (at least they improve subjective experience). We chose to focus on our research goal which is the comparison of agent's multimodal strategies. We will investigate the effects of these strategies on the memorization of the verbal content of presentations (cued written recall of agents' discourse), and on the memorization of the visual material (graphic recall of the images presented). As male and female subjects sometimes use different cognitive strategies, with visual-spatial vs. auditory-verbal proneness for males and females, respectively (Kimura, 1999), we will also explore the effects of users' gender on the results. In addition, we are interested in evaluating the effects of speech–gesture cooperation on subjective perception of the tutees: quality of presentation, likeability, expressiveness and perceived personality of the animated agent. Personality being a collection of emotional, thought and behavioral patterns unique to a person, it appears necessary to involve several agents in the experiment in order to test whether speech–gesture cooperation has a consistent effect on perceived personality, whatever the agent's appearance (a Latin-square design can be used to cross agents' appearance and speech–gesture cooperation). In the event of such a phenomenon appearing, we also wish to determine whether it relies on a conscious or an unconscious process, i.e. whether users consciously perceive the differences in speech–gesture strategies and base their judgments on them.

The present experiment was designed on the basis of a preliminary test with 18 users (Buisine et al., 2004) which enabled us to adjust agents' behavior (e.g. avoid some gestures such as crossing the arms which were negatively perceived), develop more accurate performance indices (cued written recall and graphic recall) and additional subjective indices (perception of agents' personality).

2. Method

2.1. Participants

One hundred and eight students from an undergraduate psychology institute at the University of Paris V participated in the experiment. There were 54 male students (mean age = 26.7 years, SD = 9.2, 18- to 53-years-old) and 54 female students (mean age = 23.1 years, SD = 5.6, 18- to 51-years-old).

2.2. Materials

To enable a within-user design, the three types of cooperation (redundancy, complementarity, control condition) given to agents of varying appearance were applied to the

presentation of different objects. We used 2D cartoon-like Limsi Embodied Agents (Abrilian et al., 2002): one female agent and two male agents, namely Lea, Marco and Jules. As we needed to control the parameters of their behavior fully, the agents were not interactive for this experiment – in this respect they can be called presentation agents as defined by André et al. (1999). They appeared in front of a whiteboard and made short technical presentations associated with an image displayed on the whiteboard.

The objects presented by the agents were a video-editing software program, a video-projector remote control and a photocopier. The main difficulties were ambiguities related to the position, the color and the shape of keys and/or menu items of the three objects. Hence these objects were particularly relevant to studying multimodal spatial references. They also have similar functional behaviors, and the preliminary test (Buisine et al., 2004) suggested that they were equivalent in complexity. The explanations concerned the identification of 10 buttons or menu items of each object, and a description of their function. They were equivalent in duration for the three objects (75 s for redundant and control conditions, 60 s for the complementary condition).

Multimodal agents' behavior was manually specified using a low-level XML language. The same scripts were used for the three appearances in order to ensure independence between agents' behavior and their appearance. The three types of speech–gesture cooperation were generated as follows:

- **Redundancy:** The agent described or referred to every button/menu item both by speech and arm gesture (see Fig. 1 upper window). In speech, absolute localization of items (e.g. “on the top left side”) was used whenever possible; otherwise the agent used relative localization (e.g. “just below, you will find...”). The agent also verbalized shape, color and size of items whenever it was a discriminating feature. Regarding hand and arm gestures, the agent displayed shape and size via iconic gestures (with both hands) when possible. A deictic gesture was used for every object. Finger or palm hand shape was selected according to the precision required (size of the item to be designated). When necessary, preceding a deictic gesture, the agent moved closer to the target item. S/he also glanced at target items for 0.4 s at the beginning of every deictic gesture. Non-semantic gestures (i.e. not related to any object of the lesson) were inserted in order to obtain natural-looking animation: beat gestures (which have a syntactic rather than a semantic function), self-centered gestures, etc. In total, redundant scenarios included 14 semantic gestures and 23 non-semantic arm gestures. Strokes of all gestures were placed manually during agents' speech.
- **Complementarity:** Half of the semantic gestures from redundant scenarios (deictic gestures towards the image or iconic gestures) were selected to create complementary scenarios. The information they conveyed

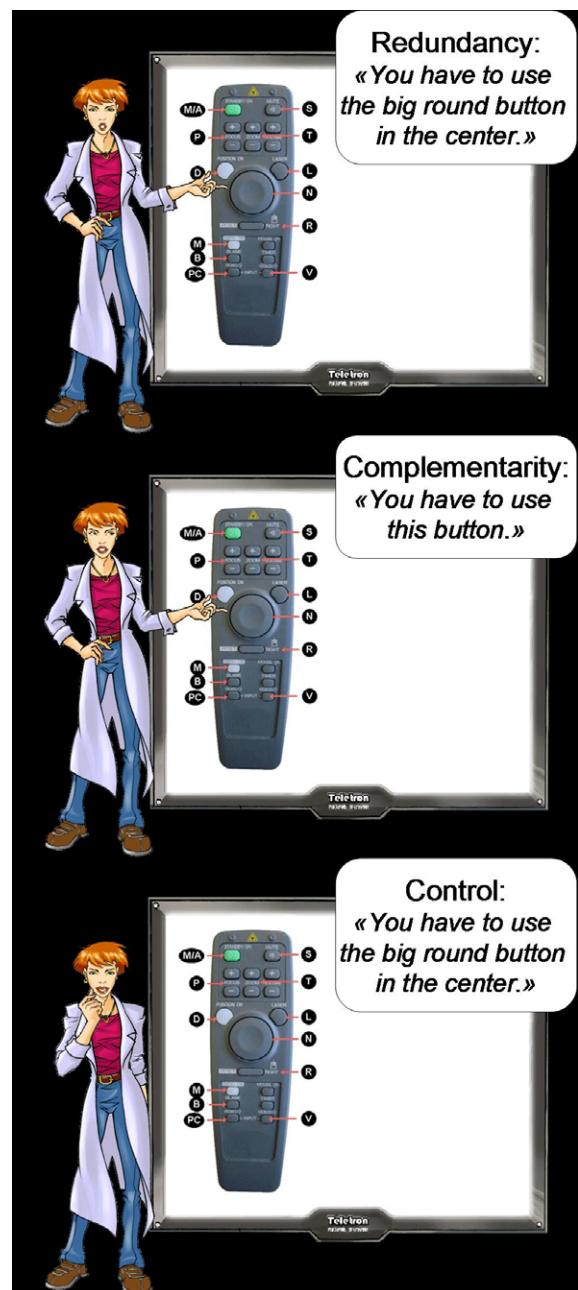


Fig. 1. Each agent (the female agent Lea in this screenshot) was tested with the three types of speech–gesture cooperation: redundant (upper window), complementary (middle window) and control (lower window).

(identification of items, shape, or size) was removed from speech. Non-verbal behavior of agents was completed by non-semantic gestures. We thus ensured that information conveyed by gesture was not duplicated in speech and information conveyed by speech was not duplicated in gesture (see Fig. 1 middle window). The agent moved closer to the target item when necessary and glanced at it for 0.4 s at the beginning of every deictic gesture. Complementary scenarios included 7 semantic gestures and 30 non-semantic gestures.

– *Control condition*: The speech content was the same as in redundant scenarios (describing localization, shape, color, size of items), and non-semantic gestures were used throughout the presentation (see Fig. 1 lower window).

The rate of semantic gestures (deictic or iconic) among arm/hand movements was maximal in redundant scenarios (14/37), intermediate in complementary scenarios (7/37), and non-existent in control scenarios (0/37), but the total number of gestures was the same in the three conditions. Animation features that were common to all scenarios included lip movements, periodic eye blinks, and eyebrow movements appropriately inserted for the animation to be perceived as natural. We used IBM ViaVoice for speech synthesis with voice intonation set to neutral. The experiment was conducted in French.

2.3. Design

Combinations between agents' appearance, speech–gesture cooperation and content of presentation were determined by means of a repeated-measurement Latin-square design (Myers, 1979): such a design enables the three variables to be investigated with less expenditure of time (each user saw three presentations, see Table 1) than complete factorial designs would involve (27 presentations). It also removes some sources of variance such as repetition effects. Male and female users were paired across these combinations.

2.4. Procedure and data collection

Users were instructed to watch three short multimedia presentations carefully and were informed that they would have to recall the content of the three presentations afterwards. The presentations were displayed on a 17 in. computer screen, 1024 * 768 resolution, with loudspeakers for speech synthesis.

After the presentations, the data collection consisted of:

- *Graphic recall*: Users had to draw the three objects from memory. Although rarely used, this method of measuring performance seemed interesting to assess the memorization of visual material.
- *Cued written recall*: Users were provided with the images used for the presentations and had to recall the verbal explanation given by the agents.
- A questionnaire in which users had to evaluate the presentations and the agents according to several criteria: the quality of presentations (ranking of the three presentations), the likeability of agents (ranking of the three agents) and their expressiveness (ranking of the agents). We also included in the questionnaire an open question about agents' personality in order to test whether speech–gesture cooperation and/or agents' appearance influenced the perception of agents' personality. In all the questions users were invited to explain their judgment criteria (e.g. what feature they based their ranking of agents' likeability on) and were particularly prompted to make explicit their observations about the way each agent gave explanations.

2.5. Data analysis

Graphic recall was initially evaluated on a 15-point grid for each object: 3 points for the representation of global features such as general shape and the most meaningful components of the object; 10 points for the representation (not necessarily the exact position) of specific items commented on during the explanation; 2 points for the representation of additional items not commented on in the explanation. The cued written recall was evaluated on a 30-point grid: for each one of the 10 specific items commented on, the user was attributed 1 point if s/he mentioned it, 2 points if s/he mentioned it and approximately recalled its function, 3

Table 1
The Latin-square design used for the experiment

	<i>Lea</i>		<i>Marco</i>		<i>Jules</i>	
A	Redundancy	[RC]	Complementarity	[VS]	Control	[P]
B	Complementarity	[P]	Control	[RC]	Redundancy	[VS]
C	Control	[VS]	Redundancy	[P]	Complementarity	[RC]
	<i>Marco</i>		<i>Jules</i>		<i>Lea</i>	
D	Redundancy	[RC]	Complementarity	[VS]	Control	[P]
E	Complementarity	[P]	Control	[RC]	Redundancy	[VS]
F	Control	[VS]	Redundancy	[P]	Complementarity	[RC]
	<i>Jules</i>		<i>Lea</i>		<i>Marco</i>	
G	Redundancy	[RC]	Complementarity	[VS]	Control	[P]
H	Complementarity	[P]	Control	[RC]	Redundancy	[VS]
I	Control	[VS]	Redundancy	[P]	Complementarity	[RC]

Each user was allocated to a group (A–I) and followed the three experimental conditions of the corresponding row (in this order). The agent performing each condition is indicated in italics as column title (Lea, Marco, Jules); the speech–gesture cooperation and the object presented (in square brackets: RC for remote control, P for photocopier, VS for video software) are indicated in each cell. The user's gender was balanced in each group (A–I).

points if s/he used the same wording as in the agent's explanation. Finally, these two measures of performance (graphic and written recall) were expressed as percentages.

Rankings of presentations and agents according to the subjective variables were converted into scores (from 0 to 2; e.g. the first rank in likeability became a 2-point score in likeability). This data (graphic recall, cued written recall, quality of presentation, likeability of agents and expressiveness) were submitted to analysis of variance with user's gender as the between-user factor. For each dependent variable, the analysis was successively performed using speech–gesture cooperation and agents' appearance as within-user factors. By way of control, the effects of the objects were also tested. Post-hoc comparisons were performed by means of Fisher's LSD. We also examined relations between dependent variables by means of a linear correlation analysis. Words used to describe personality were merely classified as positive (e.g. nice, competent, serious, open, enthusiastic, clever, cool, funny), negative (e.g. cold, inexpressive, strict, unconcerned) or neutral (e.g. standard, technical, discreet). The distribution of these three categories as a function of speech–gesture cooperation and agent's appearance was studied using a Chi-square analysis. All the analyses were performed with SPSS software.

Finally, qualitative data about judgment criteria was categorized into nine ad-hoc dimensions and were analyzed descriptively.

3. Results

Table 2 summarizes the mean scores and standard deviations of all numerical dependent variables. Speech–gesture cooperation was proved to influence the cued written recall significantly ($F(2,212) = 12.04, p < .001$), with redundancy leading to a better recall than complementarity ($p < .001$), and control condition ($p < .001$). The difference between complementarity and control condition is not significant. Speech–gesture cooperation had no effect on graphic recall,

but its main effect on subjective ratings of quality of explanation was significant ($F(2,212) = 12.01, p < .001$), with redundancy yielding a better evaluation than complementarity ($p = .001$) and control condition ($p < .001$), and no significant difference between complementarity and control condition. Speech–gesture cooperation also influenced the likeability ratings of agents ($F(2,212) = 6.34, p = .002$), with once again the same pattern: redundancy made agents more likeable than complementarity ($p = .001$) and control condition ($p = .014$), with no significant difference between complementarity and control condition. Finally, the effect of speech–gesture cooperation on the evaluation of expressiveness was also significant ($F(2,212) = 6.49, p = .002$). Redundant agents were judged as more expressive than complementary ($p = .052$) and control ones ($p < .001$), complementary and control agents being not significantly different. The influence of the user's gender was tested in each of the previous calculations, and no significant effect appeared in any case.

Regarding the influence of agents' appearance, the only significant effect arose on ratings of agents' likeability ($F(2,212) = 3.17, p = .044$). Marco appeared to be more likeable than Lea ($p = .024$) and Jules ($p = .035$). Likeability score of Lea and Jules did not significantly differ, and once again, the user's gender had no significant effect.

The object is the only variable that influenced graphic recall ($F(2,212) = 42.13, p < .001$): the remote control was better recalled than the software ($p < .001$) and the photocopier ($p < .001$), with no difference between the software and the photocopier. There was also a main effect of object on cued written recall ($F(2,212) = 4.04, p = .019$): the remote control was better recalled than the software ($p = .044$) and the photocopier ($p = .002$). Likewise, the object influenced quality of explanation ratings ($F(2,212) = 11.39, p < .001$): explanations concerning the remote control obtained better evaluations than those concerning the software ($p < .001$) or the photocopier ($p < .001$), with no significant difference between the

Table 2

Means and standard deviations for each speech–gesture cooperation, agent-appearance and object condition for graphic recall, written cued recall, ratings of quality of explanation, ratings of agents' likeability and ratings of agents' expressiveness

Condition	Graphic recall		Cued written recall		Quality of explanation		Agent's likeability		Agent's expressiveness	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
<i>Speech–gesture cooperation</i>										
Redundancy	50.3	20.1	48.7**	19.7	1.4**	0.7	1.3*	0.7	1.3*	0.8
Complementarity	50.9	23.1	41.2	18.8	0.9	0.8	0.8	0.8	1	0.8
Control condition	48.3	23.3	40.7	20.7	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8
<i>Agent appearance</i>										
Marco	51.2	22.7	44.4	20.9	1.1	0.8	1.2*	0.8	1.1	0.8
Lea	49.2	21.3	43.6	19.3	1	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8
Jules	49	22.6	42.6	20	1	0.9	0.9	0.9	1	0.9
<i>Object</i>										
Remote control	60.8**	16.4	46.6*	17.6	1.4**	0.8	1.2	0.8	1	0.8
Video software	45.4	24	42.6	23.1	0.9	0.8	1.1	0.8	1	0.8
Photocopier	43.2	21.3	41.5	18.7	0.8	0.8	0.8*	0.8	1	0.8

The values in bold font are significantly different from those in the same column, * $p < .05$; ** $p < .01$.

software and the photocopier. Finally, there was a significant effect of objects on likeability scores of agents ($F(2, 212) = 4.08, p = .018$): agents presenting the photocopier were less likeable than those who presented the remote control ($p = .005$) or the software ($p = .045$), with no significant difference between agents presenting the remote control and the software.

Table 3 presents the results of the linear correlation analysis between the five numerical dependent variables (graphic recall, cued written recall, quality of presentation, likeability of agents and expressiveness). Overall the correlation coefficients appear to be rather weak, but they nonetheless show a correlation between the graphic and the cued written recall ($r = 0.581, p < .01$), and a correlation between the quality of presentation and the likeability of agents ($r = 0.405, p < .01$).

Regarding the user's perception of the agents' personality, 56.8% of descriptive words fell into the positive category, 29.3% into the negative category, and 8.3% into the neutral category (5.6% of personality questions were not answered). **Table 4** presents the distribution of categories as a function of speech–gesture cooperation and agents' appearance. Speech–gesture cooperation was proved to influence personality perception significantly ($\chi^2(6) = 13.46, p = .036$): **Table 4** shows that redundant agents were judged more positively than complementary and control agents. Conversely, agents' appearance did not significantly influence the distribution of words used to describe personality ($\chi^2(6) = 5.52; \text{NS}$).

For the study of conscious judgment criteria, we established nine categories from the data elicited from the users: for example, users said they were influenced by the content of presentation (object, verbal discourse), agents' gestures, look (clothes, hair dressing, accessories such as glasses...), facial expressions (in particular smiles), agents' voice, etc. **Table 5** details the judgment criteria that users put forward for the evaluation of the quality of presentation, the likeability of agents, their expressivity and personality.

Finally, we analyzed the answers to the question: "Did you notice any difference in the way the agents made their presentation?" Many users responded by emphasizing the content of presentations (object, vocabulary...). Non-verbal behavior was also widely discussed: 15% of users mentioned that some agents moved to the whiteboard to point to the picture; 31% of users said they noticed a difference in the gestures made by the agents. Finally, 2% of users expressed the notion of cooperation between speech and gesture, even if they did not use the words redundancy and complementarity.

4. Discussion

The primary purpose of this experiment was to test whether speech–gesture cooperation (redundancy, complementarity) influences learning and subjective evaluations of users. In this respect, our results clearly show the advantages of the redundant strategy in the context we set up. Multimodal redundancy improved recall of the verbal content

Table 3
Bivariate correlation coefficients between graphic recall, cued written recall, quality of explanation ratings, agents' likeability ratings and agents' expressiveness ratings

Dependent variables	Graphic recall	Cued written recall	Quality of explanation	Agents' likeability
Graphic recall				
Cued written recall	0.581**			
Quality of explanation	0.197**	0.205**		
Agents' likeability	0.051	0.118*	0.405**	
Agents' expressiveness	0.021	0.100	0.361**	0.395**

* $p < .05$; ** $p < .01$.

Table 4
Number of positive, neutral and negative words used to describe personality for each speech–gesture cooperation and agent-appearance condition

Condition	Positive	Neutral	Negative	No answer	Total
<i>Speech–gesture cooperation</i>					
Redundancy	75*	7	19*	7	108
Complementarity	54	9	39	6	108
Control condition	55	11	37	5	108
Total	184	27	95	18	324
<i>Agent appearance</i>					
Marco	68	11	24	5	108
Lea	57	7	38	6	108
Jules	59	9	33	7	108
Total	184	27	95	18	324

The values in bold font are significantly different from those in the same column, * $p < .05$.

Table 5

Percentages of judgment criteria elicited from users for their assessment of quality of explanation, likeability of agents, expressivity and personality

Judgment criteria	Quality of explanation (%)	Likeability (%)	Expressivity (%)	Personality (%)
Content of presentation	62	20	11	24
Agents' appearance	0	15	10	12
Agents' gender	3	9	6	2
Agents' look	1	21	9	27
Agents' voice	8	12	10	12
Agents' facial expressions	0	15	15	13
Agents' gestures	21	6	33	5
Agents' locomotion	4	2	6	5
Speech–gesture cooperation	1	0	0	0

of presentations, evaluations of quality of presentation, likeability, expressiveness and personality of agents.

Redundancy influenced verbal but not graphic recall: we can thus hypothesize that users paid sufficient attention to the images on the whiteboard whatever the agents' strategy, and that redundancy helped users in encoding verbal information (identification of items and functionalities) and/or in relating the verbal discourse to the visual material (attribution of functionalities to the proper items). Overall, redundancy yielded a relative increase of 19% of verbal information recalled (49% of information recalled with redundancy vs. 41% on average for complementarity and control condition).

Our data showed no difference between complementary and control conditions. The absence of effect of complementarity was not so predictable because this strategy has the advantage of relating speech and graphic material better than the control condition and reducing the total amount of information – in our experiment we achieved a 20% decrease in the time needed to present a scenario with a complementary strategy (see Fig. 1 to illustrate this decrease). On the contrary, the literature on redundancy in education made predictable the benefit of multimodal redundancy on verbal recall, and perhaps also its benefit on subjective ratings of quality of explanation, in comparison to the control condition. However, our experiment also showed some original findings that previous literature could not have anticipated: multimodal redundancy may improve the social perception of animated agents, since agents with redundant behavior appeared more likeable and their personality more positive. One could hypothesize that redundant agents were rated as more likeable just because they enabled the users to increase their memorization (and not because of their speech–gesture cooperation strategy). The linear correlation analysis between our numerical dependent variables (Table 3) contradicts such a hypothesis since it showed that likeability was not related to written recall. However, likeability appeared to be correlated with quality of explanation: to investigate whether high ratings of likeability were due to multimodal redundancy or to perceived quality of explanation, it would be interesting to design a control condition in which quality of explanation would not be so important to the user (e.g. in a conversational context).

Multimodal redundancy was shown to increase the ratings of quality of explanation, likeability and expressiveness. However, this does not mean that users consciously perceived speech–gesture cooperation. Indeed, most users perceived differences in agents' gestural behavior, but nothing in their comments suggests that they perceived a difference between redundancy and complementarity. Such a result is consistent with the classic view that a speaker's non-verbal behavior usually remains at the periphery of the listener's attentional field (Rimé and Schiavatura, 1991). Only two users in our experiment explicitly verbalized the notion of speech–gesture cooperation, and only one of them said she based her evaluation of quality of explanation on this feature. This set of results has two implications: users are influenced by features they do not perceive and users think they are influenced by features which are actually neutralized (e.g. many users mentioned the influence of agents' voice, although Marco and Jules had the same voice and Lea's scores did not significantly differ from Jules' ones in any variable). Both of these kinds of variables must be taken into account in agent system design and carefully controlled: variables that were shown to modify users' performance and subjective attitude (e.g. speech–gesture cooperation), as well as variables claimed as important by users, even if they are not (e.g. agents' look and voice).

The only variable actually influenced by agents' appearance was likeability: Marco, whatever his speech–gesture strategy, was significantly preferred to Lea and Jules. It is important to understand why this agent had higher likeability scores in order to learn lessons for future agent design. The study of qualitative comments elicited from the users showed that a key feature for Marco's likeability was his wide smile. Fig. 2 presents the three agents with their maximum smiling face: we can see that Marco's smile was designed broader than those of Lea and Jules, and many users said they appreciated it.

Another important feature of agent's likeability is his/her look, as mentioned in previous empirical research (McBreen et al., 2001), in this respect, Lea's white coat yielded contradictory comments: some users found her more pleasant and more serious because of her coat; others found her too strict. Finally, Jules' glasses seemed to penalize him: they were perceived negatively by most of the users, maybe because his eyes were not so visible through the glasses.



Fig. 2. Marco (left), Lea (middle) and Jules (right) with their maximum smiling face.

Users' gender had no significant effect in any of the previous results (performance data and subjective evaluation). This is a positive finding which suggests that it may be possible to design a single agent system suitable for both male and female users. However, this absence of influence of users' gender (like all our results in general) has to be validated in other age groups, in particular with educational applications intended for children. Cultural influences should also be addressed, since they are likely to modify users' preferences for agents' appearance (Cowell and Stanney, 2003) and more generally their perception of speech and gestures (Johnson et al., 2005; Knapp, 2002). The present study, mainly conducted with Europeans, would have to be replicated with people from other ethnic origins to strengthen or complement the results.

Finally, contrary to the results of a preliminary test (Buisine et al., 2004), we observed important effects of the object in this experiment (on graphic and written recall, quality of presentation and likeability of agents). In this experiment our goal was to neutralize the object in order to study the effect of speech–gesture cooperation in an unbiased way. However, it should be pointed out that the strong influence of speech–gesture cooperation arose in spite of this bias: we observed the benefits of redundancy when the presentations were not equivalent.

5. Conclusion

To summarize, we obtained a consistent corpus of results in which speech–gesture redundancy proved to increase the recall of verbal information, the subjective ratings of quality of explanation, the expressiveness of agents, their likeability and their personality. Complementary and control conditions did not significantly differ in the data we collected: of course, the introduction of unambiguous pointing gestures and iconic gestures in animated agents' behavior remains an important technical improvement, but to transfer this improvement to the cognitive side of interaction, gestures have to support speech in a redundant manner. Complementarity enables the amount of information conveyed by each modality to be decreased, but in a learning context it may not improve information recall or subjective evaluation of the situation.

In an extension to the present study we should address the naturalness of agents' behavior when it is based on a single multimodal strategy. Human spontaneous behavior

being normally composed of several strategies mixed together (Cassell et al., 2000), we could compare the effects of an optimized behavioral strategy (redundancy between speech and gesture) vs. a natural one (mix of redundant and complementary behaviors). Although we had no negative comments from users about speech–gesture redundancy, and further assume that it was not consciously perceived, a more natural strategy could appear to be preferred, especially in long-term interaction.

As a secondary result, our experiment provided a few indications for the graphic design of animated agents. For example our results showed that a cartoon-like wide smile, although unrealistic, is an important feature for likeability of animated agents. This result can be related to Kohar and Ginn's recommendations (1997) according to which dramatized characters, because of the emotions they display, make better interface agents than more realistic and human-like characters. This recommendation is also applicable to pedagogical agents, because engagement and entertainment facilitate the learning process (Lester et al., 1999a).

Our agent experimental platform enabled us to highlight the effects of alternate multimodal strategies on a pedagogical-like situation. Similar experiment could be conducted with videotaped people instead of agents, but this would represent a much more costly and complex procedure, since it would involve training a tutor or an actor to accurately and consistently control her speech–gesture cooperation (which is normally an automatic and unconscious process). In conclusion, we should underline that our users were students: our findings can thus be applied to the design of presentation agents for students, e.g. for e-learning systems like the Adele agent (Johnson et al., 2003) or the AutoTutor system (Graesser et al., 2005). Our pattern of results would need a validation to be used for systems dedicated to children, but it nonetheless provides a strong hypothesis in favor of speech–gesture redundancy. Our experiment also raises the interesting question of whether the same hypothesis applies to human tutors' behavior and whether the use of speech–gesture redundancy can be recommended in the classroom.

Acknowledgements

This work was partly supported by the EU/HLT funded project NICE (IST-2001-35293). The authors thank

Marianne Najm, Fabien Bajeot and Marion Wolff (Paris-5 University) as well as Sarkis Abrilian and Christophe Rendu (LIMSI-CNRS) for their contribution.

References

- Abrilian, S., Buisine, S., Rendu, C., Martin, J.C., 2002. Specifying cooperation between modalities in lifelike animated agents. In: Proceedings of PRICAI'2002 Workshop on Lifelike Animated Agents Tools, Affective Functions, and Applications, pp. 3–8.
- André, E., Rist, T., Müller, J., 1999. Employing AI methods to control the behavior of animated interface agents. *Applied Artificial Intelligence* 13, 415–448.
- Beun, R.J., de Vos, E., Witteman, C., 2003. Embodied conversational agents: effects on memory performance and anthropomorphisation. In: Rist, T., Aylett, R., Ballin, D., Rickel, J. (Eds.), IVA'2003 International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNCS, vol. 2792. Springer, Berlin, pp. 315–319.
- Buisine, S., Abrilian, S., Martin, J.C., 2004. Evaluation of multimodal behaviour of embodied agents. In: Ruttkay, Z., Pelachaud, C. (Eds.), From Brows to Trust: Evaluating Embodied Conversational Agents. Kluwer Academic Publishers, pp. 217–238.
- Cassell, J., 2001. Embodied conversational agents: representation and intelligence in user interface. *AI Magazine* 22, 67–83.
- Cassell, J., McNeill, D., McCullough, K.E., 1999. Speech–gesture mismatches: evidence for one underlying representation of linguistic and non-linguistic information. *Pragmatics and Cognition* 7, 1–33.
- Cassell, J., Prevost, S., 1996. Distribution of semantic features across speech and gesture by humans and computers. In: Proceedings of Workshop on the Integration of Gesture in Language and Speech, pp. 253–270.
- Cassell, J., Stone, M., Yan, H., 2000. Coordination and context-dependence in the generation of embodied conversation. In: Proceedings of International Natural Language Generation Conference, pp. 171–178.
- Cowell, A.J., Stanney, K.M., 2003. Embodiment and interaction guidelines for designing credible, trustworthy ECAs. In: Rist, T., Aylett, R., Ballin, D., Rickel, J. (Eds.), IVA'2003 International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNCS, vol. 2792. Springer, Berlin, pp. 301–309.
- Craig, S.D., Gholson, B., Driscoll, D., 2002. Animated pedagogical agents in multimedia educational environments: effects of agent properties, picture features, and redundancy. *Journal of Educational Psychology* 94, 428–434.
- Dubois, V., Gyselinck, V., Choplin, H., 2003. Multimodalité et mémoire de travail [Multimodality and working memory]. In: Proceedings of EIAH'03 French-speaking conference on Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, pp. 187–198.
- Goldin-Meadow, S., 1999. The role of gesture in communication and thinking. *Trends in Cognitive Sciences* 3, 419–429.
- Goldin-Meadow, S., Kim, S., Singer, M., 1999. What the teacher's hands tell the student's mind about math. *Journal of Educational Psychology* 91, 720–730.
- Graesser, A.C., Chipman, P., Haynes, B.C., Olney, A., 2005. AutoTutor: an intelligent tutoring system with mixed-initiative dialogue. *IEEE Transactions in Education* 48, 612–618.
- Johnson, W.L., Mayer, R.E., André, E., Rehm, M., 2005. Cross-cultural evaluation of politeness in tactics for pedagogical agents. In: Looi, C.K., McCalla, G., Bredeweg, B., Breuker, J. (Eds.), AIED'05 International Conference on Artificial Intelligence in Education. IOS Press, Amsterdam, pp. 298–305.
- Johnson, W.L., Rickel, J., Lester, J., 2000. Animated pedagogical agents: face-to-face interaction in interactive learning environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education* 11, 47–78.
- Johnson, W.L., Shaw, E., Marshall, A., LaBore, C., 2003. Evolution of user interaction: the case of agent Adele. In: Proceedings of IUI'2003 International Conference on Intelligent User Interfaces. ACM Press, pp. 93–100.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Sweller, J., 1999. Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology* 13, 351–371.
- Kimura, D., 1999. Sex and Cognition. MIT Press, Cambridge.
- Knapp, M.L., 2002. Nonverbal communication in human interaction. Thomson Learning, Florence Wadsworth.
- Kohar, H., Ginn, I., 1997. Mediators: guides through online TV services. In: Proceedings of Demo Session in CHI'97 International Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM Press, pp. 38–39.
- Kopp, S., Gesellensteller, L., Krämer, N.C., Wachsmuth, I., 2005. A conversational agent as museum guide – design and evaluation of a real-world application. In: Panayiotopoulos, T., Gratch, J., Aylett, R., Ballin, D., Olivier, P., Rist, T., (Eds.), IVA'2005 International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNCS, vol. 3661. Springer, Berlin, pp. 329–343.
- Krämer, N.C., 2005. Social communicative effects of a virtual program guide. In: Panayiotopoulos, T., Gratch, J., Aylett, R., Ballin, D., Olivier, P., Rist, T. (Eds.), IVA'2005 International Conference on Intelligent Virtual Agents, LNCS, vol. 3661. Springer, Berlin, pp. 442–453.
- Le Bohec, O., Jamet, E., 2005. Les effets de redondance dans l'apprentissage à partir de documents multimédia [Redundancy effect and the multimedia learning process]. *Le Travail Humain* 68, 97–124.
- Lester, J., Towns, S., Fitzgerald, P., 1999a. Achieving affective impact: visual emotive communication in lifelike pedagogical agents. *International Journal of Artificial Intelligence in Education* 10, 278–291.
- Lester, J., Voerman, J., Towns, S., Callaway, C., 1999b. Deictic believability: coordinating gesture, locomotion, and speech in lifelike pedagogical agents. *Applied Artificial Intelligence* 13, 383–414.
- McBreen, H., Anderson, J., Jack, M., 2001. Evaluating 3D embodied conversational agents in contrasting VRML retail applications. In: Proceedings of International Conference on Autonomous Agents Workshop on Multimodal Communication and Context in Embodied Agents, pp. 83–87.
- McNeill, D., 1992. Hand and Mind. University of Chicago Press.
- Moreno, R., Mayer, R.E., 2002. Verbal redundancy in multimedia learning: when reading helps listening. *Journal of Educational Psychology* 94, 156–163.
- Moreno, R., Mayer, R.E., Spires, H., Lester, J., 2001. The case for social agency in computer-based teaching: do students learn more deeply when they interact with animated pedagogical agents?. *Cognition and Instruction* 19, 177–213.
- Myers, J.L., 1979. Fundamentals of Experimental Design, third ed. Allyn & Bacon, Inc., Boston.
- Rickel, J., Johnson, W.L., 1999. Animated agents for procedural training in virtual reality: perception, cognition, and motor control. *Applied Artificial Intelligence* 13, 343–382.
- Rimé, B., Schiariatura, L., 1991. Gesture and speech. In: Feldman, R.S., Rimé, B. (Eds.), Fundamentals of Nonverbal Behavior. Cambridge University Press, pp. 239–284.
- Stone, B., Lester, J., 1996. Dynamically sequencing an animated pedagogical agent. In: Proceedings of National Conference on Artificial Intelligence, pp. 424–431.
- Van Mulken, S., André, E., Müller, J., 1998. The persona effect: how substantial is it? In: Proceedings of HCI'98 International Conference on Human–Computer Interaction. Springer, pp. 53–66.



Anticipating the use of future things: Towards a framework for prospective use analysis in innovation design projects

^{Q3} Julien Nelson^{*}, Stéphanie Buisine, Améziane Aoussat

Arts et Métiers ParisTech, LCPI, 151 boulevard de l'hôpital, 75013 Paris, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 December 2009

Accepted 2 January 2013

Keywords:

Innovation design

Product use analysis

Prospective ergonomics

Creativity

ABSTRACT

Anticipation of future product use is a persistent issue in User-Centred Design. In this paper, we argue that one obstacle to early integration of use analysis in innovation design is overreliance on retrospective use analysis, i.e. that which is based on clear references to existing products or activities. In contrast, innovation design projects are full of uncertainty, leading to a need for prospective analysis. After having described some limitations of prospective use analysis, we contend that creativity tools may be used to assist the anticipation of future product use, by allowing designers to approach the variability of situations of future use in a structured manner rather than by "muddling through". We illustrate the expected benefits of this approach with two case studies, and describe some prospects for future research and practice in ergonomics.

© 2013 Published by Elsevier Ltd.

1. Introduction

User-Centred Design (UCD) refers to "*a multidisciplinary design approach based on active involvement of users to improve the understanding of user and task requirements*" (Mao et al., 2005). "Design" can be defined as a process by which *something unknown can intentionally emerge from what is known*. This implies the expansion of designers' knowledge and product concepts (Hatchuel and Weil, 2009). A "designer" may be any professional whose work involves generating these expansions, e.g. an industrial designer, an engineer, an architect, or an ergonomist. This leads us to view "use analysis" as a range of methods from various fields (ergonomics, computer science, sociology, etc.). The goal of these methods is to generate knowledge about the present or future use of a product. Theureau (2002) has noted that it is difficult to anticipate the effects of design choices on the future activity of users. This is because use analysis typically relies on the analysis of real-world situations – those situations which product design aims, precisely, to transform.

UCD, as described in the ISO 13407 standard and the more recent 9241-210 standard, solves this problem by planning

design in iterative cycles (Bevan, 2001; Maguire, 2001). Each cycle leads to the production of an intermediary object of design, e.g. a mock-up or prototype. The use of this intermediary object can be analysed to test the relevance of design choices, and to gradually refine designers' understanding of the context of future use. However, in an industrial context, designers must optimize time and costs. Indeed, designers often operate with the explicit goal of "getting it right the first time" (Thomke, 1998). One of the ways to achieve this is to involve ergonomics at a prospective level. This involves anticipating future needs and activities in the early stages of the design process, rather than limiting the scope of analysis to existing activities (Robert and Brangier, 2012, Fig. 1).

In this paper, we argue that fostering creativity in the design team may help designers overcome some of the difficulties they encounter when anticipating the future use of a product. We begin by describing the main methods in use analysis. We identify two different types of analysis, named retrospective and prospective. In the third part of the paper, we describe some findings in cognitive psychology regarding biases in the anticipation of possible future events. We argue that these biases may have serious consequences for UCD, particularly in the case of innovation design projects. There is a need for tools to help designers anticipate future product use in a way that is more structured and less vulnerable to bias. In the concluding parts, we introduce creativity as a toolset to assist prospective use analysis and describe some expected benefits of this approach.

* Corresponding author. Present address: Laboratoire Adaptation Travail Individu, Paris Descartes University, 71 avenue Edouard Vaillant, 92100 Boulogne Billancourt, France. Tel.: +33 (0) 1 55 20 54 05.

E-mail addresses: julien.nelson@gmail.com, julien.nelson@parisdescartes.fr (J. Nelson).

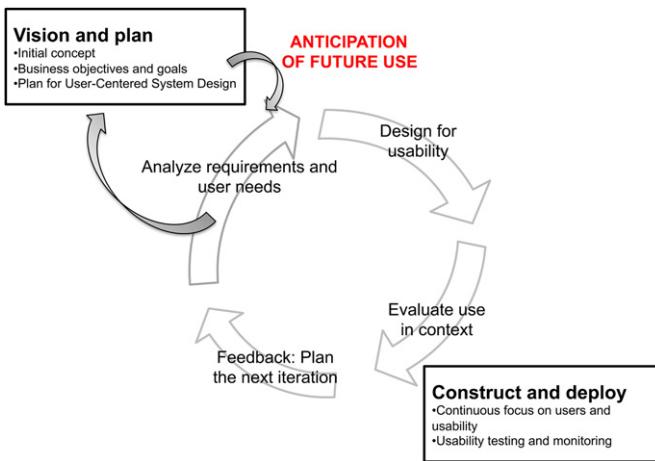


Fig. 1. Anticipation of future use and iterative user-centred design. Adapted from Gulliksen et al., 2003.

2. Use analysis in product design: a state of the art

2.1. From usability engineering to user experience design and beyond

Informing the product design process with knowledge of human activity is not a simple task. The emergence of UCD in the 1980s was partly due to the active interest of the scientific community, from World War II onwards, in modelling human activity (Card et al., 1983). This community also introduced new concepts, connecting scientific theory with design practice, such as usability (Gould and Lewis, 1985; Norman and Draper, 1986). For many years, usability was defined mainly as "quality of use" (Bevan, 1995). This concept served as a basis for the development of methods to evaluate design, and of a standardized framework for UCD (Bevan, 2001).

Dumas and Salzman (2006) identify four classes of usability assessment methods: (1) usability testing; (2) inspection methods; (3) expert surveys, interviews, and focus groups; and (4) field methods. Their review shows that one method alone cannot encompass the variability of the phenomena that make up product use. For example:

- User testing was derived from an experimental paradigm to study user behaviour. However, the acknowledgement that this behaviour was supported by mental processes led to the development and widespread use of think-aloud protocols (Ericsson and Simon, 1980). The goal of these methods is for users to generate verbal reports, from which analysts can infer descriptions of underlying mental processes;
- Laboratory experiments raise the issue of ecological validity, i.e. the generalization of findings from laboratory to real-world contexts of use. Field methods, such as observations, interviews, or remote use analysis, address this by collecting data in real-world settings. Acknowledging the crucial importance of the context of use is a central principle of Activity Theory, Situated Action Theory, and Distributed Cognition theory. All of these have found applications in both ergonomics (Daniellou and Rabardel, 2005) and Human–Computer Interaction (Diaper and Lindgaard, 2008).

In recent years, there has been growing debate about how knowledge of user activity, obtained by applying these methods, could lead to improved use value. Initially, usability described quality of use mainly in terms of "instrumental" – i.e. task-related – measures.

However, the focus gradually shifted to user experience and non-instrumental aspects of the user–product relationship (Dumas and Salzman, 2006; Hassenzahl and Tractinsky, 2006). From this point of view, use value does not just stem from the concepts introduced by usability engineering, such as learnability, efficiency, or satisfaction (Nielsen, 1993). New concepts must be introduced, e.g. product aesthetics, pleasure and fun. These elements cause users to engage in a relationship with the product that can be investigated using methods similar to those quoted above. Such methods can be used for summative (product evaluation) or formative (exploratory user research) purposes. No single method can provide a comprehensive insight into future use: each method has its own focus, its own strengths, and its own weaknesses. However, there are strong commonalities between methods. The most notable of these is that designers usually produce insights into future use by analysing existing activities.

2.2. From retrospective to prospective analysis of product use

It has been said that the contribution of ergonomics to design can take one of two forms (Couix et al., 2012). First, the ergonomics practitioner's knowledge of human factors gives him/her access to resources that describe design solutions directly, e.g. ergonomic standards and guidelines. Second, ergonomists may apply methods to analyse the real-world activity of operators or users. In this case, they must begin by identifying typical situations of action that serve as a broad reference (Garrigou et al., 1995). Only after this has been done can more specific situations be selected or constructed for detailed analysis. The goal of this operation is not just to investigate existing situations that must be corrected; it is also to anticipate the effect of system transformations on future user activity.

Simulations aim to describe future situations in a more or less ecological manner. Because of this, they have been the focus of much research in ergonomics, both in the design of work systems (Daniellou, 2007) and of innovative products (Sagot et al., 2003). As Marc et al. (2007) point out, there are three main components in a simulation:

- a) The simulator, i.e. the device used to simulate the situation;
- b) The simulation, i.e. the implementation of a scenario within a simulator;
- c) The simulated situation, i.e. the real-world situation that the simulation is intended to reproduce.

These three items exhibit great variability in simulation practices. For example, a simulator might be computational, as in the case of Virtual Reality or PC-based environments. It can also refer to a physical system, in the case of full-scale simulations with physical mock-ups or prototypes. In any case, the construction of a simulation cannot be separated from the choice of relevant *scenarios of use* (Carroll and Rosson, 1992; Bødker, 2000; Carroll, 2000; Fulton Suri and Marsh, 2000). Scenarios are stories that ensure a focus on users in a design project. They describe the product, its end users, their goals, sequences of actions and events, as well as the context of future use (Carroll, 2000). The question then becomes: *what are the resources at the ergonomist's disposal to construct scenarios of use?*

Workstation design usually poses no problem at this level, because ergonomics is usually contracted either to correct an existing system, or to assist an on-going design process (Robert and Brangier, 2012). In other words, the goal of ergonomics here is (a) either to alter an existing system where an operator's work practices can be analysed (e.g. to redesign a workstation); or (b) to materialize a system concept that company executives have already

approved, based on a precedent in other companies (e.g. to build a new lean production workshop). Innovation design projects pose a more difficult challenge because they are characterized by uncertainty at two levels – technological capabilities and market characteristics (Veryzer and Borja de Mozota, 2005; Norman, 2010). Depending on the project, it may be necessary to generate new knowledge regarding technologies and/or markets. Fig. 2 illustrates this by identifying four classes of situations. We describe them below in order of increasing uncertainty.

- Situation IV (known technology, known market): This is typical of incremental innovation projects. Ergonomists can generate knowledge for UCD by analysing the use of an existing product. For example, when taking part in the design of “a safer car for elderly drivers”, an ergonomist would probably examine how these drivers use existing cars. From there, it would be possible to determine how these driving practices might be considered unsafe;
- Situations II (known market, new technology) and III (new market, known technology) embody innovation processes that are more uncertain. Some references do exist to describe product use and user needs. However, the “design brief” – i.e. the earliest and most abstract expression of the product concept to be designed (Hatchuel and Weil, 2009) – is such that UCD requires a more specific investigation. Let us take two examples: designing “a multimodal virtual environment to assist research in molecular pharmacology” (Férey et al., 2009) and “a mobile phone for everyone” (Plos and Buisine, 2006). Ergonomists will probably attempt to use knowledge about activities and user populations that can be tied to the design brief, such as “researching molecular pharmacology with current tools” and “the use of a mobile phone in everyday life by different kinds of user populations”. However, this will not bring the design brief to an adequate level of specification. For the first product, it is unclear how innovative technologies can transform users’ activity. For the second, it is unclear what range of activities and users should be investigated;
- Situation I (new market, new technology): These situations are typical of disruptive innovation that, according to Chayutsahakij and Poggenpohl (2002) “embodies the highest organizational uncertainty”. They happen when the design brief does not allow ergonomists to identify any clear reference in terms of future users and these users’ tasks. For example, the concept “an interactive tabletop interface with multi-user, multi-touch recognition capabilities” does not include any information about who the future users of the product are, or what the future uses of the product might be.

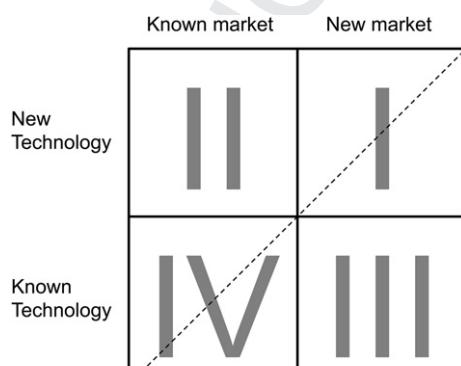


Fig. 2. Categorization of innovation design projects (Chayutsahakij and Poggenpohl, 2002).

The two projects described below serve as case studies in this paper. They belong to different categories in Fig. 2. However, the issue of “anticipating future use” is present in both cases.

2.2.1. Case study #1: innovative applications for an emerging technology

An emerging technology is defined as “*a novel computer technology with promising properties, use and significance, for which the implications for human-computer interaction are still unclear*” (Kjeldskov, 2003). Interactive tabletop interfaces are a good example of this. Much effort has been made in recent years to develop the technology that would allow groups of users to interact with a tabletop computer. The promise of such interfaces is to make it possible to combine the benefits of computational information processing with those of face-to-face interaction in a shared social setting (Shen et al., 2006). However, the market for these new technologies is mostly unknown. Such projects are often dominated by a strong technology push, with user needs often remaining a minor concern. Consequently, ergonomists often take part only in the later parts of such projects, during prototype evaluation (Anastassova et al., 2007).

Our team was recently involved in project *Digitable*, a research-industry partnership to design innovative tabletop interaction systems (Coldefy and Louis-dit-Picard, 2007). In this project, many different applications were designed in support of various activities. One application aimed to assist creative idea generation in innovation design projects (Buisine et al., 2012). The goal of this project was twofold. The first goal was to produce technological innovations allowing the design of collaborative tabletop applications with multi-user, multi-touch recognition. The second was to produce knowledge regarding the cognitive and social processes of human activity in collaborative tabletop interaction, and to better understand the strengths and limitations of this interaction paradigm.

In industrial terms, a firm with the know-how to design tabletop interfaces must constantly identify new applications of this technology that will be relevant to users before committing to a design project. However, the technology is new and the market is unknown. Designing human-computer interfaces with emerging technologies is therefore a category I situation in Fig. 2. Designers must generate, from an intentionally vague design brief, new concepts of products that are likely to lead to new sources of use value. Ergonomics is expected to take part in the design process in a prospective manner, i.e. to propose new product concepts, rather than just to assess the relevance of design decisions for UCD (Robert and Brangier, 2012). Therefore, there is a need for tools to help designers generate proposals for applications in the conceptual design stage, and to choose which concepts are worthy of further development.

2.2.2. Case study #2: validating innovative safety equipment concepts

A second project we have worked on was called *Little Mermaid*. One of the authors of this paper was part of a multidisciplinary design team with four engineers, an ergonomist, and an industrial designer. The goal of the project was to design an innovative product for use by infants, to prevent drowning accidents (Nelson et al., 2009b). Unlike in the project above, the ergonomist joined the design team only after the initial product concept had been well defined – a wearable, inflatable necklace that would activate only when the infant is immersed in water.

In this case, both the market and the technology are well defined. This is an example of a category IV situation in Fig. 2. Although the situation is different, anticipating future use is just as important as above. Because it is impossible to gather knowledge

about all possible hazardous situations during the UCD process, designers must anticipate what might go wrong. In our case, over the course of our involvement in the project, we formulated and discussed scenarios of use of existing products, and future uses of this new product. This allowed us to improve the initial concept, and to propose complementary product concepts to improve infant safety and drowning prevention even further.

This ability to anticipate what might go wrong to guide design has been called *requisite imagination* by Adamski and Westrum (2003). Interestingly, these authors fail to specify what degree of imagination designers should hope to achieve. They only claim that some real-world accidents might have been prevented if the designers of the systems involved had been able to anticipate a wider range of outcomes. There is therefore a need to help designers validate product concepts by confronting them to a wide range of scenarios.

Both case studies we mentioned highlight the same point. Designers need to be able to better anticipate future use, in order to generate product concepts, to foresee how they might become sources of value, inconveniences or hazards to users, and to validate specific concepts for further development.

3. Anticipation of future use in the design of innovative products

Studies in cognitive ergonomics often view design as an activity that involves collectively solving an ill-defined problem (Visser, 2009). Several authors acknowledge that design relies on the construction and use of internal as well as external representations (Visser, 2006; Christensen and Schunn, 2008). However, few studies have focused on how designers construct and use mental models of the future users of a product, as well as models of their needs. One notable exception is a study by Darses and Wolff (2006). The authors investigated how users were mentioned in the course of design meetings. They show that, depending on the type of issues being addressed in the meeting, users were viewed in one of three ways: (1) as subsystems of the system being designed, (2) through general UCD principles, or (3) as elements of an imagined scenario, in which designers simulate users' behaviours and thoughts.

Another issue relates to how representations of users and their activities are articulated with design. Three forms of integration have been identified, related to three main approaches to design (Béguin, 2007):

- *Crystallization* rests on the idea that a model of users and of product use can guide product or system design;
- *Plasticity* claims that beyond the stable elements of activity featured in this model, design must allow for variability in the practices of individual users. This might stem, for example, from variations of characteristics within the user population, or from variations in the context of use;
- *Development* aims to foster evolutions in use, in order to counter the contradictions that emerge in user activity over time.

Table 1
Examples of the benefits in anticipating future use in our two case studies.

	Tabletop interface	Device for drowning prevention
Unforeseen sources of use value	<ul style="list-style-type: none"> • Combining the concept with unexpected contexts of use may yield original application concepts • Anticipation of future use may also yield original modes of interaction between the user and the product 	<ul style="list-style-type: none"> • Anticipating future use may lead to formulating original product concepts for drowning prevention and/or similar safety applications.
Unforeseen hazards and inconveniences in use	<ul style="list-style-type: none"> • Anticipating hazards in the use of an interface (e.g. situations leading to damage and/or injury to the product, user, or use environment) will help designers design safer and more acceptable products. 	<ul style="list-style-type: none"> • Anticipation may focus on situations where the product may malfunction or otherwise fail to achieve its goal, in order to help designers adjust the product concept.

stages of UCD, or b) to speculate about future use in the early stages of this process and convince stakeholders of the relevance of a product concept (Hanington, 2003). The idea is that by confronting this product concept to a wide range of possible futures, designers will be able to analyse more thoroughly the relationship between design features and positive or negative impacts in terms of future use. This process is also called "claims analysis" (Carroll and Rosson, 1992; Carroll, 2000).

Scenarios of use feature several elements, such as a setting, actors following goals, and a plot (Carroll, 2000). Recent work in mobile HCI design, where contexts of use may be extremely variable, suggests that this variability may be taken into account by generating values for different contextual variables and then combining them into scenarios of use (de Sá and Carrizo, 2008). Such contextual variables include physical locations and environments, movements and postures in use, user tasks and activities, available technical devices, and user profiles and personas.

We agree with de Sá and Carrizo (2008) that this combinatory reasoning is necessary when dealing with highly variable contexts of use, such as when designing context-sensitive mobile devices. We would also add that this is useful because the counterfactual reasoning involved in scenario generation is vulnerable to psychological biases. These biases lead to an oversimplified and restrictive view of the future that is dependent on the designer's existing knowledge. This phenomenon is known as the *foresight bias* (MacKay and McKiernan, 2004). For example, designers may more or less consciously project themselves in the user's place, believing that their own needs and practices are an accurate reflection of those of the users of the product (Bardini and Horvath, 1995). This phenomenon is often thought to be a negative feature in the design of innovative products, and used as an argument in favour of UCD practices (Cooper, 1999). Moreover, as MacKay and McKiernan (2004) point out, the foresight bias is a wide-ranging concept. Several interacting biases may be at work when designers anticipate future scenarios of use. Table 2 gives some examples of biases that might affect anticipation of future use in both our case studies.

4. Creative design as a paradigm to anticipate future use

4.1. Creativity sessions to structure the anticipation of future use

"Innovation-intensive capitalism" refers to an on-going trend in the capitalist economy. When designing innovative products and services, project stakeholders tend to search for patterns of value (Hatchuel et al., 2002). Creativity is seen as a key source of value, and many authors have proposed tools to improve creative performance in designers (Osborn, 1957; VanGundy, 2005). The term

Table 2

Examples of psychological biases that may apply to anticipation of future use in our case studies.

Concept generation for an interactive tabletop interface

- Psychological inertia (Savransky, 2000): prior knowledge and/or experience in design cause designers to seek routine solutions rather than innovative solutions to inventive problems. Consequently, concept ideas are likely to be unoriginal and/or overly dependent on the designer's own past experience.

Concept validation of a device for drowning prevention in infants (Nelson et al., 2009a)

- Hindsight bias (Fischhoff, 1975): it is an overestimation of the probability of an outcome following its occurrence. For this, as well as ethical reasons, relatives of victims of drowning and/or witnesses of accidents cannot be involved in the participatory design process as their testimony is likely to be unreliable and possibly traumatic.
- Comparative optimism (Shepperd et al., 2002), the perception that "accidents happen to other people": representations of drowning accidents may be simplified or completely banished because of self-censorship.

"creativity session" refers in this paper to an organized framework where specific tools are used to enhance creativity.

Creativity is at the heart of current efforts to model the design process (Howard et al., 2008; Hatchuel and Weil, 2009). Drawing inspiration from an existing model of designer activity (Gero and Kannengiesser, 2004), Howard et al. (2008) point out that five key processes in design involve creative idea generation. This model describes the design process as an interaction between three types of variables named structure, function, and behaviour.

Behaviour variables describe the expected behaviour of the product, which is influenced by its function as well as its structure (Fig. 3, black arrows). If we consider not just the behaviour of the product, but the behaviour of the system formed by the user interacting with the product, two conclusions can be drawn. First, as several authors have pointed out, the product's structure and functions embody a "script" written by designers, concerning the intended future behaviour of users (Akrich, 1992; Oudshoorn et al., 2004; Konrad, 2008). Second, it is users who ultimately decide what use is, and the designers' script for future use is constantly questioned by real-world practices. As Konrad (2008) writes, "*the final shape of a technology sets a certain range for use, optimizing some uses and excluding others. It creates a realm of possibilities, some of which might not have been considered, and which are only discovered by the users themselves. Hence, scenarios of use do not determine the future users and uses, but they play an important part in delineating the realm of possibilities for users*".

This claim echoes our own point in Section 3.1, that design involves maintaining users within a space of acceptable use. Konrad (2008) shows that generic scenarios in the early stages of a project are gradually converted to more specific scenarios, through a process that she calls "local variation". This process draws on the knowledge and experience specific to each designer. She also writes that this local variation requires two elements: the generation of variety and the stabilization of scenarios. We agree with both these points, yet we believe that the biases highlighted in Section 3.2 above are likely to prevent designers from achieving optimal performance in scenario generation. Designers need to be able to generate and analyse scenarios of use in a more organized way. Creativity sessions appear to be an ideal tool for this, as they involve both divergent thinking – the generation of variety – and convergent thinking – the stabilization of scenarios (Copley, 2006).

How does this relate to prospective use analysis? The description by Konrad (2008) on how designers gradually specify new scenarios of use can be seen as exploring a use frame. Flichy (2008) defines the use frame as a structure that "describes the type of social activities proposed by technology, positioning it within a set of social practices, of everyday routines, and specifies the audience involved" (our translation). To us, the use frame is a starting point for scenario generation: in a frame, some scenario variables are "locked", while

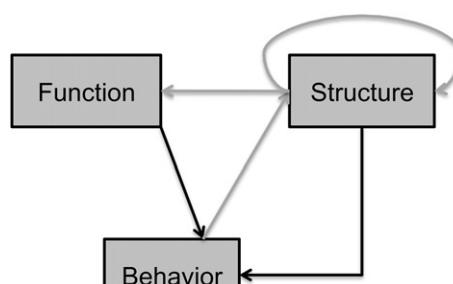


Fig. 3. Integrated model for the creative design process, adapted from Howard et al. (2008).

others remain open to local variation. One way for designers to counter the biases of anticipating future use would be to utilize a framework where scenario variables are examined separately, and then combined into use frames and refined into coherent stories (Fig. 4).

4.2. Describing a typical creativity session about future use

Creative Problem Solving (CPS) is one of the oldest models of the creative process (Osborn, 1957; Isaksen and Treffinger, 2004). Its simplicity makes it an ideal basis for creativity sessions. Based on this model, we propose a three-stage process to assist the anticipation of future use in innovative product design.

4.2.1. Problem definition and analysis

In any creative problem-solving task, the first stage is to gather all available facts and data to formulate the problem that needs to be solved. Thus, designers must collectively build and share a knowledge base. To describe future needs and activities, ergonomics can collaborate with professions that deal explicitly with present and future trends in product consumption and use. These fields might include sociology, marketing, etc. (Robert and Brangier, 2012). This collaboration is promising because these professions focus on trends in use and operate at a strategic level in the firm, whereas ergonomics deals mostly with interactions between users and the product at a more tactical level. However, collaboration is often difficult because individuals from different professional backgrounds have different views and expectations about the nature of usability and the need to anticipate future use (Hertzum, 2010). These differences need to be clarified before the promise of strategic anticipation of future use can be fulfilled. The long-term goal is to be able to coordinate knowledge about trends in future use with knowledge of the company's innovation strategy to guide conceptual design.

Considering our two case studies, this stage might focus on the following questions, in response to the design brief:

- For the interactive tabletop interface: Who are the key stakeholders in the market? Which products do they offer, and what data is available regarding the benefits and drawbacks of these products, in terms of use value? What are the current trends of technological development in this field? Can current research point us towards promising markets and future trends in use?
- For the device for drowning prevention: What systems are currently available in terms of safety equipment, to prevent drowning in infants? Are there any epidemiological studies that provide insight into the circumstances of drowning accidents? What are the reasons behind the apparent failure of

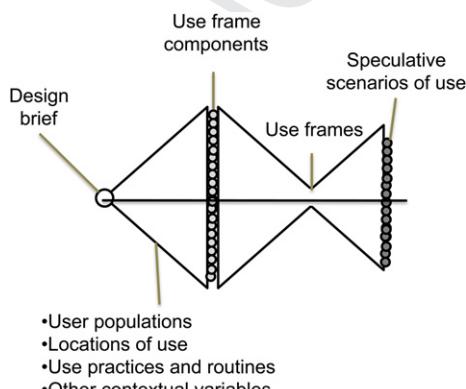


Fig. 4. Overview of a creativity session to generate speculative scenarios of future use.

existing products to prevent drowning in infants? What are the factors that promote a safety-prone relationship between users (infants and caregivers) and the product?

4.2.2. Creative idea generation

Once this knowledge base has been constructed, the next stage is to generate creative ideas about future product use. It is essential to support divergent thinking at this point. This is the goal of tools such as brainstorming (Osborn, 1957). Brainstorming is based on four rules: criticism is ruled out, freewheeling is welcomed, quantity is wanted and combinations and improvements are sought. Osborn hoped that the principles embodied in these rules (deferment of judgement and quantity breeds quality) would improve performance in idea-generating groups. Research suggests that brainstorming can be viewed as a repeated search for ideas in associative memory (Nijstad and Stroebe, 2006). Exposure to another person's ideas may activate knowledge in one's own network of associations. Therefore, brainstorming is likely to benefit the anticipation of future use in two ways. First, exposure to other people's ideas may stimulate idea production in random and unexpected directions: this is likely to lead to more numerous and diverse ideas, about which elements could be used to construct use frames. Second, groups may also choose to focus on a more homogeneous set of ideas. This should allow a more comprehensive and in-depth exploration of specific use frames.

Brainstorming is intended to allow participants to quickly generate large numbers of ideas. However, a scenario or "story" cannot be viewed as a simple idea, as it involves several interacting elements. Idea generation may focus on single elements of the story, i.e. components of the use frame. The idea generation stage then aims to generate original ideas based on existing knowledge. New possibilities for future use can be produced in this way, to question the product concept described in the brief and expand it to new concepts. In our two case studies, designers might focus on the following questions:

- Market studies suggest that current markets for interactive tabletops lie in the gaming, educational, and public information sectors. Are there any sectors that provide market opportunities for interactive tabletops to assist work activities? Or indeed, can one propose a product or service concept at the crossroads between two or more of these sectors?
- Preliminary information suggests a particular need for a wearable, inflatable device to prevent drowning in infants using family swimming pools. However, might other populations benefit from this concept? Might the concept "an inflatable device to prevent drowning" be useful in locations other than swimming pools?

4.2.3. Idea sorting and evaluation: from use frames to scenarios of use

The goal of this stage is to produce, by combining ideas regarding elements of future use, a set of speculative scenarios of future use. These scenarios are then analysed, giving a roadmap for future design projects. In a recent paper (Nelson et al., 2012), we applied this approach to both case studies presented in the present paper. Multidisciplinary design teams used the brainwriting technique (Paulus and Yang, 2000) to generate ideas concerning a) prospective populations of future users and b) prospective locations of use of the product. From this production, participants selected the ideas that they thought were the most interesting prospects for development. The ideas were then combined within a discovery matrix, a variant of morphological analysis (Voros, 2009), to generate a set of speculative scenarios of future use of

both products (the inflatable necklace and the tabletop interface). After the scenarios were constructed, they were subjected to claims analysis. This is equivalent to completing the second cycle of divergence and convergence in Fig. 4.

From our experience in the two case studies, scenario construction provides further opportunities for divergence. Each cell in the discovery matrix served as a basis for generating one or more speculative scenarios of use. For example:

- Tabletop interface: Crossing the population of “children” with the location of “an operating room” led to the team exploring four different scenarios of use for interactive tabletop interfaces that combined both features. In one case, the interface concept was educational (an interactive surgery simulator to train interns in collaborative work). In another, the concept was a skill-based game where players removed organs from a fictitious patient. However, participants also introduced new use frames leading to new product concepts, such as an interface for surgeons to demonstrate an upcoming procedure to a patient;
- Device for drowning prevention. The framework challenged teams to go beyond classical representations of future users and locations of use. Although the concept specifically targeted infants, elderly and disabled users were also mentioned in the idea generation stage. This stage also allowed designers to move from situations featuring a generic threat (“water”) to more diverse scenarios featuring concrete locations (domestic pools, public pools, paddling pools, the seaside, the bathroom, etc.), following the “local variation” mechanism described by Konrad (2008). Combining these two sources of input allowed:
 - New questions to emerge in concept validation, e.g. “Are there any situations where the device might be exposed to water without this being a hazard to the wearer? Can we revise the inflation start-up mechanism for it to occur only when the child is really in danger? What happens in the rain?”
 - New concepts to be generated in response to unusual user–location combinations, e.g. “How and why could an inflatable, water-detecting, wearable device be used by youth in a nightclub?” One designer suggested that it could serve as a playful accessory in a foam party. Another pointed out that members of the same group might use it to identify each other in a busy and low-lit environment. Thus these new use frames help designers identify possible user needs – the kind which Robertson (2001) calls “undreamt-of requirements”.

After the experiment, some participants provided us with feedback: this allowed us to better understand the role of creativity tools in anticipating future use. They pointed out that the association of brainwriting with the discovery matrix allowed them to anticipate future use more easily and in an organized manner. This, to them, was a critical need in innovation projects, especially when the design brief was very “open” – i.e. when it gave little specific information regarding future use. They enjoyed the conviviality and fluidity introduced by Osborn’s rules for idea generation.

However, some participants also pointed out the greater pressure they felt to anticipate future use, especially in the case of the drowning prevention device. As these scenarios remained ideas, they found it difficult to assess the relevance of their production. Indeed, the ultimate validation of anticipated use is actual use itself. This raises the question of how prospective use analysis might connect to retrospective analysis in innovation design projects.

5. Conclusions and future work

The method described in this paper relies on a succession of stages to generate and explore variability through speculative

scenarios of future use, in the early stages of the innovation design process. Its premise is that before a product can be materialized in the design process, “product use” does not exist. Product use is an idea that can serve as a basis to defend a product concept, and to mobilize stakeholders to launch or sustain an innovation design project.

We have argued here that when producing ideas about future use, designers are confronted with various biases that contribute to a restrictive view of future use. We have proposed a multi-step approach to structure the work of designers in these situations, and have suggested that creativity tools may help designers mitigate the biases encountered in anticipating future use. This approach is a complement, not a substitute, to retrospective use analysis (Robert and Brangier, 2012). The ideas generated in the early stages of UCD are only hypothetical scenarios. This preliminary reflection on future use is useful for three purposes: to reduce the financial and time expenses in iterative UCD, to anticipate situations that are inaccessible to retrospective use analysis (e.g. on account of their rarity) and to introduce an ergonomic contribution in the early stages of the design process. Further research is needed to examine these issues in greater detail.

Acknowledgements

This work was supported by a grant from the French Ministry for Education, Research and Technology (MENRT). We would like to thank Diane Gyi and the two anonymous reviewers for their help in improving the paper, and Christophe Mouchiroud and Jérôme Grosclaude for their help in proofreading the paper in its final stages.

References

- Adamski, A.J., Westrum, R., 2003. Requisite imagination, the fine art of anticipating what might go wrong. In: Hollnagel, E. (Ed.), *Handbook of Cognitive Task Design*. Ashgate, Aldershot, UK, pp. 193–220.
- Akrich, M., 1992. The description of technical objects. In: Bijker, W., Law, J. (Eds.), *Shaping Technology, Building Society: Studies in Sociotechnical Change*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 205–224.
- Amalberti, R., 2001. The paradoxes of almost totally safe transportation systems. *Safety Science* 37 (2–3), 109–126. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)0045-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-7535(00)0045-X).
- Anastassova, M., Mégard, C., Burkhardt, J.M., 2007. Prototype evaluation and user-needs analysis in the early design of emerging technologies. In: Paper Presented at the HCI International 2007 Conference, Beijing, China.
- Bardini, T., Horvath, A.T., 1995. The social construction of the personal computer user: the rise and fall of the reflexive user. *Journal of Communication* 45 (3), 40–65. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-2466.1995.tb00743.x>.
- Béguin, P., 2007. Taking activity into account during the design process. *@ctivités* 4 (2), 115–121. Retrieved from: <http://www.activites.org>.
- Bevan, N., 1995. Measuring usability as quality of use. *Software Quality Journal* 4 (2), 115–130.
- Bevan, N., 2001. International standards for HCI and usability. *International Journal of Human–Computer Studies* 55 (4), 533–552. <http://dx.doi.org/10.1006/ijhc.2001.0483>.
- Bødker, S., 2000. Scenarios in user-centred design – setting the stage for reflection and action. *Interacting with Computers* 13 (1), 61–75. [http://dx.doi.org/10.1016/S0953-5438\(00\)00024-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0953-5438(00)00024-2).
- Brandes, U., Stich, S., Wender, M., 2009. *Design by Use: The Everyday Metamorphosis of Things*. Birkhäuser, Basel.
- Buisine, S., Besacier, G., Aoussat, A., Vernier, F., 2012. How do interactive tabletop systems influence collaboration? *Computers in Human Behavior* 28, 49–59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2011.08.010>.
- Card, S.K., Moran, T.P., Newell, A., 1983. *The Psychology of Human–computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Carroll, J.M., 2000. *Making Use: Scenario-based Design of Human–computer Interaction*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Carroll, J.M., Rosson, M.B., 1992. Getting around the task-artifact cycle: how to make claims and design by scenario. *ACM Transactions on Information Systems* 10 (2), 181–212. <http://dx.doi.org/10.1145/146802.146834>.
- Chayutsahakij, P., Poggenpohl, S., 2002. User-centered innovation: the interplay between user research and design innovation. In: Paper Presented at the 2nd EURAM Annual Conference on Innovative Research in Management, Stockholm, Sweden.

- Christensen, B.T., Schunn, C.D., 2008. The role and impact of mental simulations in design. *Applied Cognitive Psychology* 22 (1), 1–18. <http://dx.doi.org/10.1002/acp.1464>.
- Coldhey, F., Louis-dit-Picard, S., 2007, 17–22 June. DigiTable: an interactive multiuser table for collocated and remote collaboration enabling remote gesture visualization. In: Paper Presented at the 25th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition; 2007, CVPR '07, Minneapolis, MN.
- Cooper, A., 1999. The Inmates Are Running the Asylum: Why High-tech Products Drive Us Crazy and How to Restore Their Sanity. Sams, Indianapolis, IN.
- Couix, S., Darses, F., de la Garza, C., 2012. From needs to requirements for computer systems: the added value of ergonomics in needs analysis. *Work* 41, 737–744. <http://dx.doi.org/10.3233/WOR-2012-0234-737>.
- Cropley, D., 2006. In praise of convergent thinking. *Creativity Research Journal* 18 (3), 391–404. http://dx.doi.org/10.1207/s15236934crj1803_13.
- Daniellou, F., 2007. Simulating future activity is not only a way of improving workstation design. @ctivités 4 (2), 84–90. Retrieved from: <http://www.activites.org>.
- Daniellou, F., Rabardel, P., 2005. Activity-oriented approaches to ergonomics: some traditions and communities. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 6 (5), 353–357. <http://dx.doi.org/10.1080/1463922050078351>.
- Darses, F., Wolff, M., 2006. How do designers represent to themselves the users' needs? *Applied Ergonomics* 37 (6), 757–764. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2005.11.004>.
- de Certeau, M., 1988. *The Practice of Everyday Life*, vol. 1. University of California Press, Los Angeles, CA.
- de Sá, M., Carriço, L., 2008, April 5–10. Defining scenarios for mobile design and evaluation. In: Paper Presented at the CHI2008, Florence, Italy.
- Diaper, D., Lindgaard, G., 2008. West meets east: adapting activity theory for HCI & CSCW applications? *Interacting with Computers* 20 (2), 240–246. <http://dx.doi.org/10.1016/j.intcom.2007.11.006>.
- Dumas, J.S., Salzman, M.C., 2006. Usability assessment methods. *Reviews of Human Factors and Ergonomics* 2, 109–140. <http://dx.doi.org/10.1177/1557234X0600200105>.
- Epstude, K., Roese, N.J., 2008. The functional theory of counterfactual thinking. *Personality and Social Psychology Review* 12 (2), 168–192. <http://dx.doi.org/10.1177/1088868308316091>.
- Ericsson, K.A., Simon, H.A., 1980. Verbal reports as data. *Psychological Review* 87 (3), 215–251. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.87.3.215>.
- Férey, N., Nelson, J., Martin, C., Picinali, L., Bouyer, G., Tek, A., Autin, L., 2009. Multisensory VR interaction for protein-docking: the CoRSAIR project. *Virtual Reality* 13 (4), 273–293. <http://dx.doi.org/10.1007/s10055-009-0136-z>.
- Fischhoff, B., 1975. Hindsight-foresight: the effect of outcome knowledge on judgment under uncertainty. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1, 288–299. <http://dx.doi.org/10.1136/qhc.12.4.304>.
- Flichy, P., 2008. Technique, usages et représentations. *Réseaux* 148–149, 147–174. <http://dx.doi.org/10.3166/reseaux.148-149.147-174>.
- Folcher, V., 2003. Appropriating artifacts as instruments: when design-for-use meets design-in-use. *Interacting with Computers* 15 (5), 647–663. [http://dx.doi.org/10.1016/S0953-5438\(03\)00057-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0953-5438(03)00057-2).
- Fulton Suri, J., 2005. *Thoughtless Acts: Observations on Intuitive Design*. Chronicle, San Francisco, CA.
- Fulton Suri, J., Marsh, M., 2000. Scenario building as an ergonomics method in consumer product design. *Applied Ergonomics* 31 (2), 151–157. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00035-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00035-6).
- Garrigou, A., Daniellou, F., Carballeda, G., Ruaud, S., 1995. Activity analysis in participatory design and analysis of participatory design activity. *International Journal of Industrial Ergonomics* 15 (5), 311–327. [http://dx.doi.org/10.1016/0169-8141\(94\)00079-1](http://dx.doi.org/10.1016/0169-8141(94)00079-1).
- Gero, J.S., Kannengiesser, U., 2004. The situated function-behavior-structure framework. *Design Studies* 25 (4), 373–391. <http://dx.doi.org/10.1017/S0890060407000340>.
- Gould, J.D., Lewis, C., 1985. Designing for usability: key principles and what designers think. *Communications of the ACM* 28 (3), 300–311. <http://dx.doi.org/10.1145/3166.3170>.
- Gulliksen, J., Göransson, B., Boivie, I., Blomkvist, S., Persson, J., Cajander, A., 2003. Key principles for user-centred systems design. *Behaviour & Information Technology* 22 (6), 397–409. <http://dx.doi.org/10.1080/01449290310001624329>.
- Hanington, B., 2003. Methods in the making: a perspective on the state of human research in design. *Design Issues* 19 (4), 9–18. <http://dx.doi.org/10.1162/074793603322545019>.
- Hassenzahl, M., Tractinsky, N., 2006. User experience – a research agenda. *Behaviour & Information Technology* 25 (2), 91–97. <http://dx.doi.org/10.1080/01449290500330331>.
- Hatchuel, A., Le Masson, P., Weil, B., 2002. From knowledge management to design-oriented organizations. *International Social Science Journal* 54 (171), 25–37. <http://dx.doi.org/10.1111/1468-2451.00356>.
- Hatchuel, A., Weil, B., 2009. C-K design theory: an advanced formulation. *Research in Engineering Design* 19 (4), 181–192. <http://dx.doi.org/10.1007/s00163-008-0043-4>.
- Hertzum, M., 2010. Images of usability. *International Journal of Human–Computer Interaction* 26 (6), 567–600. <http://dx.doi.org/10.1080/10447311003781300>.
- Hoc, J.M., 2001. Towards a cognitive approach to human–machine cooperation in dynamic situations. *International Journal of Human–Computer Studies* 54 (4), 509–540. <http://dx.doi.org/10.1006/ijhc.2000.0454>.
- Howard, T.J., Culley, S.J., Dekonick, E., 2008. Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. *Design Studies* 29, 160–180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2008.01.001>.
- Isaksen, S.G., Treffinger, D.J., 2004. Celebrating 50 years of reflective practice: versions of creative problem solving. *Journal of Creative Behavior* 38 (2), 75–101. <http://dx.doi.org/10.1002/j.2162-6057.2004.tb01234.x>.
- Kjeldskov, J., 2003. Human–Computer Interaction Design for Emerging Technologies: Virtual Reality, Augmented Reality and Mobile Computer Systems. Unpublished doctoral dissertation, Aalborg University, Aalborg.
- Konrad, K., 2008. Dynamics of type-based scenarios of use: opening processes in the early phases of interactive television and electronic marketplaces. *Science Studies* 21 (2), 3–26. Retrieved from: <http://www.scientechlogystudies.org>.
- Lockton, D., Harrison, D., Stanton, N.A., 2010. The design with Intent method: a design tool for influencing user behavior. *Applied Ergonomics* 41 (3), 382–392. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2009.09.001>.
- MacKay, R.B., McKiernan, P., 2004. The role of hindsight in foresight: refining strategic reasoning. *Futures* 36 (2), 161–179. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-3287\(03\)00147-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-3287(03)00147-2).
- Maguire, M., 2001. Methods to support human-centered design. *International Journal of Human–Computer Studies* 55, 587–634. <http://dx.doi.org/10.1006/ijhc.2001.0503>.
- Mao, J.Y., Vredenburg, K., Smith, P.W., Carey, T., 2005. The state of user-centered design practice. *Communications of the ACM* 48 (3), 105–109. <http://dx.doi.org/10.1145/1047671.1047677>.
- Marc, J., Belkacem, N., Marot, J., 2007. Virtual reality: a design tool for enhanced consideration of usability “validation elements”. *Safety Science* 45 (5), 589–601. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2007.01.004>.
- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A., 2009a. Assisting designers in the anticipation of future product use. *Asian International Journal of Science and Technology - Production and Manufacturing Engineering* 2 (3), 24–39.
- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A., 2012. A methodological proposal to assist prospective ergonomics in projects of innovative design. *Le Travail Humain* 75 (3), 279–305. <http://dx.doi.org/10.3917/th.753.0279>.
- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A., Duchamp, R., 2009b. Elaboration of innovative safety equipment concepts for infants. In: Paper Presented at the International Conference on Engineering Design (ICED09), Stanford, CA.
- Nielsen, J., 1993. *Usability Engineering*. Academic Press, San Diego, CA.
- Nijstad, B.A., Stroebe, W., 2006. How the group affects the mind: a cognitive model of idea generation in groups. *Personality and Social Psychology Review* 10 (3), 186–213. http://dx.doi.org/10.1207/s15327957pspr003_1.
- Norman, D.A., 2010. Technology first, needs last: the research-product gulf. *Interactions* 17 (2), 38–42. <http://dx.doi.org/10.1145/1699775.1699784>.
- Norman, D.A., Draper, S.W., 1986. *User Centered System Design*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Osborn, A.F., 1957. *Applied Imagination*. Scribner, New York, NY.
- Oudshoorn, N., Rommes, E., Stienstra, M., 2004. Configuring the user as everybody: gender and design cultures in information and communication technologies. *Science, Technology and Human Values* 29 (1), 30–63. <http://dx.doi.org/10.1177/0162243903259190>.
- Paulus, P.B., Yang, H.C., 2000. Idea generation in groups: a basis for creativity in organizations. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 82 (1), 76–87. <http://dx.doi.org/10.1006/obhd.2000.2888>.
- Plos, O., Buisine, S., 2006, April 22–27. Universal design for mobile phones: a case study. In: Paper Presented at the CHI 2006 Conference, Montreal, Quebec.
- Prost, M., Lecomte, C., Meynard, J.M., Cerf, M., 2007. Designing a tool to analyse the performance of biological systems: the case of evaluating soft wheat cultivars. @ctivités 4 (2), 54–74. Retrieved from: <http://www.activites.org>.
- Redström, J., 2006. Towards user design? on the shift from object to user as the subject of design. *Design Studies* 27 (2), 123–129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2005.06.001>.
- Robert, J.M., Brangier, E., 2012. Prospective ergonomics: origin, goal, and prospects. *Work* 41, 5235–5242. <http://dx.doi.org/10.3233/WOR-2012-0012-5235>.
- Robertson, S., 2001. Requirements trawling: techniques for discovering requirements. *International Journal of Human-computer Studies* 55 (4), 405–421. <http://dx.doi.org/10.1006/ijhc.2001.0481>.
- Sagot, J.C., Gouin, V., Gomes, S., 2003. Ergonomics in product design: safety factor. *Safety Science* 41 (2–3), 137–154. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-7535\(02\)00038-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-7535(02)00038-3).
- Savransky, S.D., 2000. *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Shen, C., Ryall, K., Forlines, C., Esenthaler, A., Vernier, F., Everitt, K., Tse, E., 2006. Informing the design of direct-touch tabletops. *IEEE Computer Graphics and Applications* 26 (5), 36–46.
- Shepperd, J.A., Carroll, P., Grace, J., Terry, M., 2002. Exploring the causes of comparative optimism. *Psychologica Belgica* 42, 65–98.
- Theureau, J., 2002. Dynamic, living, social and cultural complex systems: principles of design-oriented analysis. *Revue d'intelligence Artificielle* 16 (4–5), 485–516. <http://dx.doi.org/10.3233/ria.16.485-516>.
- Thomke, S.H., 1998. Managing experimentation in the design of new products. *Management Science* 44 (6), 743–762. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.44.6.743>.
- VanGundy, A.B., 2005. 101 activities for Teaching Creativity and Problem Solving. John Wiley & Sons, San Francisco, CA.
- Veryzer, R.M., Borja de Mozota, B., 2005. The impact of user-oriented design on new product development: an examination of fundamental relationships. *Journal of*

- 1021 Product Innovation Management 22 (2), 128–143. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0737-6782.2005.00110.x>
- 1022 Visser, W., 2006. Designing as construction of representations: a dynamic view-
1023 point in cognitive design research. *Human–computer Interaction* 21 (1), 103–
1024 152. http://dx.doi.org/10.1207/s15327051hci2101_4
- 1025 Visser, W., 2009. Design: one, but in different forms. *Design Studies* 30 (3), 187–
1026 223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2008.11.004>
- 1027 Von Hippel, E., 2005. Democratizing Innovation. MIT Press, Cambridge, MA.
- 1028 Voros, J., 2009. Morphological prospection: profiling the shapes of things to come.
Foresight 11 (6), 4–20. <http://dx.doi.org/10.1108/1463668091004939>

UNCORRECTED PROOF

A METHODOLOGICAL PROPOSAL TO ASSIST SCENARIO-BASED DESIGN IN THE EARLY STAGES OF INNOVATION PROJECTS

J. Nelson *et al.*

P.U.F. | *Le travail humain*

2012/3 - Vol. 75
pages 279 à 305

ISSN 0041-1868

Article disponible en ligne à l'adresse:

<http://www.cairn.info/revue-le-travail-humain-2012-3-page-279.htm>

Pour citer cet article :

Nelson J.*et al.*, « A methodological proposal to assist scenario-based design in the early stages of innovation projects »,
Le travail humain, 2012/3 Vol. 75, p. 279-305. DOI : 10.3917/th.753.0279

Distribution électronique Cairn.info pour P.U.F..

© P.U.F.. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.

**THÉORIES ET MÉTHODOLOGIES
THEORIES AND METHODOLOGIES**

**A METHODOLOGICAL PROPOSAL
TO ASSIST SCENARIO-BASED DESIGN
IN THE EARLY STAGES OF INNOVATION PROJECTS**

by J. NELSON*, S. BUISINE**, A. AOUSSAT***

RÉSUMÉ

PROPOSITION MÉTHODOLOGIQUE POUR ASSISTER LA CONCEPTION PAR SCÉNARIOS
DANS LES ÉTAPES INITIALES DE PROJETS D'INNOVATION

Les ergonomes sont de plus en plus sollicités pour intervenir dans les phases initiales des projets de conception innovante. Leur contribution s'appuie le plus souvent sur l'analyse d'activités existantes ou de situations permettant d'appréhender l'activité future des usagers (ex. simulations). Ceci repose sur les postulats que (a) l'énoncé initial du problème de conception permet d'identifier clairement des situations de référence pour décrire l'activité future, et (b) le concept de produit est suffisamment mûr pour permettre la production d'objets intermédiaires (maquettes, prototypes) dont l'usage pourra être analysé. Dans les étapes initiales de projets d'innovation, ces postulats ne sont pas toujours vérifiés. Les ergonomes peuvent alors être appelés dans les étapes idéatives du projet, pour proposer et examiner des concepts de produits et d'usages nouveaux.

Dans cet article, nous évaluons l'apport d'outils empruntés à la résolution créative de problèmes et à la fiabilité industrielle pour générer et analyser des scénarios d'usage dans ce cadre. Lors de simulations de réunions de conception, nous avons invité des équipes pluridisciplinaires de concepteurs à anticiper les usages de deux produits innovants : une table interactive et un dispositif de prévention de la noyade infantile. Les participants travaillaient soit librement, soit en utilisant les méthodes du brainwriting et de la matrice de découverte, pour construire des scénarios. Ils gagnaient ensuite, suivant une méthode dérivée de l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité, des revendications (claims) pour la conception. À partir de l'analyse de traces écrites et orales de l'activité et d'un questionnaire ad hoc, nous avons évalué la performance créative et le ressenti des participants. Notre méthodologie originale associe une approche de l'analyse de l'activité répandue dans l'étude des activités de conception, avec le cadre théorique de la génération d'idées en groupe utilisé dans des travaux en psychologie de la créativité.

* Arts et Métiers ParisTech, LCPI, 151, bd de l'Hôpital, 75013 Paris, France. Adresse actuelle : Université Paris-Descartes, LATI, 71, avenue Édouard-Vaillant, F-92100 Boulogne, France – julien.nelson@parisdescartes.fr

** Arts et Métiers ParisTech, LCPI, 151, bd de l'Hôpital, F-75013 Paris, France – stephanie.buisine@ensam.eu

*** Arts et Métiers ParisTech, LCPI, 151 bd de l'Hôpital, F-75013 Paris, France – ame-ziane.oussat@ensam.eu

Comme les autres métiers de la conception représentés (ingénieurs et designers industriels), les ergonomes ont pu générer des idées sur les usages futurs possibles des produits, mais leur expertise leur a permis d'en produire davantage. Les outils proposés montrent un besoin de structurer l'exploration d'usages dans les phases en amont du processus. Ils ont permis de meilleures performances chez les concepteurs travaillant sur la table interactive, mais les résultats ont été moins concluants pour le travail sur l'équipement de sécurité. L'AMDEC modifiée pourrait, enfin, permettre de répartir l'interprétation des scénarios sur plusieurs équipes de travail. Ces résultats, enfin, encouragent au développement d'une ergonomie prospective de l'innovation.

Mots-clés : *Conception innovante, Conception de produits, Scénarios d'usage, Ergonomie prospective, Créativité.*

I. INTRODUCTION

Ergonomists involved in projects to design innovative products have, in recent years, been subjected to increasing pressure from the stakeholders of user-centred design projects (UCD) to optimize costs, quality and time by reducing the number of iterative cycles for product design and evaluation. In this context, they are increasingly requested to contribute to the early, ideative (*i.e.* idea-generation) stages of the innovative design process (Kantrovich, 2004; Zeng, Proctor, & Salvendy, 2010). At this stage, Brangier and Bastien (2006) argue, the classical methods of ergonomics, which are based on the analysis of existing activities or the simulation of future activities, may reach their limits. This is notably because this approach assumes that ergonomists can always identify clear situations of reference for analysis.

In the first part of this paper, we describe two situations of innovative design where the limitations of this assumption are particularly apparent: when working in « technology-push » design projects, and when working on situations that are inaccessible to activity analysis for practical and/or ethical reasons, *e.g.* when anticipating accident situations to design safety systems. In these instances, it is necessary for designers to generate scenarios of future use. In the second part, we introduce Creative Problem Solving (CPS) as a possible aid for the generation of *speculative scenarios of future use*, in an effort to address the limitations of analysing existing activities, outlined above, in the early stages of innovative design. Although some authors have advocated the use of CPS tools to assist the definition of future use in UCD (Maguire, 2001), to our knowledge, no study has focused on assessing the benefits of these methods in this task. Indeed, this task is rarely emphasized in UCD. The standard UCD process model places little emphasis on « anticipating future use », and focuses instead on « understanding the context of use » (ISO 13407, 1999). This suggests that the context of use is clearly defined, like the product concept, before the process begins. Such is not always the case in innovative design. In the third part of the paper, we describe an experimental protocol to assess the benefits of CPS tools, used in conjunction with tools from reliability engineering. Design teams

worked on a « brief » –an early and incomplete formulation of the product concept to be developed. They produced scenarios describing the future use of two innovative products. In the final section of the paper, we present the results obtained in this experiment, and discuss their implications for future research and practice in ergonomics.

II. CHALLENGES FOR ERGONOMICS IN INNOVATIVE PRODUCT DESIGN

II.1. SOME LIMITATIONS OF ACTIVITY ANALYSIS IN THE EARLY STAGES OF INNOVATIVE DESIGN

Innovation, specifically the introduction of a new good in a market, is viewed as a key aspect of development in a capitalist economy (Schumpeter, 1934). The term « new product development » describes the process whereby a company designs a new product, and launches it onto a market for purchase by consumers (Veryzer & Borja de Mozota, 2005).

Numerous authors have provided models of the process that leads to the design of new products (Howard, Culley, & Dekoninck, 2008). Typically, these models describe the evolution of the product being designed, from the ideational stages, which serve to generate concept ideas in response to a brief, to the end product that is launched onto the market. Between these two points, the product concept is gradually materialized through « Intermediary Objects of Design », or IODs (Vinck, 2009). A prototype is an example of an IOD: it allows designers to evaluate design decisions by confronting productions of the design process with representatives of future users in a specific context of use. Yet, the production of prototypes requires that the product concept be detailed enough to produce an IOD, the use of which can be analysed.

The contribution of ergonomics to design, and in particular NPD (New Product Design), often relies on the analysis of « real-world activities » and on the simulation of future activities (Daniellou, 1992; Béguin, 2007 a). Typically, parallels are drawn between existing reference situations (e.g. the use of an existing product having a similar function to the product being designed, or the use of an intermediary object of design) and the projected characteristics of future use. The analysis of the former then allows designers to extrapolate some features of the latter. This approach poses several problems in innovative design. Firstly, it may be difficult to imagine future activities based on the analysis of existing ones. The very reason why one designs a new product is to ensure that it will alter user activity. This has been called the « paradox of design ergonomics » (Theureau & Pinsky, 1984). Secondly, the notions of « users » and « product use » do not predate the product. They are products of the designer's activity (Bardini & Horvath, 1995; Redström, 2006). Before parallels can be drawn between present and future activities, the product concept must be detailed enough for designers to formulate expectations about who the users of the product will be, and what their future activity will be. This is a problem, because the

early stages of innovation projects are characterized by great uncertainty. The time between the early explorations of the design brief and the definition of the product concept, is sometimes termed the « *fuzzy front-end of innovation* » (Reid & de Brentani, 2004). Ergonomics is often unable to contribute to these stages of the NPD process (Kantrovich, 2004). Robert and Brangier (2009) have pointed this out as a major milestone for the development of the discipline. To us, there are two situations of innovative design where limitations of the traditional approach of ergonomics are especially apparent.

The first situation, pointed out by Anastassova (2006), is the design of « emerging technologies », which is often motivated by a strong drive toward technological innovation. This implies uncertainty regarding future use, typically in the early stages of the process. For example, a company specialized in an innovative technology may undertake projects to introduce a technological innovation. The primary goal of design is to materialize this innovation. Product use is usually a secondary concern, at least in the short term. Project stakeholders typically choose product applications with little prior investigation of user needs and activities. It follows that there is little creativity in the *generation* of product concepts.

The second situation stems from the fact that once a concept has been generated, it must be *validated* before the process can continue. Designers achieve this by examining the concept within the « space of variability » of future use (Daniellou, 2004). Some authors (*e.g.* Mallard, 2005) have stressed that it is never possible to validate the product concept through comprehensive anticipation of future use: there will always be unforeseen situations of use, confronting the product with new challenges. However, in some projects, there is pressure to anticipate future use as precisely as possible before the product is materialized and launched. Adamski and Westrum (2003), in safety systems design, call this *requisite imagination* –the ability of designers to foresee a wide range of situations without necessarily relying on real-world data, when such data are unavailable, *e.g.* when dealing with rare accidents.

II.2. USING SCENARIOS TO DEFINE FUTURE USE IN THE EARLY STAGES OF INNOVATION PROJECTS

Carroll (2000) points out that decision-making in design can rely on « scenarios of future use », which he defines as « stories about people and their activities ». De Sá and Carriço (2008) write: « *The generation of scenarios and personas during the design process is an implicitly enormous task, including an endless variety of combinations and presenting itself as a difficult and demanding task to designers. Still, given the impossibility of visiting and observing all the possible usage settings and contexts, this scenario generation process is many times mandatory and indispensable during early design stages* ». Hanington (2003) describes two types of scenarios: speculative scenarios, which « *may be used to test ideas of product engagement and use* » during the early work on the design brief; and actual scenarios, which « *may involve actual product testing* », in the later, evaluative stages. Concept generation

and validation in innovative design are, then, both dependent on the production and on the critical examination of scenarios.

One way to assist design is therefore to help designers generate speculative scenarios of future use in the fuzzy front-end of the innovation process, particularly in the situations quoted above as exemplifying the limitations of traditional methods of design ergonomics. At this stage, speculative scenarios of use allow designers to define expectations related to future use. The more designers are able to generate and explore scenarios of future use, the better they will be able to specify and select innovative product concepts. Only once this is done can more traditional methods of activity analysis and simulation-based ergonomics be used in the process.

Designers must, therefore, be able to generate speculative scenarios of use and examine them to (a) assess the benefits and drawbacks of a particular concept with respect to future use, and to (b) pilot future design projects. Carroll and Rosson (1992) have termed this process *claims analysis*. Based on scenarios, designers generate positive claims (*i.e.* related to advantages) and negative claims (*i.e.* related to drawbacks) regarding future use. This specifies which characteristics of design should be preserved, and which should be eliminated. In the initial stages, it may also help stakeholders decide which projects are worth approving for further development, and which must be abandoned. This, according to Robert and Brangier (2009), is a key function of « prospective ergonomics ».

The form that scenarios should take is a long-standing issue (Carroll, 2000). There is a consensus that scenarios are « stories of use », but there are no real guidelines as to how detailed a scenario should be, in order to be relevant to design. In the ideative stages of design, one can argue that the goal of scenarios is to raise interest in specific issues and concepts of use, so that these can be explored in subsequent stages. The only requirement is that designers should be able to formulate « propositions » regarding a product concept. This term, which was introduced by Hatchuel and Weil (1999), refers to statements that designers *hold to be true* regarding the product –specifically, for us, concerning its future use. Such propositions can trigger:

- Expansions of a *design concept*: decision-making allows designers to specify the product concept and define expected future use. This allows the design process to move forward;
- Expansions of *knowledge*: For example, early discussions might focus on establishing « comfort » as an important issue regarding a specific product concept. Subsequent investigations and discussions would then allow designers to clarify exactly what is meant by « comfort in use » for a specific project or product concept;

In this paper, we define scenarios as *ideas regarding future situations of use, allowing designers to formulate claims related to the possible advantages and drawbacks of a particular product concept in use*. In the « fuzzy front-end » of NPD, a scenario does not need to satisfy all of Carroll's (2000) criteria pertaining to its contents –to have a well-defined setting, agents, goals, and a plot– as long as designers can make claims regarding future product

use. These claims can, if needed, be investigated in later stages using more traditional methods of ergonomics. Activity analysis, for example, is a way for designers to generate and refine claims, but it requires for the product concept to be clearly defined. The key questions, in terms of research, are these: how can one assist generation and exploration of scenarios of future use, in the early stages of innovation processes when the concept is ill-defined with respect to future use? How should these scenarios guide the later stages of design?

II.3. « USE FRAMES » AS AN INTERMEDIATE STEP TO BUILDING SPECULATIVE SCENARIOS OF USE

It has been said that the contribution of ergonomics to design relies on characterizing a « space of variability » of human activity (Daniellou, 2004). In product design, which our work focuses on, some have contended that this variability is greater than in, for example, work system design (Valentin, Lancry & Lemarchand, 2010). Since the goal of innovation is to allow a wide audience of users to encounter a new product, this greater variability impacts both the characteristics of users, and possible contexts of use.

To cope with this variability, one suggestion has been to structure ergonomic interventions by identifying « characteristic situations of use » of the system to be designed (Jeffroy, 1987; Daniellou, 1992). The practitioner must first describe the general « frame » of the intervention. In work system design, this implies identifying, within an existing or projected system, which operators are involved, what their tasks are, which tools are used, etc. (Daniellou, 1985). Clearly, this approach is not valid in the « fuzzy front-end » of NPD, where some of these elements may be ill-defined or unknown. Such situations, as stated above, may rely on analysing not real-world situations, but *speculative scenarios*. Yet the need to structure the exploration of variability in future use, we contend, is still present.

De Sá and Carriço (2008) propose a framework for scenario generation, based on combining variables related, for example, to locations and settings (*e.g.* lighting or noise conditions), to devices and their usage (*e.g.* interaction modes), etc. Combining these variables, each within a specific set of values, allows designers to generate frames for use. In turn, each frame may serve as an intermediate structure to produce several scenarios. Although the authors provide examples of scenarios generated by using this framework, they fail to specify how it can be implemented in design projects. Viewing « use frames » as intermediate structures for scenario generation in the early stages of NPD, two questions arise. First, how should ideas be generated with respect to the various elements of the use frame? Second, how can one decide which combinations of use frame elements should be explored, and subsequently, generate scenarios? Our work aims to provide tools to answer both of these questions. For both, there is an element of anticipation of future use. The section below describes some limitations of anticipatory reasoning in designers. We then go on to show how the components of our method are expected to address these limitations and improve performance of design teams in this aspect of their work.

III. DESIGN AS ANTICIPATION OF FUTURE USE

III.1. ANTICIPATION OF FUTURE USE IS CONSTRAINED AND GUIDED BY DESIGNERS' KNOWLEDGE

Cognitive ergonomics has described design as the progressive specification of an artefact (the product). This relies on the generation, transformation, and evaluation of mental representations (Visser, 2009). Visser also notes that the generation of representations relies on external resources –such as the design brief, which embodies the initial design requirements– as well as internal resources, notably knowledge stored in designers' long-term memory. This has led Béguin (2007 b), for example, to argue that the end product of design « *crystallizes* a knowledge, a representation or a model » of users and their activity (emphasis in original).

Another way to see this is to say that designers' knowledge *constrains* their representations of future use. Indeed, as we have pointed out above, the user –as well as his/her tasks– are first and foremost, constructions made by designers, based on available knowledge, to further the design process. Typically, for example, designers anticipate user needs and activities by relying « *on personal experience, [...] replacing [their] professional hat with that of the layman's* » (Akrich, 1995). The perils of designers « *designing for themselves* », are usually used as an argument to involve users early in the design process. However, this is only possible if the identity of users is clearly defined.

This reliance of designers on themselves as representatives of typical users, termed « *I-methodology* » by Akrich, can be seen as an example of the « *foresight bias* » (MacKay & McKiernan, 2004). According to these authors, scenario building rests on « *a combination of past experiences, cultural mythologies, routinised behavior, religion, ideology, the media, entertainment and so on* ». The result is « *an over-confident and over-simplified view of the future* ». This is a direct threat to innovation, which is defined by product concepts evolving, and products finding new identities throughout design and use (Hatchuel & Weil, 1999). Creative Problem Solving (CPS) tools are typically used to assist these « *conceptual expansions* ». We describe below how these methods have so far been used as a tool for UCD. We then argue that CPS methods may be used to help designers anticipate and negotiate future use in the early stages of innovative design.

III.2. CREATIVE PROBLEM SOLVING TOOLS AS MEANS TO ASSIST THE CONSTRUCTION OF SCENARIOS OF FUTURE USE

Creativity may be defined as « the ability to generate an idea, a solution or a production that is both new and suited to the situation –and, in some cases, considered as being of some usefulness or value » (Bonnardel, 2009, our translation). It is a cornerstone of innovation, and several authors have attempted to model it, both as a manifestation of human activity and as an element of the design process (e.g. Boden, 2004; Howard *et al.*, 2008). From an industrial point of view, the goal of these efforts is often to help

ideation in the early stages of design, yielding greater control over the innovative design process.

Creative Problem Solving (cps) is a model of the creative process developed by Osborn (1957) to train individuals to think more creatively. It is geared towards improving performance in idea production. *Brainstorming* is the most famous contribution in Osborn's work. It is based on four simple rules: 1) criticism is ruled out ; 2) freewheeling is encouraged ; 3) quantity is wanted ; and 4) combination and improvement are sought. CPS has been mentioned as a possible tool to assist UCD (*e.g.* Maguire, 2001). Yet, we feel that the potential of these methods for UCD has not been fully explored, for two main reasons.

Firstly, CPS has been used mainly to answer questions only once designers were past the « fuzzy front-end of innovation ». For example, it has served as a tool to involve users in a participatory design process, specifically to elicit user requirements in a more comprehensive manner, *e.g.* in the Group Elicitation Method (Boy, 1997). It has also been used by designers operating in a UCD process, at a stage where the users and context were identified: Oulasvirta, Kurvinen and Kankainen (2003) have used brainstorming « in the wild » to analyse user needs and generate creative product concepts to address them. In both these cases, the identity of the future users and, to some extent, the context of use, are identified before to the CPS tools are used. Few authors, in contrast, have used these tools to generate ideas relative to the basic « building blocks » of use frames, to *construct use* in the ideative stages of the process (see however Hackos & Redish, 1998). CPS methods are expected to allow expansions of designer knowledge regarding future use and/or product concepts in UCD.

Secondly, Osborn's claims regarding the effectiveness of brainstorming have prompted research on the cognitive and social factors which impact group performance in idea generation tasks (Paulus, 2000; Stroebe, Nijstad, & Rietzschel, 2010). Unexpected –but consistently observed– experimental results, such as productivity loss in individuals interacting in groups *vs.* those working alone, led to new tools being derived from brainstorming to circumvent its limitations, such as brainwriting (Paulus & Yang, 2000). These studies also led to social-cognitive models of idea generation in groups. These models aimed to verify other claims made by Osborn, such as the importance of stimulation through confrontation of multiple points of view in a group (Nijstad & Stroebe, 2006; de Dreu, Nijstad, & Van Knippenberg, 2008). Despite the fruitfulness of this research, group productivity in idea generation is often assessed only in fairly abstract tasks. With the possible exception of the « alternate uses task », which instructs participants to imagine as many uses as possible to an existing artefact (*e.g.* a brick, a paperclip, etc.), CPS tools have not been experimentally assessed in their ability to assist designers in the task of exploring future use –and never in the early stages of the innovation process.

The work presented in this paper aims to fill this theoretical and methodological gap. In the next section, we describe an experimental protocol that aims to assess the effects of CPS methods on idea production regarding scenarios of future use, as defined above.

IV. METHOD

IV.1. SCENARIO GENERATION AND EXPLORATION: AN IDEATIONAL APPROACH AND HYPOTHESES

Integrating ergonomics in the ideational stages of the innovative design process changes the object of ergonomists' activity. Instead of focusing on « real-world situations of use », it focuses on *potential* situations, which exist only as ideas. This is especially necessary when the concept formulation in the design brief does not allow ergonomists to identify clear references for ergonomic analysis to apprehend future use. However, idea generation is only one part of the problem. The creative design process includes alternating *divergent* (idea generation) and *convergent* (idea selection) stages (Copley, 2006). As the project advances, this process focuses on increasingly specific design features.

We posit that the variability of human activity makes it even more necessary for designers in the ideative stages of innovation to rely on *an intermediate step* between the design brief, and generating scenarios of future use. In section II.2, we proposed the construction of « use frames » as this intermediate step. Our process model therefore comprises two cycles of divergence-convergence. Figure 1 shows overall the structure of the innovation process following this assumption. As noted by Brangier and Robert (2010), prospective ergonomics –that our toolbox focuses on– precedes the more classical design ergonomics, which follows concept validation, and corrective ergonomics, which follows product launch.

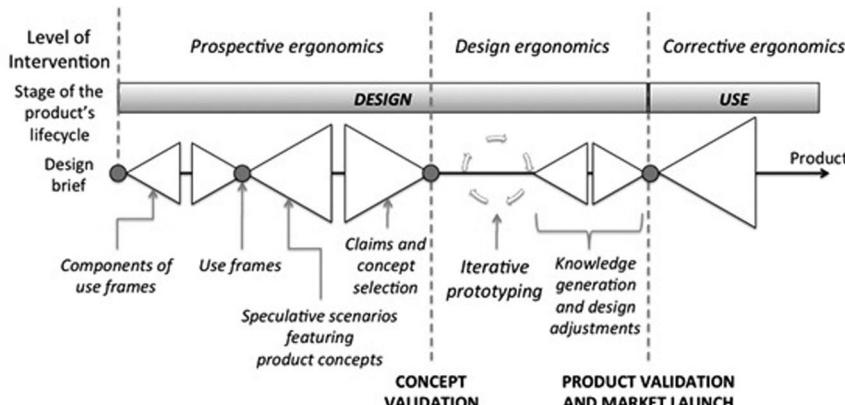


Figure 1 : Overview of the innovation design process integrating prospective, design, and corrective ergonomics

Figure 1: Un aperçu du processus de conception innovante proposé, intégrant l'ergonomie prospective, l'ergonomie de conception et l'ergonomie corrective

If one likens the contribution of ergonomists to the ideative stage of NPD to an idea generation task, the question becomes: how can one assess

a design team's performance, and more specifically the effects of the tools proposed? To do this, we rely on the paradigm of *group idea generation*. Following Osborn's (1957) original work, a basic criterion of performance assessment is ideational fluency: the number of answers produced in response to a specific problem. Other criteria have also been devised to assess creativity (Plucker & Makel, 2010), including measuring the unique character of responses (*originality*), or the number or uniqueness of response categories (*flexibility*). In this paper, we focus on fluency, which is used even today as a primary criterion of creative performance.

We have argued, in prior work, that the scenarios constructed in the early stages of the innovation design process, drive this process based on one main question: do these scenarios describe situations which are *desirable* or *undesirable* from the point of view of stakeholders? (Nelson, Buisine, & Aoussat, 2009). In this view, likening the anticipation of future use to « chain-generating ideas » is not enough; one must also consider, amongst other things, how designers perceive their performance with respect to the goal of anticipating the future use of a product. The concept of *perceived self-efficacy* was developed to understand the factors underlying people's beliefs regarding their own capability to produce certain effects in their activity (Bandura, 1997). Here, the « intended effect » is to help designers make relevant design decisions based on claims generated in the ideative stages of the innovation process. This concept of self-efficacy is important to our work, since it leads designers to advance in the design process, based on *assumptions* on future use.

Returning to our process model (Figure 1), ideas are produced at both steps of creative divergence, but not with the same degree of precision. First, participants produce ideas regarding elementary components of the future context of use. These are then combined to formulate *frames*. Second, based on these frames, they generate *scenarios* of future use. As stated above, these scenarios need not have all the components of a detailed story. They can be very short, merely describing an interesting setting in just a few words. The point is that they can be analysed in terms of positive and negative claims regarding the future use of the product.

From there, four hypotheses can be made regarding the effects of CPS on the construction and exploration of scenarios of future use:

- H1. CPS methods are expected to improve ideational fluency in the stages preceding concept validation in Figure 1, both regarding the number of *elements of use frames* generated, and the number of *scenarios* produced from these frames;
- H2. Equity, in Osborn's paradigm, can be seen as a desirable characteristic of group idea generation (Buisine, 2010). When generating ideas regarding future use, however, ergonomists are expected to be more fluent than other design professionals (e.g. industrial designers or engineers). Indeed, through professional experience, ergonomists collect data and information regarding a wide variety of situations of human activity, which may lead them to construct a « library of situations » to reuse their knowledge in future projects (Daniellou, 2004). This library then becomes a resource for idea generation;

- H3. CPS methods are expected to improve participants' perception of their self-efficacy when anticipating future use;
- H4. As CPS is geared towards fluency, this raises the issue of organizing creative production (scenarios of future use), to help designers generate claims and prioritize design at the end of the concept validation stage. To prevent the team from being swamped in a « sea of ideas », one solution might be to allocate creative production to several different teams. However, designers involved in the creative production process are expected to generate claims related to hazards and opportunities in future use more efficiently than « newcomers » who are strangers to this production.

IV.2. CHOOSING RELEVANT METHODS FOR CPS

Our method for scenario generation and analysis comprises two stages (Figure 2; see also Nelson, Buisine, & Aoussat, 2010).

In the first stage, participants used a brainwriting procedure to generate ideas related to elements of the use frame, then combined these ideas using morphological analysis to generate prospective scenarios of future use. This therefore corresponds to 1.5 cycles in Figure 1: generating ideas related to use-frame elements (divergence), combining them within a morphological analysis matrix (convergence), and generating ideas related to scenarios of future use (divergence). Our reasons for choosing these methods are specified below.

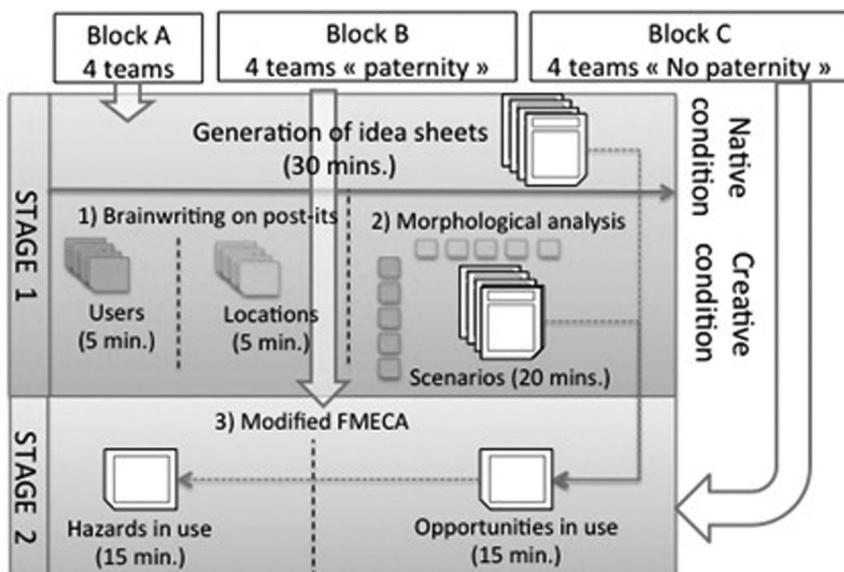


Figure 2 : Overview of the experimental protocol
Figure 2: Schéma du protocole expérimental

Brainwriting is expected to improve fluency compared with Osborn's standard procedure, for numerous reasons (Heslin, 2009): it prevents production blocking by forcing group members to communicate in written form, using different-coloured inks. This reduces the risks related to sharing ideas in a turn-based medium (*e.g.* forgetting one's ideas, losing patience). It also reduces « social loafing » (*i.e.* the tendency for some members to underperform in a group) since participants are likely to feel more accountable for their performance if idea authorship is easy to trace.

Morphological analysis is a method that involves combining ideas to generate new outcomes. Possible values for two variables in the problem space (*e.g.* design issues *vs.* possible concepts of solutions) are plotted in the rows and columns of a matrix. Each cell of the matrix, at the intersection of row *a* and column *b*, contains ideas generated by designers and featuring the corresponding combination of variables (*e.g.* the particular benefits of concept *x* with respect to issue *y*). It is a common tool in prospective analysis, and allows foresight to be based upon systematic evaluation of future contexts (Voros, 2009). However, which criteria should one use for such evaluation? We chose the criterion of designers' subjective appreciation of ideas regarding components of the use frame (users, locations, etc.), as being *a priori interesting to explore*, to conduct morphological analysis. The participants chose five interesting locations and five interesting user populations to construct a 5-by-5 matrix. Scenarios produced from this matrix serve as IODs, either to promote interest in specific product concepts and contexts of use, or to dismiss them from further investigation.

In the second stage, participants reprised the creative production from stage 1, and assessed it using modified FMEA tables. FMEA (Failure Modes, Errors and Criticality Analysis) is a common method in engineering, which encourages a componential and inductive approach to risk analysis. The elementary components of the system are examined sequentially. Inductive reasoning allows the analyst to diverge and envision a) multiple possible *failures* of the technical components, b) multiple possible *causes* for these failures, and c) multiple possible *strategies* to prevent them. This tool therefore presents an interesting potential for multiple levels of creative divergence; but it is not fully suited to the characteristics of the scenario-based design process (Rosson & Carroll, 2002). Indeed, assessment of scenarios is based on negative, but also positive, claims. It seemed necessary to take into account this aspect of scenario-based design by allowing participants to consider not just the *hazards*, but also the *opportunities* that lay in each scenario.

IV.3. PARTICIPANTS

Forty-eight people (16 men and 32 women) were asked to take part in simulations of exploratory meetings taking place in the early stages of innovation design projects. The goal of these meetings was specifically to discuss and anticipate future use of the products that were to be designed. To account for the various points of view expressed in a multidisciplinary design team, participants were selected depending on their background.

Thirty-six participants were design professionals (12 engineers, 12 ergonomists, and 12 industrial designers). Additionally, twelve subjects, said to be « naive », had no experience or training in design. They were recruited to stand in as representatives of future users, in this stage of the process where the definition of the future user was incomplete. We recruited non-designers in an effort to avoid designers acting as « reflective users » (Bardini & Horvath, 1995). Participants were divided into twelve teams of four people, each team comprising one subject from each of the four backgrounds.

As seen in Figure 2, participants were divided into three blocks of four teams, noted A, B, and C. Participants from block A only took part in stage 1 of the experiment, not in stage 2. Those from block B took part in both stages, rejoining in stage 2 their creative production from stage 1, *i.e.* post-its and idea-sheets. Those from block C took part only in stage 2: each team from block C used the creative production of one of the teams from block B. Comparing the performances of blocks B and C in stage 2 allowed us to verify the paternity (H4) hypothesis.

IV.4. MATERIALS

The experiment took place in a meeting room in our laboratory. Each team was provided with two design briefs. Each brief described the intended attributes of an innovative product, which the participants were asked to work on. It also included several visual IODs. In order to account for the two distinct situations in innovative design which pose problems for activity analysis –concept generation and concept validation (see section II.1)– teams worked on two different projects. The goals of these projects were, respectively, to design:

- a. An inflatable necklace to prevent the drowning of infants (Nelson, Buisine, Auissat, & Duchamp, 2009), named *Little Mermaid*. The goal of the meeting was to *generate scenarios of use for this product in order to validate and possibly expand the product concept*;
- b. An interactive tabletop interface, supporting multi-touch and multi-user recognition, named *Digitable* (Buisine, Besacier, Auissat, & Vernier, 2012). The goal of this meeting was to *envision applications for this innovative technology, to support collaborative activities*.

Depending on the goal of the session, the visual IODs provided were not the same. In project *Little Mermaid*, where the product concept was clearly defined, some of the design roughs generated during the project were provided. In project *Digitable*, where the concept was more open to further specification, the objects used were pictures of similar, existing, Human-Computer Interfaces. The pictures were intended to be « use-neutral »: they allowed designers to see users interacting with a generic tabletop interface, but gave no clues regarding what tasks the users carried out on the interface, so as not to constrain idea generation.

Materials provided to the participants in the creative condition were as follows:

- for the brainwriting task, pads of post-it notes to record ideas regarding future users and locations of future use;

- for morphological analysis, the post-its produced during brainwriting and a pad of blank idea sheets. These sheets allowed participants to describe scenarios of future use in whatever way they preferred (*e.g.* using text, a storyboard, etc.);
- for the modified FMECA task, the idea sheets generated during stage 1, as well as a pad of tables to identify hazardous uses, and one to identify interesting uses. Both these tables included one column to note what idea sheet they were referring to, one column to specify their claim regarding use, and one to grade the claim on a 5-point Likert scale (1 = not very dangerous/interesting, 5 = very dangerous/interesting).

Participants discussing future use in the native condition were only provided with some blank idea sheets to record their ideas. Throughout the session, participants from each background wrote in different-coloured ink to allow us to trace the source of each written production.

Although some participants were familiar with the three tasks, carrying them out to define possibilities of future use is by no means a standard part of UCD. These tools are more typically used to solve problems of a technical nature, or to generate ideas regarding product concepts, but not regarding product use.

IV.5. PROCEDURE

Stage 1: Participants were asked to « anticipate as many uses as possible » for the product they were working on, working as a team and using the sheets provided to record their ideas. They were also instructed not to restrict their exploration to situations where « everything went well », but to also include situations that presented a hazard to the user, product, society, etc. Based on the hypotheses presented in section IV.1, the following independent variables were manipulated following a 2*2 design:

- condition (2): *creative* (using the CPS methods described in section IV.2) or *native* (open generation of scenarios of future use, without using these tools);
- project type (2): *Digitable* (concept generation) or *Little Mermaid* (concept validation).

Teams worked successively on both conditions. A counterbalanced design was used to control effects of condition order and project type. In both conditions, the time limit for task completion was 30 minutes. Additionally, the *background* variable (engineer, ergonomist, industrial designer, naive subjects) was recorded to verify the second hypothesis.

In the *native* condition, participants were given no other instructions.

In the *creative* condition, participants were provided with the CPS materials described in section IV.4. The rules of brainwriting were then read out loud. These include Osborn's four original rules of brainstorming (*Criticism is ruled out; Freewheeling is encouraged; Quantity is wanted; Combination and improvement are sought*). In addition, participants were invited to write their answers to the questions in silence, on post-it notes.

After writing down an idea, participants were asked to put the pad of notes back on the table, and to take another pad. They removed the used note from that pad, and stuck it at the centre of the table in view of other participants. Five pads were used in total, allowing circulation of ideas between participants. This procedure is adapted from Paulus and Yang (2000). The following questions were asked: 1) « *Who might the future users of this product be?* » Followed by 2) « *Where might this product be used?* » The time allocated for answering each question was 5 minutes. Participants were then requested to select, for each question, the five answers they felt were most interesting. They used the corresponding post-its to construct a 5-by-5 matrix for morphological analysis. Finally, they used the idea sheets to record their ideas regarding scenarios, using the matrix as a guide. The time allocated to filling in this matrix was 20 minutes.

Stage 2: Participants were provided with the creative output of one of the teams from stage 1 (post-it notes and idea sheets) and were asked to fill the tables for hazard and opportunity analysis. The issue here was not only to verify the relevance of these tables to help generate and grade claims regarding future use; we also wished to verify whether participants with no paternity over the creative production could do so as fluently as the participants who had generated this output themselves. Therefore, the following independent variables were manipulated following a 2*2 design:

- paternity of the creative production (2): yes (teams from block B) or no (teams from block C);
- project type (2): *Digitable* (concept generation) or *Little Mermaid* (concept validation).

As in stage 1, the *background* variable was also recorded.

At the end of each condition in stage 1, and at the end of stage 2, participants filled in a questionnaire to assess various aspects of perceived self-efficacy. The questionnaire was constructed following the guidelines proposed by Bandura (2006).

IV.6. DATA COLLECTION AND ANALYSIS

All written traces produced during the meetings were collected. Participants' activity was video-recorded with prior consent. All verbal utterances were transcribed *verbatim* using the *Transcriber* software program. Redundancies between oral and written creative production were filtered out to clarify the authorship of the various ideas produced. Indeed, in many sessions, teams appointed a « scribe » to write down the scenario ideas that emerged in the conversation, *a)* when filling in the morphological analysis matrix in stage 1, and *b)* when using the modified FMECA tables in stage 2. In both cases, authorship was given to the person who uttered the idea orally first, not to the scribe.

Verbal production was coded as follows. Each block of text and/or sketches related to a situation of future use was counted as a *scenario*, regardless of how well defined it was. In each scenario, we isolated all oral

mentions to three elements of the use frame: populations of future *users*, future *locations* of use, and future user *activities*. This yielded a total of four dependent variables (DVs) for ideational fluency:

- the number of ideas related to *scenarios* of use;
- the number of ideas related to *users*;
- the number of ideas related to *locations* of future use;
- the number of ideas related to user *activities*.

Similarly, performance in the use of the modified FMECA tables from stage 2 was assessed using four DVs:

- the number of items generated in the hazards table;
- the number of items generated in the opportunities table;
- the sum of scores attributed to the items in the hazard table;
- the sum of scores attributed to the items in the opportunity table.

Finally, perceived self-efficacy related to the participants' work was assessed through eight DVs, graded 1 to 100: perceived ability to *anticipate future use*; perceived ability to *assist designers* working on the project in future; perceived ability to design a *safe product*; perceived ability to design an *interesting product*; ease in carrying out the anticipation *tasks*; ease in *applying the tools* provided; overall *usefulness* of group work; and perceived *conviviality* of group work.

V. RESULTS

Tables 1 and 2 below provide an overview of the data obtained in stages 1 and 2 of the experiment.

TABLE 1

Mean values for fluency DVs in stage 1 (SDs in brackets).

Moyennes des VD de fluence dans l'étape 1 (écart-types entre parenthèses).

		# ideas for scenarios	# ideas for locations	# ideas for users	# ideas for activities
<i>Condition</i>	<i>Creative</i>	5.2 (3.9)	7.1 (3.8)	6.9 (3.3)	7.2 (6.3)
	<i>Native</i>	5.4 (5.5)	5.0 (5.9)	5.2 (6.2)	8.1 (11.1)
<i>Project type</i>	<i>Digitable</i>	6.5 (5.5)	6.4 (5.3)	6.2 (4.7)	10.5 (11.0)
	<i>Little Mermaid</i>	4.1 (3.6)	5.6 (4.8)	5.8 (5.3)	4.8 (5.1)
<i>Professional Background</i>	<i>Designer</i>	4.9 (4.5)	4.5 (3.9)	6.4 (6.6)	6.9 (10.3)
	<i>Ergonomist</i>	8.2 (5.5)	9.9 (6.0)	7.6 (5.4)	13.6 (10.9)
	<i>Engineer</i>	5.4 (4.5)	6.1 (4.5)	5.8 (4.0)	6.5 (6.3)
	<i>Naïve</i>	2.9 (2.7)	3.6 (3.2)	4.3 (3.4)	3.7 (4.1)
Overall		5.3 (4.7)	6.0 (5.0)	6.0 (5.0)	7.7 (9.0)

TABLE 2

Mean values for hazard/interest DVs in stage 2 (SDs in brackets).

Moyennes des VD sur les usages intéressants/dangereux dans l'étape 2 (écart-types entre parenthèses).

		# items for hazards	# items for opportunities	Total score for hazards	Total score for opportunities
<i>Paternity</i>	Yes	4.0 (2.5)	3.0 (3.0)	14.9 (10.8)	12.4 (13.7)
	No	2.6 (2.3)	2.7 (2.2)	8.8 (7.7)	9.1 (7.8)
<i>Project type</i>	<i>Digitable</i>	2.7 (2.0)	2.2 (2.5)	8.9 (7.1)	9.2 (11.9)
	<i>Little Mermaid</i>	3.9 (2.8)	3.4 (2.6)	14.8 (11.3)	12.2 (10.5)
<i>Professional Background</i>	<i>Designer</i>	4.1 (2.4)	3.1 (1.5)	14.7 (9.8)	9.6 (3.7)
	<i>Ergonomist</i>	4.5 (2.9)	4.6 (3.7)	15.2 (10.6)	19.4 (17.2)
	<i>Engineer</i>	3.1 (2.4)	2.4 (2.3)	12.0 (10.0)	9.1 (8.7)
	<i>Naïve</i>	1.5 (1.4)	1.2 (1.5)	5.5 (6.4)	4.7 (5.7)
Overall		3.3 (2.5)	2.8 (2.6)	11.9 (9.7)	10.7 (11.1)

V.1. EFFECTS OF THE CPS METHODS ON FLUENCY REGARDING FUTURE USE

The creative condition was found to have no significant effect on fluency in generating ideas for scenarios of use, user populations, and user activities. However, we noted a main effect of the condition, on the fluency of ideas concerning *locations* of use: participants in the creative condition produced significantly more ideas than those in the native condition ($F(1/48) = 3.98$, $p = 0.052$). Furthermore, an interaction was found between *condition* and *project type* ($F(1/48) = 8$, $p = 0.007$): participants were slightly more fluent when working in the native condition on the *Little Mermaid* project, and when working in the creative condition on the *Digitable* project.

These results partially confirm H1. In our protocol, CPS in the first divergent stage (*i.e.* the brainwriting task) served as a preliminary stage, and allowed subjects to generate ideas concerning elementary components of use frames. This did not translate to subjects producing significantly more scenarios. But this observation can be partly explained, by the fact that none of the teams had enough time to fill all the cells of the morphological analysis matrix within the allotted time of 20 minutes. One should also point out that participants were unable to capitalize on their entire production, since it was immediately followed by a stage of convergence (*i.e.* selecting interesting ideas to construct the matrix).

V.2. EFFECTS OF PROFESSIONAL BACKGROUND ON IDEATIONAL FLUENCY

Stage 1: ANOVA showed a main effect of the background on the number of ideas produced regarding scenarios ($F(3/48) = 4.19$, $p = 0.01$). Ergonomists were found to generate significantly more scenario ideas, than

product designers ($p = 0.033$) and naive subjects ($p = 0.001$). Other pairwise comparisons indicated no other significant effects.

For the various elements of use frames (*i.e.* locations, users, and activities), several main effects of participant background on fluency were identified. First, it was found to exert a main effect on the number of ideas produced for future locations of use ($F(3/48) = 6.93, p = 0.001$). Pairwise comparisons showed that ergonomists produced significantly more ideas than participants from any of the three other backgrounds ($p < 0.013$). Other pairwise comparisons showed no significant effects. Second, a main effect of professional background on ideational fluency was found regarding the future *activities* of users ($F(3/48) = 4.33, p = 0.009$). Again, ergonomists were found to generate more ideas than any of the other profiles ($p < 0.023$). Other pairwise comparisons showed no other significant effects. However, unlike the results obtained for fluency in scenarios, locations and activities, no significant effects of participant background were observed on the fluency related to *populations of future users*.

Stage 2: ANOVA showed a main effect of the professional background on the number of claims related to *hazards* in future use ($F(3/16) = 2.77, p = 0.075$). Naive subjects made less claims than ergonomists ($p = 0.018$) and product designers ($p = 0.035$). No other significant effects were detected. In particular, this finding was not replicated when analysing claims related to *opportunities* in future use.

These results verify H2, confirming the superior ideational fluency of ergonomists when defining use frames and scenarios for design. However, our last point suggests that when assessing ideas (generated using CPS tools), particularly in terms of the opportunities that lay in future use, participants debated with greater equity.

V.3. EFFECT OF CPS METHODS ON SUBJECTIVE EXPERIENCE OF ANTICIPATORY WORK

ANOVA was also carried out on each of the dependent variables related to subjective experience, using the *Condition* as a within-group factor and the *Project type* as a between-group factor. The condition was found to exert a significant effect on the perceived ease of use of the tools proposed ($F(1/30) = 4.03, p = 0.054$). Participants found the toolset proposed in the creative condition –brainwriting and morphological analysis– easier to use than the open generation of scenarios in the native condition. No main effects of the CPS methods were identified for any of the other variables. However, we observed a main effect of the *project type* on the perceived ease of the anticipation task ($F(1/30) = 5.01, p = 0.033$): subjects found it easier to anticipate future use, when defining future applications in the *Digitable* project, than when validating the « inflatable necklace » concept for safety equipment, in the *Little Mermaid* project.

Interestingly, although no main effects were observed on participants' perceived ability to « design an interesting product », the *condition* and *project type* variables were found to interact with each other ($F(1/30) = 3.19$,

$p = 0.084$). When working on the *Mermaid* project, participants felt that they would be more likely to design an interesting concept for safety equipment if they used the CPS methods. But when working on the *Digitable* project, they felt that open exploration (*i.e.* in the native condition) would yield more interesting results.

These results partially confirm H3. They provide evidence of participants' need for structure when anticipating future use in the early stages of the design process. They also suggest that the modified FMECA tables have the potential to diversify the criteria that designers use to assess scenarios of future use. The « inflatable necklace » concept was clearly geared towards safety; yet participants using CPS felt that they were able to think of this product following other lines, to design not just a « safe » product, but a more « interesting » one as well.

V.4. EFFECTS OF THE PATERNITY OF CREATIVE PRODUCTION ON THE GENERATION OF CLAIMS RELATED TO FUTURE USE

ANOVA was performed on the four DVS used in stage 2 (number of items in the hazard/opportunity tables, and total hazard/opportunity scores). Concerning hazard claims, no effects of the project or paternity variables were found on fluency. However, participants who had paternity of the creative production graded claims related to hazards in use significantly higher than participants who did not. Hazard claims were also graded higher in the *Mermaid* vs. *Digitable* project ($F(1/16) = 3.37, p = 0.085$). Interestingly, no such effects were found for any of the opportunity variables (number of claims and total score).

The lack of significant effects of the paternity variable on three of the four variables taken into account (number of claims of interest, number of claims of hazards and total interest scores) suggests that teams of newcomers were able to perform just as well as teams who had generated the creative production themselves. With respect to our H4 hypothesis, this suggests that the problem of capitalizing creative production concerning future use may be, at least in part, managed by allowing a network of multiple groups to exploit the creative production derived from these work sessions. In the section below, we discuss the consequences of this and of our other research findings.

VI. DISCUSSION

VI.1. USING CPS TO GENERATE SPECULATIVE SCENARIOS OF USE: A QUESTION OF KNOWLEDGE

Our results raise several questions regarding the use of a creative idea production framework to help designers generate and assess scenarios of future use in the early stages of the innovative design process –particularly in projects where the design brief makes it difficult to identify references in terms of user activity, to generate and validate innovative product concepts.

CPS literature mainly focuses on improving idea fluency. This is based on the assumption that producing *many* ideas will increase the chances of producing many *good* ones (Osborn, 1957). This core assumption was demonstrated in the early days of the CPS model (Parnes & Meadow, 1959), and has been completed more recently. For example, Rietzschel, Nijstad and Stroebe (2007) note that this argument assumes that « good » ideas are generated randomly, at a constant rate. Instead, they suggest, idea generation depends on the *accessibility* of knowledge. Knowledge that is most accessible will be activated first, yielding the least original ideas. Knowledge that is less accessible will be activated later in the idea generation task, yielding more original ideas.

Although our experiment did not address originality *per se*, this hypothesis helps explain our results concerning the effects of CPS methods on fluency. Indeed, each of the two stages of the brainwriting task (generating ideas of potential users and locations of use) required subjects to explore a network comprising « clusters of semantically-related knowledge » (Rietzschel *et al.*, 2007, p. 935). Within the time frame allocated to each of the brainwriting tasks, participants were able to explore this network only partially. The effect of the creative condition on fluency *only for ideas related to locations of use*, also suggests that information regarding these was less accessible in the native condition, and made more accessible when using CPS methods. Indeed, generating ideas related to *locations* is not standard practice in scenario-building for UCD. Many authors highlight *user* characteristics as a more prominent element of this process (*e.g.* Bardini & Horvath, 1995; Akrich, 1995). The lack of effect of the condition on the other components of use frames might, then, be explained by the fact that the clusters were too easily accessed in either condition for any noticeable difference to emerge within the set time frame. This might also explain why the condition had no significant effect on fluency for scenarios of use: within the allocated time of 20 minutes, no teams were able to completely fill the matrix in the morphological analysis stage. CPS tools may have a more noticeable impact on idea fluency (both for scenarios and for use frame components), if subjects are allowed more time, as these tools allow them to access « clusters of knowledge » which are less easy to activate.

Results concerning the effects of the professional background suggest, from this point of view, that ergonomists' « semantic network » may comprise more knowledge than subjects from other backgrounds. The « semantic network » refers to the internal organization of knowledge. Concepts are organized in Long-Term Memory based on verbal references, but also on a wide array of semantic relationships that define « clusters ». For example, the term « games » is semantically related to *types* of games (*e.g.* board games, party games, etc.), to *specific* games (*e.g.* Monopoly or Cluedo). It follows that exploring a specific use frame may lead to numerous types and levels of knowledge being activated, thereby allowing the construction of numerous scenarios. Verifying this hypothesis, however, would justify a finer analysis of the content of participants' verbal utterances during the experiments. The results presented in this paper suggest that ergonomists are able to extract from this « library », some elements (users, locations, activities) to construct use frames and scenarios of future use.

While this is not standard practice today, ergonomists were able to generate ideas regarding future use in a speculative fashion, during the ideative stages of the innovative design process. Since classical methods of activity analysis may encounter difficulties in the early stages of innovative design, our approach may help ergonomists contribute better to the « fuzzy front-end of innovation ». Certainly, their superior fluency may help them generate more numerous and diverse scenarios of future use. However, it should be pointed out that ergonomists did not generate significantly more ideas than other professions in the claims analysis stage (stage 2). In the early stages of the process, the various types of design professionals generated on average just as many claims. Formulating explicit claims is likely to help ergonomists negotiate the investigation of those claims later on in the project, and influence innovation at the « fuzzy front-end ».

More research should be carried out to understand their superior fluency in generating frames and scenarios for future use. In addition to Daniellou's concept of « situation library », which highlights cognitive factors, research on group idea generation suggests that social factors may be involved (Paulus, 2000). The superior fluency of ergonomists might, then, also be due to the fact that participants from other backgrounds felt less legitimate to discuss future use. This raises questions regarding the relevance and feasibility of equity in idea generation when anticipating future use. It questions the position that ergonomists should take in design projects where user activity is initially undefined or ill-defined, and how they might best contribute to define it. This research should also integrate criteria other than fluency, *e.g.* originality, flexibility and elaboration to characterize how ergonomists' strategies in exploring future use may prove more efficient than those of other professions of design. Our current work focuses on these issues.

VI.2. CPS AS A « MAGIC BULLET » FOR SCENARIO-BASED DESIGN AT THE FUZZY FRONT-END OF INNOVATION?

Relying on a CPS framework for prospective ergonomics rests on the assumption that design, particularly in its conceptual stages, may be improved by allowing designers to anticipate *more* scenarios of use. Several authors have pointed out that this is just one approach to ergonomic design (Béguin & Cerf, 2004; Prost, 2008). Specifically, these authors identify three distinct postures in design professionals: *crystallization*, which relies on mental models of users and their activity, addressed in this paper; *plasticity*, which aims to maximize users' « room for manœuvre » to achieve maximum benefit in use; and *development*, which focuses on the joint development of users and artefacts. Although crystallization is clearly not enough to fully support all design needs, our results concerning subjective data, as well as the feedback gathered from participants following the experiments, suggest that designers felt a need for structure when exploring future use in the initial stages of design, and that CPS methods provided an easy alternative to open explorations of future use.

However, our results also suggest that the *project type* variable exerted complex effects on the work of our participants. The *Little Mermaid* project was viewed as more difficult to work on. Additionally, participants were more fluent on the *Digitalble* project when using CPS, but more fluent on the *Mermaid* project when freely anticipating future use. This may be explained in two ways.

First, these projects differed depending on *what stage* of the design process the designers were involved in. Participants viewed identifying innovative applications for an interactive tabletop interface as a more « open » problem, than validating the safety equipment concept. They felt that a static product concept made it difficult to redefine the underlying use frame, even when using CPS. For example, whereas CPS encouraged participants to specify the concept of « children » as users of the necklace in the *Little Mermaid* project, we were told « *a child is a child, there aren't that many ways about it* ».

A second explanation is that designers might be vulnerable to specific biases due to the *nature* and *outcome* of the anticipated scenarios of use. In our work on Participatory Design in the *Mermaid* project, we identified a number of biases whereby users of this product themselves would censor scenarios of future use in which infant users were subject to a hazard (Nelson, Buisine, Aoussat *et al.*, 2009). For example, future users would brush off some accident scenarios, saying « that would never happen, I never let my kid out of my sight ». If designers are subject to the same biases as future users, this suggests they may be acting as reflective users (Bardini & Horvath, 1995). Therefore, CPS methods fail to fully counter the biases of anticipating future use in such projects. This suggests that creativity tools are, for the time being, not « magic bullets » to comprehensively anticipate future use. But these tools *did* allow designers to explore other UCD stakes in the project, thinking of the necklace in different terms –as an « interesting » rather than just a « safe » product.

VI.3. MANAGING USE-CENTRIC CREATIVE PRODUCTION FOR CLAIMS ANALYSIS

The higher hazard scores in the paternity condition can be viewed as a by-product of participants' difficulties to question the project's use frame and underlying stakes (see section VI.2). With the exception of this result, the paternity variable was found to have no effect on the chosen DVS. This suggests that the creative production from the first cycle in our process model (see Figure 1) may be channelled by several design teams whose job would be to analyse the ideas produced and to generate claims for UCD. Using a distributed network of cells dedicated to the discussion of future use at the « fuzzy front-end » of innovation is not just a way to manage this creative production. Claims analysis may benefit greatly from this creative production being subjected to multiple points of view, *i.e.* those of multiple designers (as in our stage 2), but also those of multiple teams.

VII. CONCLUSION

This work has examined a method for generation and exploration of scenarios of future use which may allow ergonomists to contribute, within multidisciplinary design teams –and more fluently than other professionals from these teams– to the anticipation future use the early stages of the innovation design process. This method likens the generation of use scenarios to an idea generation task based on a design brief. This approximation was useful from an experimental standpoint « in the laboratory », but should also be assessed in a real-world industrial context.

Designers, and in particular ergonomists, were able to generate speculative scenarios of future use by combining ideas in multiple cycles of creative convergence/divergence. But this process would also, no doubt, benefit from gathering knowledge in early stages of design. We agree with Robert and Brangier's (2009) suggestion that this may be achieved by fostering collaborations between ergonomics and other disciplines, *e.g.* sociology, management science, etc. At the same time, however, the industrial pressure for increased efficiency of the design process tends to advocate limiting the expenses of knowledge-gathering. Further work should be carried out in order to define precisely what one means by « optimizing the UCD process » as far as this early user research is concerned.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was funded by a grant from the French Ministry for Education, Research and Technology. The authors would like to thank all participants for their co-operation. We are also grateful to Marianne Cerf and one anonymous reviewer for their insightful comments, which greatly helped us in revising this paper, and to Christine Esteves, for her contribution.

BIBLIOGRAPHIE

- Adamski A. J. & Westrum R. (2003), « Requisite Imagination, the Fine Art of Anticipating what Might Go Wrong », in E. Hollnagel (ed.), *Handbook of Cognitive Task Design*, Aldershot, UK, Ashgate, p. 193-220.
- Akrich M. (1995), « User Representations: Practices, Methods and Sociology », in A. Rip, T. J. Misa & J. Schot (eds.), *Managing Technology in Society. The Approach of Constructive Technology Assessment*, London, Pinter, p. 167-184.
- Anastassova M. (2006), *L'Analyse ergonomique des besoins en amont de la conception de technologies émergentes : le cas de la Réalité augmentée pour la formation à la maintenance automobile* (Doctoral Dissertation), Retrieved from <http://tel.archives-ouvertes.fr/> (N° tel. 00340103).
- Bandura A. (1997), *Self-Efficacy: the Exercise of Control*, New York, NY, W. H. Freeman and Co.
- Bandura A. (2006), « Guide for Constructing Self-Efficacy Scales », in T. Urdan & F. Pajares (eds.), *Self-efficacy Beliefs in Adolescents*, Greenwich, CT, Information Age Publishing, p. 307-337.

- Bardini T. & Horvath A. T. (1995), « The Social Construction of the Personal Computer User: the Rise and Fall of The Reflexive User », *Journal of Communication*, 45(3), 40-65.
- Béguin P. (2007 a), « Innovation et cadre socio-cognitif des interactions concepteurs-opérateurs : une approche développementale », *Le Travail humain*, 70(4), 369-390.
- Béguin P. (2007 b), « Taking Activity into Account during the Design Process », *@ctivités*, 4(2), 115-121. Retrieved from <http://www.activites.org/>
- Béguin P. & Cerf M. (2004), « Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception des systèmes de travail », *@ctivités*, 1(1), 54-71. Retrieved from <http://www.activites.org/>
- Boden M. (2004), *The Creative Mind: Myths and Mechanisms* (2nd ed.), London, Routledge.
- Bonnardel N. (2009), « Activités de conception et créativité : de l'analyse des facteurs cognitifs à l'assistance aux activités de conception créatives », *Le Travail humain*, 72(1), 5-22.
- Boy G. A. (1997), « The Group Elicitation Method for Participatory Design and Usability Testing », *Interactions*, 4(2), 27-33.
- Brangier E. & Bastien J.-M. C. (2006), « L'analyse de l'activité est-elle suffisante et/ou pertinente pour innover dans le domaine des nouvelles technologies ? », in G. Valléry & R. Amalberti (éds.), *L'Analyse du travail en perspectives : influences et évolutions*, Toulouse, Octarès, p. 143-156.
- Brangier E. & Robert J.-M. (2010), *Manifeste pour l'ergonomie prospective : anticiper de futures activités humaines en vue de concevoir de nouveaux artefacts*, Article présenté à la XXII^e Conférence francophone sur l'interaction homme-machine, Luxembourg : 20-23 septembre.
- Buisine S. (2010), « Quantitative Assessment of Collaboration », *International Reports on Socio-Informatics*, 7, 32-39.
- Buisine S., Besacier G., Aoussat A. & Vernier F. (2012), « How Do Interactive Tabletop Systems Influence Collaboration? », *Computers in Human Behavior*, 28(1), 49-59.
- Carroll J. M. (2000), *Making Use: Scenario-Based Design of Human-Computer Interaction*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Carroll J. M. & Rosson M. B. (1992), « Getting around the Task-Artifact Cycle: how to Make Claims and Design by Scenario », *ACM Transactions on Information Systems*, 10(2), 181-212.
- Cropley A. (2006), « In Praise of Convergent Thinking », *Creativity Research Journal*, 18(3), 391-404.
- Daniellou F. (1985), *La Modélisation ergonomique de l'activité de travail dans la conception industrielle : le cas des industries de processus continu* (Unpublished Doctoral Dissertation), CNAM, Paris.
- Daniellou F. (1992), *Le Statut de la pratique et des connaissances dans l'intervention ergonomique de conception* (2nd ed.), Bordeaux, Éditions du LESC de l'université Victor-Segalen-Bordeaux-II.
- Daniellou F. (2004), « L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail », in P. Falzon (ed.), *Ergonomie*, Paris, PUF, p. 359-373.
- Dreu C. K. W. (de), Nijstad B. A. & Van Knippenberg D. (2008), « Motivated Information Processing in Group Judgment and Decision-Making », *Personality and Social Psychology Review*, 12, 22-49.
- Sá M. (de) & Carriço L. (2008, April), *Defining Scenarios for Mobile Design and Evaluation*, Paper Presented at the CHI2008 Conference, Florence, Italy.
- Hackos J. T. & Redish J. C. (1998), *User and Task Analysis for Interface Design*, New York, NY, Wiley.
- Hanington B. (2003), « Methods in the Making: a Perspective on the State of Human Research in Design », *Design Issues*, 19(4), 9-18.

- Hatchuel A. & Weil B. (1999, March), *C-K Theory: Notions and Applications of a Unified Design Theory*, Proceedings of the Herbert-Simon International Conference on « Design Sciences », Lyon.
- Heslin P. A. (2009), « Better than Brainstorming? Potential Boundary Conditions to Brainwriting for Idea Generation in Organizations », *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 82, 129-145.
- Howard T. J., Culley S. J. & Dekonick E. (2008), « Describing the Creative Design Process by the Integration of Engineering Design and Cognitive Psychology Literature », *Design Studies*, 29(2), 160-180.
- ISO 13407 (1999), *Human-Centred Design Processes for Interactive Systems*.
- Jeffroy F. (1987), *Maîtrise de l'utilisation d'un système informatique par des utilisateurs non informaticiens* (Unpublished Doctoral Dissertation), CNAM, Paris.
- Kantrovich L. (2004), « To Innovate or not to Innovate? », *Interactions*, 11(1), 24-31.
- MacKay R. B. & McKiernan P. (2004), « The Role of Hindsight in Foresight: Refining Strategic Reasoning », *Futures*, 36(2), 161-179.
- Maguire M. (2001), « Methods to Support Human-Centred Design », *International Journal of Human-Computer Studies*, 55(4), 587-634.
- Mallard A. (2005), « Following the Emergence of Unpredictable Uses? New Stakes and Tasks for a Social Scientific Understanding of ICT Uses », in L. Haddon (ed.), *Everyday Innovators*, Berlin, Springer, p. 39-53.
- Nelson J., Buisine S. & Auossat A. (2009), « Assisting Designers in the Anticipation of Future Product Use », *Asian International Journal of Science and Technology – Production and Manufacturing Engineering*, 2(3), 24-39.
- Nelson J., Buisine S. & Auossat A. (2010), « Creativity as a Tool for Prospective Use Analysis in the Design of Innovative Products », In *Proceedings of the Ergo'IA 2010 Conference*, New York, ACM, ACM Press, p. 162-169.
- Nelson J., Buisine S., Auossat A. & Duchamp R. (2009), « Elaboration of Innovative Safety Equipment Concepts for Infants », in *Proceedings of ICED'09*, Stanford, CA, Stanford University, p. 103-114.
- Nijstad B. A. & Stroebe W. (2006), « How the Group Affects the Mind: a Cognitive Model of Idea Generation in Group », *Personality and Social Psychology Review*, 10(3), 186-213.
- Osborn A. F. (1957), *Applied Imagination*, New York, NY, Scribner.
- Oulasvirta A., Kurvinen E. & Kankainen T. (2003), « Understanding Contexts by Being there: Case Studies in Bodystorming », *Personal and Ubiquitous Computing*, 7(2), 125-134.
- Parnes S. J. & Meadow A. (1959), « Effects of "Brainstorming" Instructions on Creative Problem Solving by Trained and Untrained Subjects », *Journal of Educational Psychology*, 50(4), 171-176.
- Paulus P. B. (2000), « Groups, Teams and Creativity: the Creative Potential of Idea-Generating Groups », *Applied Psychology*, 49(2), 237-262.
- Paulus P. B. & Yang H. C. (2000), « Idea Generation in Groups: a Basis for Creativity in Organizations », *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82(1), 76-87.
- Plucker J. A. & Makel M. C. (2010), « Assessment of Creativity », in J. C. Kaufman & R. J. Sternberg (eds.), *The Cambridge Handbook of Creativity*, Cambridge, UK, Cambridge University Press, p. 48-73.
- Prost L. (2008), *Modéliser en agronomie et concevoir des outils en interaction avec de futurs utilisateurs : le cas de la modélisation des interactions génotype-environnement et de l'outil DIAGVAR* (Doctoral Dissertation), Retrieved from <http://tel.archives-ouvertes.fr/> (N°. tel. 00381092).
- Redström J. (2006), « Towards User Design? On the Shift from Object to User as the Subject of Design », *Design Studies*, 27(2), 123-129.
- Reid S. E. & de Brentani U. (2004), « The Fuzzy Front-End of New Product Development for Discontinuous Innovations: a Theoretical Model », *Journal of Product Innovation Management*, 21(3), 170-184.

- Rietzschel E. F., Nijstad B. A. & Stroebe W. (2007), « Relative Accessibility of Domain Knowledge and Creativity: the Effects of Knowledge Activation on the Quantity and Originality of Generated Ideas », *Journal of Experimental Social Psychology*, 43(6), 933-946.
- Robert J. M. & Brangier E. (2009), *What Is Prospective Ergonomics? A Reflection and a Position on the Future of Ergonomics*, Paper Presented at the HCI International Conference 2009, San Diego, CA, 19-24 July.
- Rosson M. B. & Carroll J. M. (2002), *Usability Engineering: Scenario-Based Development of Human-Computer Interaction*, San Diego, CA, Academic Press.
- Schumpeter J. A. (1934), *The Theory of Economic Development*, Boston, MA, Harvard University Press.
- Stroebe W., Nijstad B. A. & Rietzschel E. F. (2010), « Beyond Productivity Loss in Brainstorming Groups: the Evolution of a Question », *Advances in Experimental Social Psychology*, 43, 157-203.
- Theureau J. & Pinsky L. (1984), « Paradoxe de l'ergonomie de conception et logiciel informatique », *Revue des conditions de travail*, 9, 25-31.
- Valentin A., Lancry A. & Lemarchand C. (2010), « La construction des échantillons dans la conception ergonomique de produits logiciels pour le grand public : quel quantitatif pour les études qualitatives ? », *Le Travail humain*, 73(3), 261-290.
- Veryzer R. M. & Borja de Mozota B. (2005), « The Impact of User-Oriented Design on New Product Development: an Examination of Fundamental Relationships », *Journal of Product Innovation Management*, 22(2), 128-143.
- Vinck D. (2009), « De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière : vers la prise en compte du travail d'équipement », *Revue d'anthropologie des connaissances*, 3(1), 51-72.
- Visser W. (2009), « La conception : de la résolution de problèmes à la conception de représentations », *Le Travail humain*, 72(1), 61-78.
- Voros J. (2009), « Morphological Prospection: Profiling the Shapes of Things to Come », *Foresight*, 11(6), 4-20.
- Zeng L., Proctor R. W. & Salvendy G. (2010), « Creativity in Ergonomic Design: a Supplemental Value-Adding Source for Product and Service Development », *Human Factors*, 52(4), 503-525.

RÉSUMÉ EN ANGLAIS

This paper presents a methodological contribution to ergonomics in the early stages of innovative design projects, focused on the anticipation of future needs and activities. We examined the effect, on designer activity during simulated design meetings, of a toolset using tools from Creative Problem Solving and reliability engineering, to assist ideation related to future product use. Multidisciplinary design teams generated scenarios of use based on the design brief of two innovative products: an interactive tabletop interface, and an innovative device to prevent drowning in infants. They worked either in an open fashion, or using brainwriting and morphological analysis to generate ideas related to elements of future use, and combine them together into scenarios. The scenarios were then subjected to claims analysis, using a modified version of the FMECA method. Analysing oral and written traces of designer activity, we measured the fluency of ideas concerning scenario components, complete scenarios, and positive or negative claims derived from these scenarios. Using a questionnaire, we assessed participants' perceptions of self-efficacy in these work situations. Results show that these tools were viewed as an easier alternative to open exploration of future use from the design brief.

Design teams were, within identified limits, able to formulate propositions regarding possible scenarios of future use, and to generate positive and negative claims regarding these scenarios to guide future design projects. Results show the superior ability of ergonomists to produce ideas regarding some elements of future use, and scenarios of future use, to define future use in the early stages of innovation projects.

Keywords: *Innovative design, Scenarios of use, Product design, Prospective ergonomics, Creativity*

Paper received: December 2010
Accepted by M. Wolff in revised form: October 2011

Conception d'une interface multimodale à partir des comportements utilisateurs

Utilisation du Magicien d'Oz en conception

Stéphanie Buisine* — Jean-Claude Martin**

* Laboratoire Conception de Produits et Innovation, ENSAM
151 boulevard de l'Hôpital, F-75013 Paris
stephanie.buisine@paris.ensam.fr

** LIMSI-CNRS, BP 133, F-91403 Orsay Cedex
et LINC-IUT de Montreuil, 140 rue de la Nouvelle France, F-93100 Montreuil
jean-claude.martin@limsi.fr

RÉSUMÉ. Nous proposons une étude de cas de conception d'un système interactif où le comportement des utilisateurs a servi de base au développement informatique. Grâce à une simulation en Magicien d'Oz, nous avons pu modéliser le comportement des utilisateurs avant même d'avoir conçu le système, et nous en avons déduit les spécifications pour l'implémentation. Cette approche va au-delà des critères de la Conception Centrée Utilisateur (norme ISO 13407), puisque l'utilisateur, en plus d'être consulté et observé, nous a également fourni les briques de base du futur système. Nous pensons que cette méthode de conception pourrait être adaptée à d'autres champs d'application, et notamment en conception de produit.

ABSTRACT. We present a design case study of an interactive game system in which users' behavior served as a basis for the implementation. By using a Wizard-of-Oz simulation, we modeled users' behavior although the system was not developed yet, and we could extract the specifications for the development. Such an approach goes beyond the criteria of User-Centered Design (ISO standard 13407) because the user was not only interviewed and observed, but s/he also provided us with elementary specifications of the system. This design process is likely to be useful in other application fields, for example in product design.

MOTS-CLÉS : Interaction Homme-Machine, Magicien d'Oz, Interface Multimodale, Ergonomie, Conception Centrée Utilisateur.

KEYWORDS: Human-Computer Interaction, Wizard-of-Oz, Multimodal Interface, Ergonomics, User-Centered Design.

1. Introduction

L'objectif de cet article est de décrire, sous la forme d'une étude de cas, le processus que nous avons suivi pour la conception d'un système interactif. L'application présentée est un jeu éducatif sur ordinateur dans lequel les utilisateurs interagissent avec des personnages virtuels. En entrée du système, l'interface est dite multimodale, c'est-à-dire qu'elle permet aux joueurs d'utiliser plusieurs modalités de communication : dans notre cas, ces modalités sont la parole et le geste en deux dimensions à la surface de l'écran (écran tactile ou tablette tactile avec stylo). Les utilisateurs peuvent ainsi interagir par l'une ou l'autre de ces modalités (message verbal ou gestuel), mais ils ont également la possibilité de combiner les modalités au sein de messages que nous appelons « constructions multimodales » (par exemple la phrase « Mets ça ici » accompagnée de la désignation d'un objet et d'un emplacement).

Une des problématiques majeures dans le développement d'interfaces multimodales est la fusion des modalités. En effet, le traitement et l'interprétation des constructions multimodales sont un véritable défi pour les systèmes multimodaux. Deux questions principales émergent à ce propos :

– Dans les constructions multimodales, comment les modalités sont-elles intégrées au niveau temporel ? Il faut en effet que le système soit capable de résoudre les références verbales (ex : « ça » et « ici ») avec les éléments gestuels pertinents (la sélection de l'objet, et la localisation spatiale, respectivement).

– Comment les modalités coopèrent-elles au niveau sémantique ? Par exemple, le système doit pouvoir détecter et traiter correctement les constructions redondantes (ex : « déplacer le cube bleu sur la droite » accompagné d'un déplacement du cube bleu par le geste) afin d'éviter de réaliser deux fois la même commande.

Dans les paragraphes suivants, nous allons exposer les méthodes disponibles pour répondre à cette problématique. Puis nous présenterons notre propre démarche, qui repose sur une étude du comportement spontané des utilisateurs. Nous présenterons également la technique qui a permis, au premier chef, de réaliser cette étude : la simulation en Magicien d'Oz. Nous discuterons enfin de l'intérêt de cette démarche de manière plus générale, en conception de produit.

2. Méthodes de conception des interfaces multimodale

2.1. *Les interfaces multimodales*

La multimodalité en Interaction Homme-Machine caractérise la capacité d'un système à exploiter plusieurs modalités de communication en entrée (de l'utilisateur vers le système) et/ou en sortie (du système vers l'utilisateur). Dans la présente étude, nous traiterons exclusivement de la multimodalité en entrée, c'est-à-dire de

celle qui concerne les informations transmises par l'utilisateur à destination du système.

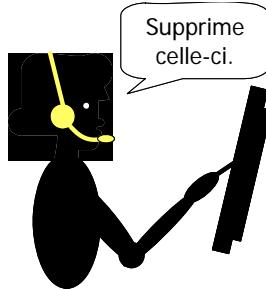


Figure 1. Exemple de style d'interaction avec une interface multimodale (parole et geste à la surface de l'écran tactile). Le système est capable de traiter les commandes verbales seules, les commandes gestuelles seules, et les constructions multimodales comme dans l'exemple ci-dessus.

Les Interfaces Multimodales en entrée permettent donc d'utiliser, simultanément ou pas, de manière combinée ou pas, plusieurs modalités de communication comme la parole et le geste. Ces interfaces visent notamment à fournir une alternative aux systèmes WIMP (Windows – Icons – Menus – Pointing) que nous utilisons tous les jours par l'intermédiaire du clavier et de la souris. Le champ de recherche sur les Interfaces Multimodales repose sur l'hypothèse que celles-ci seraient plus proche de la communication Homme-Homme, par conséquent plus faciles à utiliser et à apprendre, et seraient préférées par les utilisateurs. Les Interfaces Multimodales pourraient également permettre le développement de systèmes interactifs plus sophistiqués, l'élargissement de leur utilisation à une frange plus large de la population, et l'adaptation à des conditions d'utilisation plus variées par rapport aux interfaces classiques (Oviatt *et al.*, 2000).

2.2. Méthodes de conception

2.2.1. Les taxonomies d'intégration des modalités

Comme nous l'avons souligné en introduction, les constructions multimodales sont des messages complexes à traiter par le système, car celui-ci doit interpréter correctement les relations temporelles et sémantiques entre les modalités. Face à un problème de ce type, une démarche classique en Informatique consiste à construire des taxonomies pour guider l'implémentation du système. Leur principe est de proposer différentes classifications, qui se veulent exhaustives, des combinaisons entre les modalités.

Pour les relations temporelles entre deux modalités par exemple, la taxonomie la plus complète semble être celle d'Allen (1983), qui prévoit treize configurations schématisées dans la figure 2.

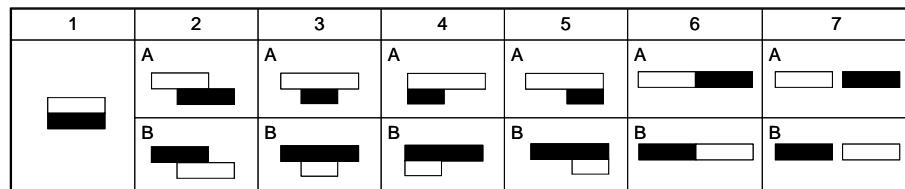


Figure 2. Taxonomie des relations temporelles d'Allen (1983).

Certaines taxonomies spécifiques à la description des Interfaces Multimodales croisent la dimension temporelle avec une dimension sémantique. C'est le cas par exemple de la taxonomie proposée par Nigay et Coutaz (1993). La dimension temporelle comporte deux valeurs (utilisation séquentielle ou parallèle), de même que la dimension sémantique (modalités combinées ou indépendantes). Il en résulte une taxonomie à quatre cas, résumée dans le tableau 1.

		Utilisation des modalités (dimension temporelle)	
Fusion (dimension sémantique)	Combinaison	Séquentielle	Parallèle
		Alterné	Synergique
	Indépendanc e	Exclusif	Concurrent

Tableau 1. Taxonomie d'intégration des modalités (Nigay & Coutaz, 1993).

Dans la taxonomie précédente (Nigay & Coutaz, 1993), la dimension sémantique est limitée à deux cas, combinaison/indépendance. Cette dimension peut être affinée, en particulier en explorant les différentes relations sémantiques lorsque les modalités sont combinées. C'est ce que Martin *et al.* (2001) ont fait en proposant la taxonomie TYCOON (TYpes de COOpératioN), dans laquelle six types de coopération entre modalités sont définis :

- Complémentarité : au sein d'une même commande, différents éléments sont exprimés par différentes modalités. Les informations doivent être fusionnées pour accéder au message complet.

- Redondance : au sein d'une même commande, le même élément est exprimé par différentes modalités. Les informations doivent être fusionnées pour obtenir un message commun et unique.
- Concurrence : des éléments indépendants sont exprimés par différentes modalités avec un chevauchement temporel. Les modalités sont utilisées en parallèle pour réaliser différentes actions.
- Équivalence : un même élément peut être exprimé par différentes modalités à des moments différents de l'interaction.
- Spécialisation : un élément est toujours exprimé par la même modalité.
- Transfert : un élément exprimé par une modalité est analysé par une autre modalité.

L'avantage de ces taxonomies est qu'elles permettent au concepteur de n'oublier aucun cas de figure dans l'intégration des modalités par le système. Leur inconvénient est qu'elles restent très abstraites par rapport à un contexte et un contenu d'interaction donné. Par exemple, une taxonomie peut indiquer au développeur que son système doit pouvoir gérer une utilisation *complémentaire* des modalités (comme dans l'exemple de la figure 1, « supprime celle-ci »), mais sans lui donner un aperçu concret des cas qu'il va devoir prendre en compte, et de leur diversité. Un autre inconvénient des taxonomies est qu'elles ne permettent pas de distinguer entre les configurations très fréquentes dans les comportements utilisateur, dont la prise en compte va être critique à l'utilisabilité du système, et les cas marginaux, voire exceptionnels, pour lesquels la robustesse du traitement est moins cruciale.

2.2.2. L'étude des comportements utilisateurs

Pour connaître la plausibilité comportementale et la fréquence d'utilisation de chacun des cas prévus dans les taxonomies d'intégration des modalités, il est nécessaire d'observer les utilisateurs en situation.

Par exemple, on a tendance à penser que les entrées gestuelles vont être simultanées aux références verbales dans les constructions multimodales. Or, en observant les utilisateurs, Oviatt (1999) a montré qu'en réalité, les modalités ne se chevauchent que dans la moitié des constructions multimodales. Il arrive régulièrement qu'un utilisateur face un geste (ex : sélection d'un objet), et ne lui associe une commande verbale (ex : « supprime ça ») qu'après un délai de 1 à 3 secondes (Oviatt *et al.*, 1997). Comment le développeur aurait-il pu anticiper ce type de constructions multimodales ? Comment aurait-il déterminé le seuil temporel en deçà duquel les modalités doivent être considérées comme faisant partie d'un message unique ? Les données comportementales, si elles sont utiles au développement de systèmes informatiques en général, semblent encore plus fondamentales dans le cas d'Interfaces Multimodales. Seule une bonne anticipation de la manière dont les utilisateurs vont communiquer permet d'implémenter un système efficace : les patterns extraits des corpus d'observation vont donner de

précieuses indications sur les algorithmes et spécifications informatiques pertinentes à mettre en œuvre.

Il semble par ailleurs que le comportement multimodal des utilisateurs varie selon le domaine d'application (ex : spatial ou conversationnel), le média gestuel employé (ex : souris ou écran tactile), ou encore les caractéristiques des utilisateurs (ex : langue, âge, catégorie socioprofessionnelle) – pour une revue de question voir Buisine (2005). Pour contribuer au développement d'une interface multimodale, il est donc important d'utiliser des données comportementales qui ont été recueillies dans un contexte proche de celui du futur système.

2.2.3. Problématique pour le projet NICE

La présente étude a été réalisée dans le cadre du projet européen NICE (IST-2001-35293) qui a pour objet de développer un système interactif dans lequel les utilisateurs peuvent interagir avec des Agents Conversationnels (personnages virtuels) à l'aide d'une interface multimodale en entrée. L'application est destinée à l'interaction conversationnelle et ludique, et le public cible est celui des enfants, adolescents et jeunes adultes de 9 à 18 ans. L'introduction des modalités verbale et gestuelle en entrée semble particulièrement intéressante pour ce type d'application dans lequel le but même de l'interaction est de converser avec des personnages.

Cette combinaison particulière fait du système NICE un type d'application jamais étudié auparavant. Plusieurs facteurs fondamentaux le distinguent en effet des systèmes multimodaux classiques, ce qui empêche de transposer les résultats de la littérature. Parmi ces facteurs, citons :

– La présence d'Agents Conversationnels tout d'abord, dont on peut supposer qu'elle va influencer l'interaction : du point de vue des utilisateurs, on n'interagit peut-être pas avec un personnage virtuel comme on interagit avec une interface non personnifiée.

– Le genre de l'application est différent de celui des systèmes classiquement étudiés dans la littérature : nous nous intéressons en effet à un scénario de jeu, incluant des aspects conversationnels et des aspects orientés tâche avec des objets graphiques. A l'inverse, la plupart des interfaces multimodales existantes concernent des applications spatiales (manipulation de cartes géographiques) ou de type page web, par exemple avec des formulaires à remplir (pour une revue de question sur les domaines d'application des interfaces multimodales, voir Benoit *et al.*, 2000).

– Notre population cible n'est pas non plus celle qui a été la plus testée dans les études antérieures : il existe en effet très peu de données sur le comportement multimodal des enfants. Par ailleurs, notre système étant destiné à des joueurs d'âges variés, il sera nécessaire de comparer le comportement d'enfants et de jeunes adultes sur une même application, ce qui, également, semble n'avoir jamais été fait auparavant.

Nous nous retrouvons donc devant la problématique suivante : pour optimiser la conception de l'interface multimodale, nous souhaitons connaître les caractéristiques des comportements des utilisateurs. Or, les résultats antérieurs sur l'utilisation des interfaces multimodales ne semblent pas transférables au système que nous étudions ; il est donc plus sûr de mettre en place un recueil de données spécifique pour le projet NICE.

Mais comment recueillir le comportement des utilisateurs face à un système qui n'existe pas encore ? Dans le paragraphe suivant, nous présentons la technique du « Magicien d'Oz », qui est une méthode générique de simulation et qui nous a permis, dans le projet NICE, d'étudier les comportements utilisateurs alors même que le système n'était pas encore développé.

3. Simulation en Magicien d'Oz

Le Magicien d'Oz est une technique ancienne de simulation des systèmes techniques avant leur mise en service effective. Elle est couramment utilisée en conception d'Interfaces Homme-Machine incluant notamment la reconnaissance vocale (Dahlbäck *et al.*, 1993). La technique consiste à charger un compère humain de contrôler à distance l'interface de l'utilisateur de sorte que l'interaction soit fluide et que le système semble réellement fonctionnel. Les utilisateurs ne sont informés qu'a posteriori que le système était simulé (pour des raisons éthiques il faut toujours, en fin d'expérimentation, dévoiler le dispositif utilisé et les buts de l'expérimentation).

Le compère humain (ou magicien) réalise diverses fonctionnalités à la place du système, mais cela ne signifie pas que l'on puisse mettre en œuvre un Magicien d'Oz en partant de rien. Cela suppose au contraire l'existence d'une véritable plateforme de simulation, comprenant au minimum :

- L'interface utilisateur en sortie (affichage graphique, messages sonores produits par le système...),
- Le moyen, pour le magicien, d'avoir connaissance en continu du comportement de l'utilisateur (transmissions par caméras, par micros, par événements système...),
- L'interface magicien permettant de contrôler l'interface utilisateur, et placée en réseau avec celle-ci. Pour que la simulation soit plausible, les réactions du magicien doivent être aussi rapides que possible. Un soin particulier doit donc être apporté à la conception de son interface, en y incluant par exemple des réponses pré-encodées et des accès directs aux fonctionnalités (Oviatt *et al.*, 1992 ; Dahlbäck *et al.*, 1993). Ceci suppose d'avoir au préalable élaboré un modèle de réalisation de la tâche ou du scénario. Certains systèmes complexes peuvent nécessiter l'intervention de plusieurs magiciens pour gérer l'interaction (un pour simuler la reconnaissance vocale, un autre pour les actions gestuelles...), ce qui implique

autant d'interfaces à développer et à coordonner (voir par exemple la plateforme développée par Coutaz *et al.*, 1996). Pour augmenter la crédibilité du dispositif, il est recommandé de simuler quelques erreurs de traitement (Oviatt *et al.*, 1992).

De telles plateformes permettent ainsi de recueillir de grandes quantités de données comportementales, sous différentes formes : corpus audio-visuel, événements système (log files), données subjectives fournies par les utilisateurs à l'issue du test (interviews, questionnaires). La simulation permet en outre une évaluation préliminaire, non pas du système, mais par exemple de l'application visée (utilité potentielle...), du modèle de dialogue, ou de divers éléments de design.

4. Description de l'étude réalisée

Nous avons donc mis en place un recueil de données en Magicien d'Oz dès le début du projet NICE. Les graphismes des Agents 3D n'avaient pas encore été créés, et le scénario exact n'avait pas encore été fixé par le consortium. Nous avons donc imaginé un scénario simple, impliquant principalement des aspects orientés tâche, et quelques aspects conversationnels : le jeu consistait à rendre service à des Agents en allant trouver l'objet qui manquait à chacun et en le leur apportant. Nous avons développé pour cela des Agents 2D. Les graphismes du jeu comportaient quatre décors, quatre Agents et dix-huit objets déplaçables (ex : lampes, plantes...).



Figure 3. Notre système simulé.

4.1. Méthode

4.1.1. Utilisateurs

Dix-sept utilisateurs ont participé à cette expérience. Ils se répartissent en deux groupes :

- Sept adultes : 3 hommes (âge moyen de 24 ans 6 mois, $\sigma = 2,5$ ans) et 4 femmes (âge moyen de 26 ans 9 mois, $\sigma = 7,5$ ans).
- Dix enfants : 7 garçons (âge moyen de 11 ans et 6 mois, $\sigma = 1,9$ ans) et 3 filles (âge moyen de 9 ans et 4 mois, $\sigma = 0,6$ ans).

4.1.2. Dispositif Magicien d'Oz

Le dispositif de Magicien d’Oz était composé de deux ordinateurs (figure 4) : le PC2 assurait la présentation du jeu aux utilisateurs et le PC1 la gestion de l’interaction par le Magicien. L’utilisateur et le Magicien se trouvaient dans des pièces différentes.

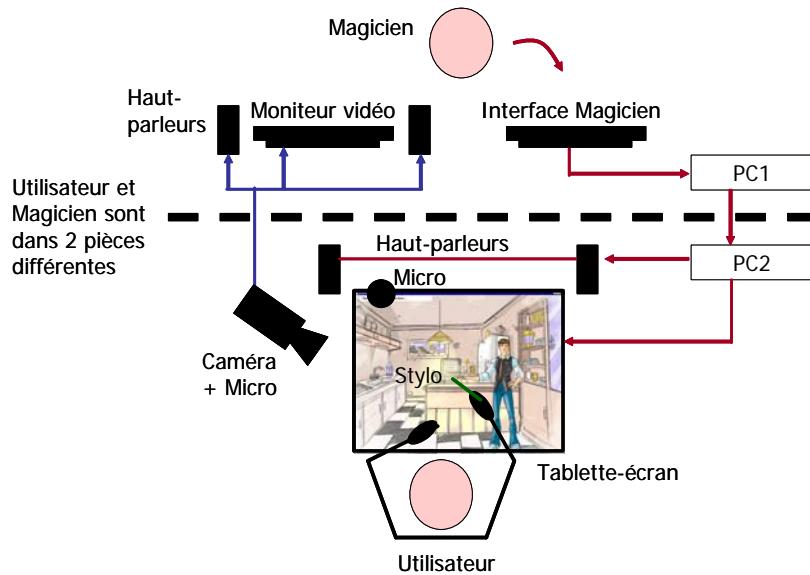


Figure 4. Schéma du dispositif Magicien d’Oz utilisé.

Le PC2 était relié à une tablette-écran permettant une interaction directe sur l’écran par l’intermédiaire d’un stylo. Deux haut-parleurs assuraient la diffusion de la voix des Agents ; toutes les répliques verbales des Agents étaient également transcrites en haut de l’écran de l’utilisateur. Un micro était disposé derrière l’écran pour inciter les utilisateurs à parler. La reconnaissance vocale, l’interprétation du

langage, des gestes et de leurs combinaisons multimodales étaient cependant simulées par le Magicien.

Une caméra numérique, installée au-dessus de la tablette-écran, permettait un enregistrement audio-visuel du comportement de l'utilisateur en conservant son anonymat (le visage n'était pas filmé).

Un moniteur et des enceintes reliés à la caméra numérique permettaient au Magicien de suivre en temps réel les paroles et les actions de l'utilisateur. Pour y répondre, il disposait d'une interface (figure 5) lui permettant de modifier l'environnement du jeu (changement de lieu, déplacement d'un objet) ou le comportement des Agents (déclenchement de paroles et de comportements non-verbaux).

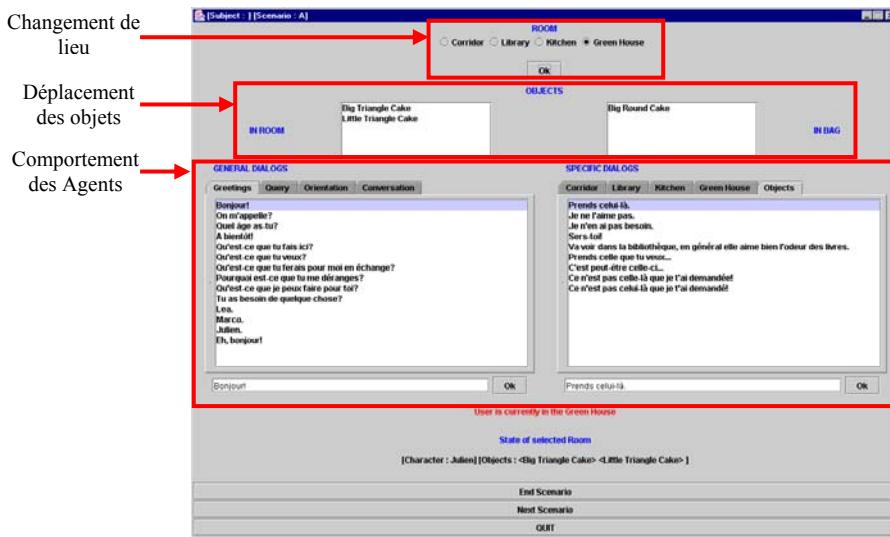


Figure 5. Interface Magicien.

Quatre-vingt trois séquences comportementales possibles pour les Agents avaient été anticipées et pré-encodées afin de guider l'utilisateur, de dialoguer avec lui et de répondre à ses requêtes les plus probables compte tenu du scénario de jeu. Chaque séquence comportementale était composée d'une réplique verbale et d'une animation de l'Agent en conséquence (animation de la tête de l'Agent, de ses yeux, de la direction de son regard, de sa bouche et de ses bras). Les séquences de comportements multimodaux configurées dans des fichiers XML pouvaient être déclenchées depuis l'interface du Magicien, où elles étaient organisées en plusieurs onglets dans deux grandes catégories (dialogues généraux, dialogues spécifiques). Outre ces séquences comportementales pré-encodées, le Magicien avait également

la possibilité, au cours de l'expérience, de taper une réponse non prévue et de l'associer au comportement non verbal de la réponse de son choix dans la base.

4.1.3. Analyses

A l'issue de cette expérience, nous avons obtenu un corpus vidéo d'interaction multimodale entre les utilisateurs et les Agents. Ce corpus a été annoté à l'aide des outils Praat (<http://www.praat.org/>) et Anvil (Kipp, 2001). Praat est un logiciel d'analyse du son, que nous avons utilisé pour transcrire les verbalisations des utilisateurs. Le signal sonore provenant des vidéos a été importé dans Praat, puis segmenté manuellement, et les mots associés à chaque segment ont été retranscrits.

Le logiciel Anvil a ensuite été utilisé afin de compléter les annotations (figure 6). Le corpus contenait 117 constructions multimodales, que nous avons pu analyser précisément, notamment du point de vue des relations temporelles et sémantiques entre modalités.

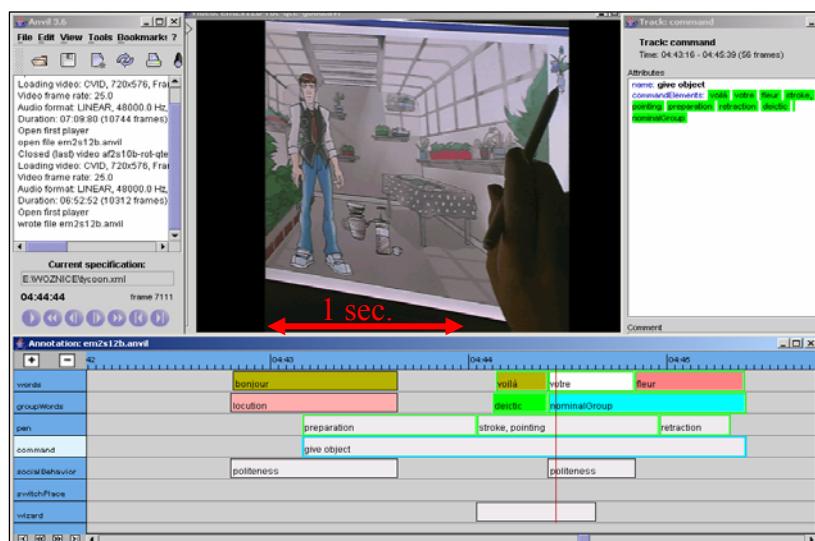


Figure 6. Copie d'écran du logiciel Anvil : un extrait vidéo est visible dans la partie supérieure de la fenêtre, et la partie inférieure présente les annotations réalisées sur cet extrait.

4.2. Résultats

Cette expérience nous a permis de mettre en évidence des résultats originaux vis-à-vis de la littérature antérieure sur les interfaces multimodales. Ces résultats

sont décrits en détail ailleurs (Buisine & Martin, 2003, 2005). Pour synthétiser, parmi les 117 constructions multimodales observées, nous avons relevé autant de constructions redondantes que complémentaires. Nous avons également trouvé un pourcentage non négligeable (16%) de constructions concurrentes dans notre corpus – résultat surprenant par rapport à la littérature sur l'Interaction Homme-Machine multimodale, dans laquelle ce type de coopération n'a jamais été décrit. Ces constructions concurrentes ont presque toutes été produites par des enfants. Aucune des études antérieures que nous avons recensées (Buisine, 2005) ne rapporte d'exemples de constructions concurrentes. Nous avons également été amenés à définir de nouveaux types de coopération qui n'existaient pas dans les taxonomies de comportements multimodaux (Buisine & Martin, 2005). Ces résultats sur les coopérations sémantiques entre modalité ont contribué à l'élaboration de l'algorithme de fusion multimodale.

Au niveau temporel, les modalités ont majoritairement été intégrées de façon simultanée (73%), c'est-à-dire avec un chevauchement temporel entre parole et geste. Ce résultat est conforme aux données de la littérature (Oviatt *et al.*, 2003). Nous avons observé autant de cas de précédence du geste sur la parole que l'inverse. Pour le futur système, nous avons déduit les paramètres temporels de fusion multimodale suivants :

- Lorsque les deux modalités sont séparées d'un délai inférieur ou égal à 1,8 sec (entre la fin de la première modalité et le début de la seconde), elles doivent être fusionnées. Au delà de 2 sec de délai, il est probable que la succession des modalités soit une répétition ou des commandes indépendantes.
- Cette fenêtre de fusion peut également être exprimée comme un délai de 2,5 sec entre la fin de la première modalité et la fin de la seconde.
- Dans la fenêtre temporelle de fusion, les modalités doivent être fusionnées quel que soit leur ordre de succession (parole puis geste ou geste puis parole).

Enfin, cette expérience a permis pour la première fois de comparer le comportement multimodal de jeunes adultes à celui d'enfants sur la même application. Nos résultats indiquent que les adultes semblent utiliser plus de constructions multimodales (27,5%) que les enfants (18,3%). Néanmoins, il y a eu relativement peu de spécificités du comportement multimodal des enfants dans notre corpus. Concernant l'intégration sémantique, nous avons relevé une tendance des enfants à produire des commandes concurrentes : les enfants ont parfois dissocié le canal verbal et le canal gestuel pour réaliser deux actions à la fois. Le traitement de ce type de constructions est un défi pour le futur système NICE. Concernant l'intégration temporelle, notre corpus contenait une majorité de constructions simultanées, mais les constructions séquentielles provenaient principalement du groupe des enfants. Nous avons noté d'autres différences entre adultes et enfants, qui relèvent moins de la multimodalité que de leur comportement de jeu.

Enfin, signalons que notre dispositif expérimental a globalement été efficace, puisqu'il a permis de mener à bien le recueil de corpus. Tous nos utilisateurs ont pu

réaliser le scénario avec succès, et ils ont cru interagir avec un système fonctionnel (un seul utilisateur, exclu de l'analyse par la suite, avait deviné qu'il s'agissait d'une simulation).

5. Discussion

La procédure adoptée pour la conception de l'interface multimodale du système NICE avait pour objectif d'optimiser la phase de développement, en anticipant les cas de constructions multimodale, l'intégration temporelle et sémantique des modalités. En amont du développement de l'interface, nous avons simulé le futur système par la méthode du Magicien d'Oz, afin de recueillir un corpus de comportements multimodaux des utilisateurs.

Le principe de cette approche – guider le développement grâce au comportement des utilisateurs – semble à première vue correspondre à une démarche de Conception Centrée Utilisateur. En réalité, elle va au-delà. En effet, la Conception Centrée Utilisateur (norme ISO13407, 1999) consiste à considérer les utilisateurs et leurs besoins tout au long du processus de développement d'une application informatique. Elle impose que le développement du produit soit guidé par les besoins des utilisateurs plutôt que par les possibilités technologiques.

La Conception Centrée Utilisateur aboutit à des spécifications systèmes dans la mesure où elle apporte des contraintes au développement. Ici au contraire le recueil des données utilisateur a facilité la réalisation technique en fournissant des patterns de combinaison des modalités. Dans notre étude, l'utilisateur n'a pas seulement été consulté et observé, mais il a fourni les briques de base du futur système. Nous avons ainsi doublement optimisé la conception : d'une part en permettant, dans une certaine mesure, que l'interface soit en adéquation avec les comportements des futurs utilisateurs, et réponde donc à leur besoin (dans l'esprit de la Conception Centrée Utilisateur), et d'autre part en simplifiant la phase de programmation informatique (critère qui ne figure pas dans la norme de Conception Centrée Utilisateur, et qui lui est même souvent contraire).

6. Conclusion

Etant donné que de nombreux produits, de nos jours, intègrent une Interface Homme-Machine multimédia (téléphone mobile, PDA, domotique...) et nécessitent un développement informatique, nous pensons que le processus de conception suivi au cours de notre étude est susceptible d'être appliqué avec succès à d'autres types de projets. En outre, le développement du prototypage d'interfaces et du prototypage virtuel, et le fait qu'ils soient aujourd'hui de plus en plus accessibles aux équipes de conception, allègent les contraintes de mise en place d'une plateforme de simulation en Magicien d'Oz.

L'essor pris par les interfaces numériques et les systèmes informatiques s'étant bien souvent fait au détriment de la facilité d'utilisation, l'adoption d'une telle démarche offre la perspective d'augmenter l'acceptabilité d'un produit et donc son succès. Notre étude suggère par ailleurs que ce type de processus de conception peut même faciliter la réalisation technique d'un produit.

Cette étude a été en partie financée par le projet européen NICE, IST-2001-35293 (<http://www.niceproject.com/>).

7. Bibliographie

- Allen J., "Maintaining knowledge about temporal intervals", *Communication of the ACM*, vol. 26, 1983, p. 832-843.
- Benoit C., Martin J.C., Pelachaud C., Schomaker L., & Suhm B., "Audio-visual and multimodal speech-based systems". In D. Gibbon, I. Mertins & R. Moore (Eds.), *Handbook of Multimodal and Spoken Dialogue Systems: Resources, Terminology and Product Evaluation*, 2000, p. 102-203. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Buisine S., Conception et Evaluation d'Agents Conversationnels Multimodaux Bidirectionnels. Thèse de Doctorat en Psychologie Cognitive - Ergonomie, Université de Paris 5, 2005.
- Buisine S., & Martin J.C., "Experimental evaluation of bi-directional multimodal interaction with conversational agents". *Proceedings of Interact'2003*, 2003, p. 168-175.
- Buisine S., & Martin J.C., "Children's and adults' multimodal interaction with 2D conversational agents". *Proceedings of CHI'2005*, 2005, p. 1240-1243.
- Coutaz J., Salber D., Carraux E., & Portolan N., "NEIMO, a multi-workstation usability lab for observing and analyzing multimodal interaction". *Proceedings of CHI'96*, 1996, p. 402-403.
- Dahlbäck N., Jönsson A., & Ahrenberg L., "Wizard of Oz studies - Why and how". *Proceedings of IUI'93*, 1993, p. 193-200.
- ISO13407. Human-centred design processes for interactive systems, 1999, Genève: International Organization for Standardization.
- Kipp M., "Anvil - A generic annotation tool for multimodal dialogue". *Proceedings of Eurospeech'2001*, 2001, p. 1367-1370.

- Martin J.C., Grimard S., & Alexandri K., "On the annotation of the multimodal behavior and computation of cooperation between modalities". *Proceedings of International Conference on Autonomous Agents Workshop on Representing, Annotating, and Evaluating Non-Verbal and Verbal Communicative Acts to Achieve Contextual Embodied Agents*, 2001, p. 1-7.
- Nigay L., & Coutaz J., "Design space for multimodal systems: Concurrent processing and data fusion". *Proceedings of InterCHI'93*, 1993, p. 172-178.
- Oviatt S.L., "Ten myths of multimodal interaction", *Communications of the ACM*, vol. 42, 1999, p. 74-81.
- Oviatt S.L., Cohen P.R., Fong M.W., & Frank M.P., "A rapid semi-automatic simulation technique for investigating interactive speech and handwriting". *Proceedings of ICSLP'92*, 1992, p. 1351-1354.
- Oviatt S.L., Cohen P.R., Wu L., Vergo J., Duncan L., Suhm B., Bers J., Holzman T., Winograd T., Landay J., Larson J., & Ferro D., "Designing the user interface for multimodal speech and gesture applications: State-of-the-art systems and research directions", *Human Computer Interaction*, vol. 15, 2000, p. 263-322.
- Oviatt S.L., Coulston R., Tomko S., Xiao B., Lunsford R., Wesson M., & Carmichael L., "Toward a theory of organized multimodal integration patterns during Human-Computer Interaction". *Proceedings of ICMI'03*, 2003, p. 44-51.
- Oviatt S.L., De Angeli A., & Kuhn K., "Integration and synchronization of input modes during multimodal human-computer interaction". *Proceedings of CHI '97*, 1997, p. 415-422.

Décomposition Multimodale de l'Activité : Vers un outil d'aide à la conception

Plos Ornella

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers
Laboratoire Conception de Produits et Innovation
151, bd de l'Hôpital 75013 Paris

plosornella@aol.com

Buisine Stéphanie

stephanie.buisine@paris.ensam.fr

RESUME

Aujourd'hui les produits de la vie quotidienne ont tendance à se doter de pouvoirs numériques, informationnels, communicationnels, etc. Ils deviennent donc « multifonctionnels » et par là même bien souvent « multimédia » ou « multimodaux ». Cependant il existe encore des problèmes d'accessibilité de ces produits aux personnes en situation de handicap. Dans cet article, nous présentons une méthode originale d'Analyse de l'Activité : au-delà de la décomposition des activités en actes élémentaires, nous faisons apparaître dans les diagrammes de représentation les modalités perceptives et motrices associées à ces actes. Baptisée Décomposition Multimodale de l'Activité, elle permet la prise en compte des utilisateurs déficients dans le processus de conception ainsi que la formalisation des données ergonomiques issues de l'analyse de l'activité.

MOTS CLES : Ergonomie, Analyse de l'Activité, Handicap, Conception.

ABSTRACT

Nowadays products of the daily life tend to be augmented with numeric, informative or communicative power. They become thus "multifunctional" and therefore often "multimedia" or "multimodal". However, there are still problems of product accessibility to disabled people. In this article, we present an original method of Activity Analysis: beyond the decomposition of the activities in elementary acts, we insert in the diagrams the representation of perceptive and motor modalities associated to these acts. With this new method called Multimodal Decomposition of the Activity, it becomes possible to account for disabled users in the design process. It also enables a formalization of the ergonomic data collected during the analysis of the activity.

KEYWORDS : Ergonomics, Activity Analysis, Disabled People, Design.

INTRODUCTION

Avec le développement et la miniaturisation des technologies numériques, de plus en plus de produits de notre environnement quotidien intègrent une interface multi-

média (téléphones mobiles, assistants personnels de type PDA, lecteurs MP3, domotique...). Une interface est dite multimédia lorsqu'elle transmet à l'utilisateur des informations sous plusieurs modalités de communication (informations visuelles, auditives, tactiles ou proprioceptives...) ; lorsque l'utilisateur peut lui aussi utiliser plusieurs modalités pour transmettre des informations au système (entrées gestuelles, verbales...), l'interface est dite multimodale [8]. Le multimédia et le multimodal rendent potentiellement l'interaction plus riche, plus intuitive et parfois plus flexible. Encore faut-il, pour l'utilisateur, disposer de toutes ses modalités perceptives et motrices.

L'accessibilité des nouvelles technologies aux personnes présentant des déficiences est devenue une préoccupation affichée pour de nombreux industriels et pour les pouvoirs publics. En France, cette préoccupation a récemment été formalisée par une loi (loi n° 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées). A première vue, l'adaptation des produits multimédia et multimodaux ne semble pas poser de problèmes insurmontables : ces produits exploitant par nature plusieurs canaux de communication avec l'utilisateur, on peut imaginer compenser totalement l'absence d'une modalité par le recours à une ou plusieurs autres modalités. Mais ceci nécessite d'avoir au préalable identifié précisément le besoin, puis de l'avoir traduit de manière appropriée en paramètres de conception. Prenons l'exemple d'un utilisateur aveugle et d'un téléphone mobile : si on considère uniquement que cet utilisateur ne pourra pas recevoir les informations visuelles, on peut penser que la déficience sera compensée par un système de synthèse vocale (qui lit les informations affichées à l'écran). Or, l'absence de vision perturbe également les actions motrices de l'utilisateur, puisqu'il ne peut identifier par la vue les touches sur lesquelles il doit appuyer. On pourrait alors penser que l'ajout d'un système de reconnaissance vocale (permettant d'agir sur le téléphone par la parole au lieu du geste) résoudra le problème. Mais en réalité il s'avère que pour certaines opérations il n'est pas souhaitable d'utiliser des commandes vocales (par exemple, lorsque l'utilisateur doit entrer son code

PIN). Ainsi, l'accessibilité d'un téléphone mobile pour un utilisateur aveugle impliquera nécessairement que le clavier soit utilisable, notamment grâce à des repères tactiles [9]. Cet exemple montre que la conception de produits multimédia ou multimodaux adaptés aux personnes présentant des déficiences nécessite une connaissance approfondie à la fois des besoins des utilisateurs en termes de modalités d'interaction, et de l'activité réalisée avec le produit ou le système.

L'objectif de cet article est de présenter une méthode d'analyse de l'activité permettant de visualiser les modalités d'interaction sollicitées lors de l'utilisation d'un produit ou d'un système. Dans un premier temps, nous proposerons un bref état de l'art des méthodes d'analyse des tâches ou de l'activité. Puis nous exposerons les principes de notre méthode, intitulée Décomposition Multimodale de l'Activité (DMA), avant d'en donner un exemple d'application. Enfin, nous positionnerons les apports potentiels de cette méthode dans le processus de conception.

LES MODELES D'ANALYSE DES TACHES

L'analyse des tâches consiste à décrire précisément les actions nécessaires lors de l'utilisation d'un système pour atteindre un objectif donné. On distingue classiquement la tâche prescrite, telle qu'elle a été imaginée par le concepteur du système, et l'activité, telle qu'elle est effectivement réalisée par l'utilisateur. Les modèles d'analyse de la tâche ou de l'activité sont des méthodes qui permettent de formaliser et de visualiser les résultats de cette analyse. Cette partie, destinée à présenter un rapide panorama des modèles existants, s'appuie principalement sur l'état de l'art fourni par Scapin et Bastien [10].

Les modèles d'analyse des tâches se présentent sous des formes variées comme par exemple les diagrammes d'entrées-sorties, les organigrammes fonctionnels, les arborescences, les réseaux de Petri, etc. Un des principes de base consiste à décomposer la tâche en sous-tâches jusqu'au niveau terminal des actions. À cette décomposition peuvent s'ajouter d'autres relations entre les éléments : causales (conjonction et/ou occurrence), temporelles (séquencement, simultanéité), cognitives (comparaison, choix, décision...), etc.

Parmi les premiers modèles d'analyse des tâches, le modèle HTA pour Hierarchical Task Analysis [2] consiste à décomposer, de façon hiérarchique, une tâche globale en sous-tâches élémentaires. Il permet alors de mettre en évidence les informations nécessaires à l'utilisateur pour chaque but et chaque sous-but. Par la suite, d'autres modèles se sont inspirés de cette structure, et notamment :

- Le modèle CLG (Common Language Grammar), qui comporte trois composants : conceptuel, communication, physique [6].

- Le modèle GOMS qui décompose la tâche en Goals, Operators, Methods et Selection rules [4].
- Le modèle KLM (Keystroke Level Model) [3], qui permet de prédire le temps d'exécution des tâches.
- Le modèle MAD* ou MAD (STAR) (Modèle Analytique de Description des tâches utilisateur orienté spécificAction d'intéRface) [10] qui permet de prendre en compte la dynamique de la tâche avec ses interruptions, itérations, changements de niveaux, etc.

Ces modèles abordent l'analyse de l'activité sous des angles légèrement différents, en intégrant des informations différentes, et permettent ainsi de répondre à des objectifs d'évaluation ou de conception différents. Dans le contexte qui nous intéresse (la conception de produits multimédia / multimodaux adaptés pour des personnes présentant des déficiences perceptives ou motrices), il nous semble pertinent de chercher à intégrer les modalités d'interaction dans l'analyse de l'activité. Vis-à-vis des méthodes que nous avons recensées, cette idée apparaît originale puisqu'elle ne semble pas avoir été mise en œuvre auparavant. C'est en nous appuyant sur ce constat que nous proposons ci-après une méthode de Décomposition Multimodale de l'Activité.

LA DECOMPOSITION MULTIMODALE DE L'ACTIVITE

Certaines méthodes innovantes sont nées du rapprochement de différents modèles et outils préexistants ; c'est le cas par exemple de la méthode SADT/Petri [1]. Nous inspiré de cette démarche, nous avons pensé utiliser de manière conjointe le modèle HTA [2] et la modélisation dynamique et formelle des réseaux de Petri pour proposer une nouvelle méthode.

Les réseaux de Petri permettent de décrire de façon formelle des systèmes composés de variables, les places (représentées par des ellipses) qui peuvent changer d'état grâce à des opérateurs de changement d'état, les transitions (représentées par des rectangles). L'état du système est modélisé par une distribution de jetons dans les places du réseau représentant la valeur des variables [7]. La figure 1 présente un exemple de réseau de Petri : la place 1 contient un jeton et la place 2 n'en contient pas, on dit alors que la place 1 est marquée. La transition 1 a besoin d'au moins un jeton dans la place 1 pour pouvoir s'exécuter, on parle alors de franchir une transition. Comme la place 1 contient un jeton, la transition 1 peut être franchie, en retirant le jeton de la place 1 et en déposant le jeton dans la place 2. Après le franchissement de la transition 1, la place 2 contient un jeton, rendant franchissable la transition 2, etc.

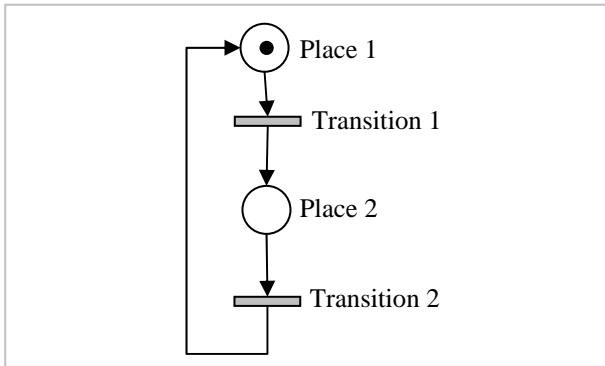


Figure 1: Exemple de réseau de Petri.

Certains réseaux de Petri appelés Object Petri Nets ont été utilisés dans le cadre d'analyse des tâches comme ICO (Interactive Cooperative Object) [7] ou TOOD (Task Object Oriented Design) [11] ainsi que pour modéliser l'activité cognitive [5]. Ils permettent notamment de modéliser des objets d'un système disposés en réseau. Cette représentation a l'avantage de permettre une souplesse de modélisation en faisant ressortir l'aspect dynamique (parallélisme, synchronisation, etc.) des tâches.

Le principe de l'intégration de jetons dans le diagramme représentant l'activité nous a semblé intéressant pour faire apparaître les modalités d'interaction. Nous avons donc élaboré la méthode de Décomposition Multimodale de l'Activité (DMA) en combinant une analyse de l'activité de type HTA [2] avec la représentation graphique des réseaux de Petri.

En reprenant le principe de décomposition du modèle HTA [2], l'activité est décomposée en actions jusqu'à obtenir des actes élémentaires. Cette décomposition poussée permet d'identifier, pour chaque acte élémentaire, les modalités perceptives (visuelle, auditive, tactile, etc.), motrices (geste, parole, etc.) et cognitive (dans notre modèle, la modalité cognitive regroupe toutes les fonctions cognitives de manière non différenciée : un choix, une décision, une recherche en mémoire, etc.) de l'interaction homme-système.

Chacun de ces éléments (les actes élémentaires, les modalités) est ensuite traduit au sein d'une représentation globale utilisant le formalisme graphique des réseaux de Petri. Les actes élémentaires sont représentés comme un ensemble de places (P) et de transitions de places (T). Chaque place est marquée par la mise en jeu d'une ou plusieurs modalités, représentées par des jetons ronds, triangulaires et carrés (correspondant aux modalités perceptives, motrices et cognitives, respectivement). Dans notre modèle, ce sont donc les modalités (jetons) qui permettent de passer d'un acte élémentaire à un autre (places, transitions de places). Si une place obligatoire (représentée par un cercle continu) n'est pas marquée (absence de jetons) car la ou les modalités sont déficientes ou absentes, la transition ne peut être franchie. Il

existe également des places facultatives (représentées par des cercles en pointillé) et des transitions facultatives (représentées par des rectangles en pointillés), qui correspondent à des actes élémentaires qui ne sont pas toujours observés dans l'activité.

Il faut souligner que nous n'avons adopté que la représentation graphique des réseaux de Petri et non l'intégralité de leur fonctionnement. En effet, certaines règles n'ont pas pu être respectées, notamment au niveau du parcours des jetons : dans les réseaux de Petri, c'est un même jeton qui franchit des transitions successives. Or, dans le cas des modalités d'interaction, il est parfois nécessaire de mettre en jeu différentes modalités pour accomplir des actes élémentaires successifs. Chaque modalité n'est pas nécessaire à toutes les places et une modalité unique est insuffisante pour parcourir tout le diagramme. En conséquence, nous ne faisons apparaître au niveau de chaque place que les modalités qui y sont mises en jeu. Par exemple, si une partie de l'activité consiste à réagir à un signal sonore par un geste, la première place fera apparaître la modalité auditive uniquement et la seconde fera apparaître la modalité gestuelle uniquement.

Pour marquer une place obligatoire en l'absence de jeton, l'ajout d'un compensateur (C) permet de « réparer » les conséquences d'une modalité absente ou déficiente. Cette notion peut être assimilée à celle des réparateurs que l'on retrouve dans les réseaux de Petri utilisés en « sécurité machine ». Ces éléments permettent notamment de franchir une transition si la place n'est pas marquée. Par exemple, pour un équipement qui tombe en panne, la transition « attente de réparation » peut être franchie si un réparateur externe est disponible (figure 2). Dans notre méthode DMA, les compensateurs sont représentés par des losanges et peuvent être une solution qui englobe plusieurs places, ou une solution qui agit sur une seule transition.

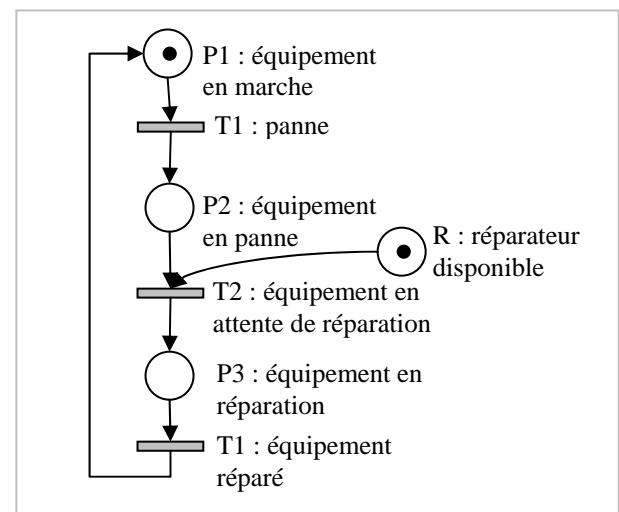


Figure 2: Exemple de réseau de Petri avec un réparateur.

L'originalité de ce nouveau modèle repose sur le fait de pouvoir identifier et comprendre la mise en jeu des différentes modalités lors de la réalisation d'une activité. Il permet de voir, de façon schématique, quels actes élémentaires vont poser problème lorsqu'une modalité est déficiente ou absente. L'équipe de conception peut alors réfléchir à la façon d'éviter un blocage lié à une déficience, c'est-à-dire d'intégrer des compensateurs ou d'en créer de nouveaux. Les compensateurs peuvent provenir notamment :

- D'une modification des modalités d'interaction existantes : par exemple une personne malvoyante peut avoir besoin d'augmenter la taille et le contraste des caractères dans un message textuel.
- Et/ou de l'utilisation de modalités alternatives : pour une personne aveugle on peut compenser en améliorant les retours sonores ou tactiles.

Dans la section suivante, nous proposons de déployer la méthode de Décomposition Multimodale de l'Activité à un exemple concret.

APPLICATION A L'UTILISATION D'UN TELEPHONE PORTABLE

Avec un taux d'équipement avoisinant les 70% en France, le téléphone mobile peut être considéré comme un produit grand public, à forte valeur ajoutée. Ce produit réunit à la fois une interface physique et une interface numérique, qui sont liées dans le sens où la facilité de navigation de l'interface numérique (l'accès aux différents menus, les retours en arrière, l'intuitivité...) est en partie dépendante de l'utilisabilité de l'interface physique (prise en main et taille du téléphone, taille et résolution de l'écran, taille du clavier, forme et emplacement des touches, symboles des raccourcis...). Au final, il est difficile de traiter l'un sans l'autre, l'interface physique pouvant avoir des conséquences sur l'interface numérique. Pour comprendre cette relation de dépendance, il semble préférable d'étudier le produit dans sa globalité.

Parmi toutes les manières d'émettre un appel au moyen d'un téléphone portable (composer un numéro, utiliser le répertoire...), nous prendrons l'activité « composer un numéro » pour appliquer notre méthode DMA.

Cette activité peut être décomposée en actes élémentaires (par exemple : presser une touche), auxquels sont associées des modalités perceptives, motrices et cognitives. La figure 3 montre trois diagrammes (un par colonne) obtenus en appliquant notre méthode à l'activité « composer un numéro ». Les places sont représentées par des cercles, les transitions de places par des rectangles. A l'intérieur du diagramme figurent des jetons qui représentent les modalités : les jetons ronds correspondent aux modalités perceptives (vue, toucher, ouïe), les

jetons triangulaires aux modalités motrices (geste et parole) et le jeton carré représente les modalités cognitives.

La colonne de gauche décrit l'activité « composer un numéro » pour une personne non déficiente disposant de toutes ses modalités. La colonne du milieu illustre la même activité à effectuer par une personne non voyante. L'absence de la modalité « vue » s'exprime par la suppression du jeton rond bleu dans le diagramme. Cela permet d'identifier les actes élémentaires (places et transitions de places) qui vont être touchés par l'absence de cette modalité. Les places problématiques pour une personne non voyante sont par conséquent :

- L'identification des touches (reconnaître les touches portant un numéro des touches de contrôle, distinguer les touches portant des numéros entre elles, etc.).
- La vérification, à l'écran, du chiffre ou du numéro composé (être sûr qu'on a bien appuyé sur la bonne touche).

La colonne de droite représente l'activité réalisée par une personne non voyante avec différentes solutions (ou compensateurs) possibles mises à disposition. L'introduction d'un compensateur (représenté par un losange) entraîne l'apparition de nouvelles modalités dans le diagramme. Par exemple, une solution de discrimination tactile des touches se traduit par un nouveau jeton de perception tactile, un système de reconnaissance vocale permet l'introduction d'un jeton de parole, et des feedbacks auditifs donnent lieu à autant de jetons de perception auditive. La modélisation DMA pour un utilisateur non voyant (colonne de droite) offre une vue synthétique de l'activité avec notamment :

- Des solutions existantes comme la reconnaissance vocale (commande vocale) disponible sur certains modèles de téléphones portables, ou la synthèse vocale.
- Certaines stratégies employées par les utilisateurs, que nous avons identifiées grâce à des entretiens et des observations. C'est par exemple le cas du repérage tactile grâce au point sur la touche 5 du clavier.
- De nouvelles voies de solution, comme par exemple le repérage par discrimination tactile des touches : l'utilisateur pourrait identifier certaines touches grâce à leur forme particulière ou à leur texture.

La méthode DMA peut ainsi s'avérer utile en phase de traduction du besoin, pour formaliser les résultats de l'analyse du besoin et en déduire des spécifications pour la conception ou la re-conception. Mais les bénéfices potentiels de cette méthode ne se limitent pas à cette

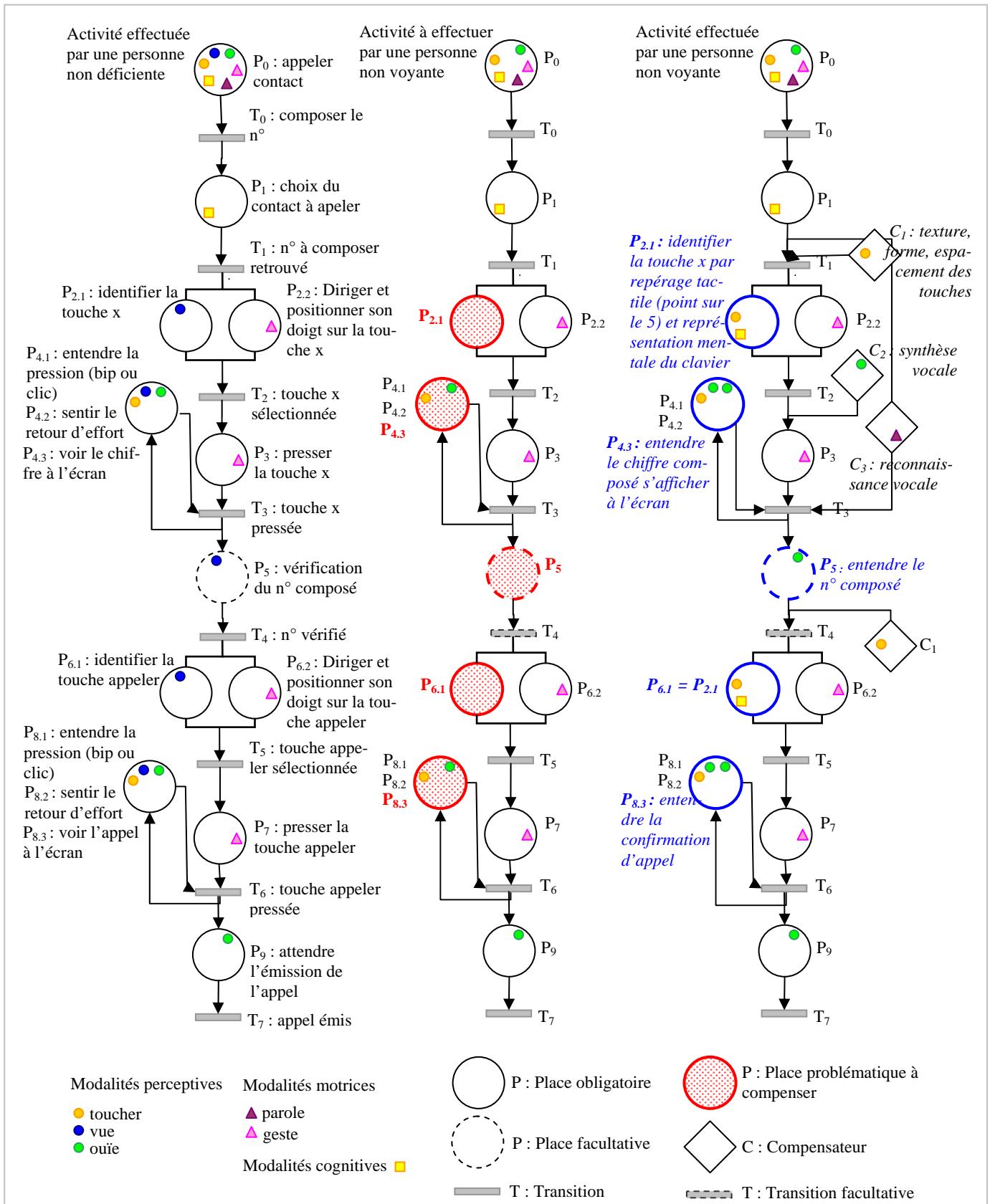


Figure 3: Exemple de diagrammes DMA appliqués à l'activité « composer un numéro » sur un téléphone portable. Le modèle de gauche correspond à la réalisation de cette activité par un utilisateur disposant de toutes ses modalités ; les deux autres modèles par un utilisateur non voyant sans compensateurs (milieu) et avec compensateur (droite).

seule phase, comme nous allons tenter de le montrer dans la section suivante.

INTEGRATION AU PROCESSUS DE CONCEPTION

La figure 4 montre différents points d'insertion pour la méthode DMA dans le processus de conception. Nous considérons ici principalement un projet du type conception de produit multimédia ou multimodal, en particulier lorsqu'un des objectifs est qu'il soit adapté aux personnes présentant des déficiences ; car dans ce cas l'étude des modalités d'interaction doit être plus fine.

En phase de **traduction du besoin**, la DMA peut être utilisée en trois points (DMA1, DMA2, DMA3 sur la figure 4). La DMA1 est réalisée par les concepteurs, et repose sur deux sources principales :

- L'Analyse Fonctionnelle Externe (méthode APTE®) des produits existants et de leur environnement, qui permet d'avoir une première idée du fonctionnement global du système.
- L'analyse des produits et solutions existantes, la veille technologique, afin d'intégrer au modèle les technologies disponibles.

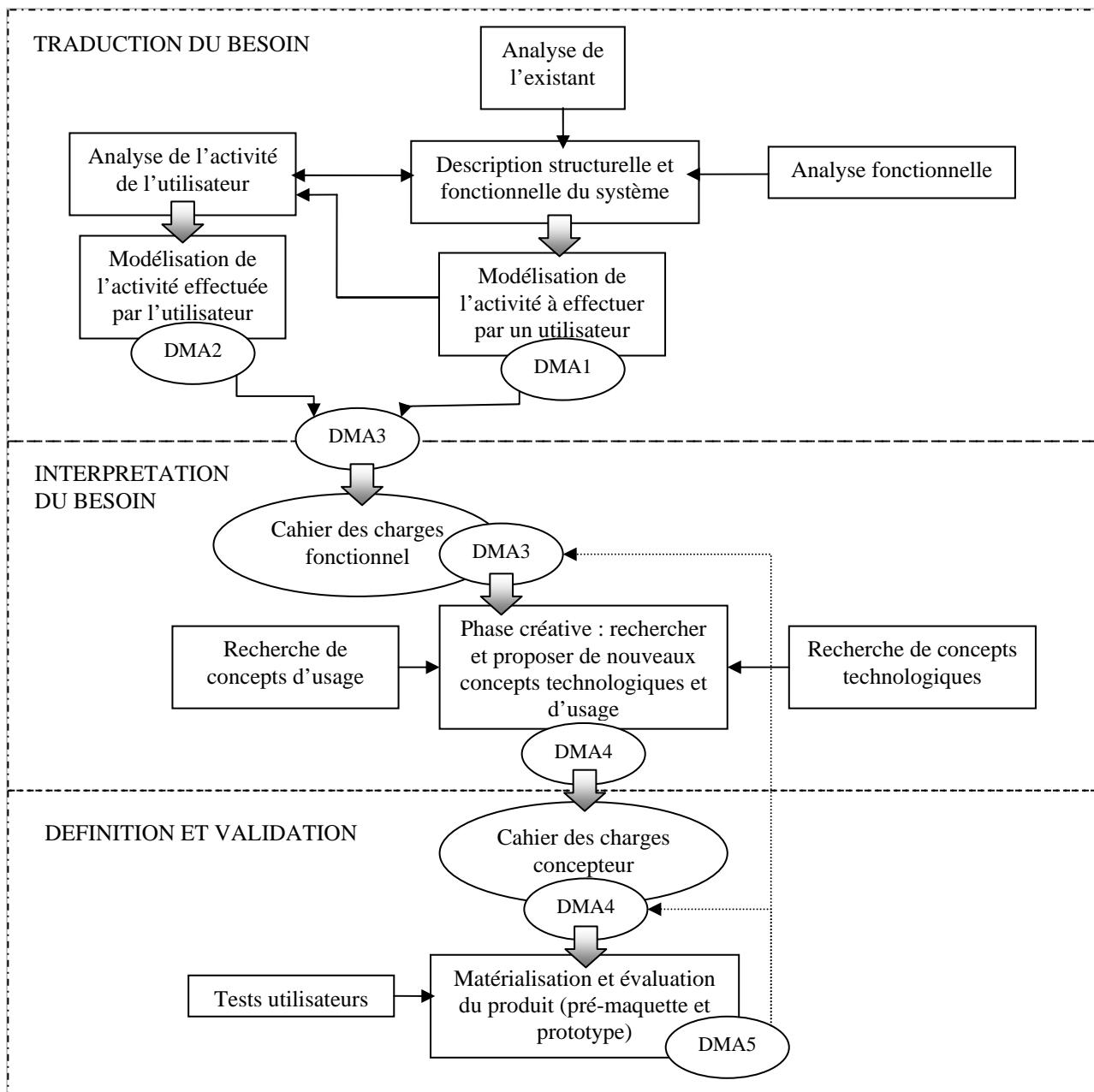


Figure 4: Utilisations potentielles de l'outil DMA dans le processus de conception.

DMA1 correspond plus ou moins à l'usage prescrit par l'équipe de conception en phase amont. Vis-à-vis de notre précédent exemple (figure 3), DMA1 correspond aux organigrammes de gauche (utilisateur non déficient) et du milieu (hypothèse et anticipation des problèmes d'un utilisateur présentant une déficience et ne bénéficiant d'aucun compensateur). DMA2 concerne davantage les données réelles issues de l'analyse de l'activité des utilisateurs cibles. Cette étape permet de recueillir les stratégies et les besoins des utilisateurs, et a pour but d'aboutir à des recommandations d'ordre ergonomique pour la conception du nouveau produit. La méthode DMA permet non seulement de synthétiser les données recueillies, mais également de guider l'analyse de l'activité. En effet, la réflexion sur l'usage possible (prescrit) menée avec DMA1 pourrait permettre de préparer le terrain et d'observer tout de suite les places qui ne s'effectuent pas de la manière prévue, celles qui manquent... DMA2 aboutit à une comparaison du prescrit et du réel.

DMA3 est un modèle synthétique et enrichi (DMA1+DMA2), dont l'objectif est à la fois d'être le plus proche possible de l'activité réelle d'utilisation des produits existants et de faire figurer de premières solutions et hypothèses de conception. DMA3 est destiné à servir de donnée d'entrée à la rédaction du Cahier des Charges Fonctionnel.

DMA3 faisant également ressortir les besoins des utilisateurs, cette représentation intermédiaire peut aussi être un support de créativité lors de la phase **d'interprétation du besoin**. Face à l'altération ou l'absence d'une ou plusieurs modalités, la phase de créativité peut être orientée vers la recherche de solutions et de compensateurs, aboutissant ainsi à de nouveaux concepts d'usages. Une fois un ou plusieurs concepts sélectionnés, le modèle est remis à jour pour les intégrer. On obtient alors DMA4.

En phase de **définition et de validation du produit**, DMA4 est traduit en paramètres de conception. Ce même diagramme peut aussi permettre d'élaborer un guide d'évaluation du produit soulignant les critères à respecter au niveau des modalités mises en jeu dans l'utilisation du produit (DMA5).

Le processus de conception présenté en figure 4 inclut la possibilité de retours en arrière vers DMA3 ou DMA4 afin de les corriger en fonction des résultats d'évaluation de la maquette ou du prototype, et ainsi d'opérer une boucle d'amélioration du produit.

CONCLUSION

La méthode de Décomposition Multimodale de l'Activité proposée dans cet article peut s'avérer être un outil d'aide à la conception permettant la prise en

compte des spécificités d'une population en termes de modalités d'interaction :

- DMA peut aider à identifier les problèmes potentiels et réels liés à l'absence ou l'altération d'une modalité.
- Elle peut aussi faciliter la recherche de solutions existantes ou innovantes pour compenser des modalités d'interaction déficientes.

Comme tout modèle d'analyse de la tâche ou de l'activité, DMA n'est qu'une représentation abstraite de la réalisation de l'activité, qui peut varier en fonction des différences interindividuelles, du contexte, du produit, etc. Elle ne permet de comprendre que certains aspects du problème, mais peut néanmoins être utile à l'analyse et à la conception.

L'emprunt du formalisme graphique des réseaux de Petri permet au modèle DMA de proposer une décomposition uniforme de l'activité, avec une description des interactions aussi bien déclarative (état des choses) que procédurale (façon d'arriver à ces états). Autorisant la prise en compte de phases parallèles et séquentielles, DMA peut être ajusté en fonction du système étudié ou du contexte de réalisation de l'activité.

L'originalité de DMA repose sur la mise en avant des modalités d'interactions utilisateur-système dans l'usage d'un produit. Elle permet d'identifier les problèmes liés à une modalité déficiente mais pourrait aussi être utilisée pour un produit qui utilise une modalité plus qu'une autre, etc. Cette méthode permet de formaliser les données issues du terrain et d'intégrer l'analyse de l'activité de façon schématique dans un outil utilisé par l'ensemble de l'équipe de conception. Elle permet également au concepteur d'imaginer l'usage d'un produit encore non-existent et d'en anticiper ses problèmes potentiels.

Nous avons mis en œuvre l'outil DMA dans le cadre d'un projet de définition d'un Cahier des Charges d'Evaluation Handicap de terminaux mobiles pour un opérateur français de téléphonie mobile. Notre utilisation s'est arrêtée au stade DMA3 et n'a pas été étendue à un processus de conception complet, néanmoins cette méthode a été appréciée pour ses qualités de synthèse des données recueillies lors de l'analyse de l'existant et de l'analyse des besoins des utilisateurs.

La méthode DMA n'ayant pas été appliquée à toutes les étapes du processus de conception, elle manque sans doute de maturité à l'heure actuelle. Son utilisation tout au long de la démarche de conception devrait permettre d'évaluer sa pertinence pour chaque étape et éventuellement de l'améliorer. Nous pouvons aussi envisager d'expérimenter son usage par différents acteurs

de la conception afin d'évaluer ses coûts et ses bénéfices. Car si la DMA propose une logique de fonctionnement qui se veut intuitive, empruntée aux réseaux de Petri, il s'avère nécessaire de s'accoutumer, par apprentissage, au formalisme graphique.

BIBLIOGRAPHIE

1. Abed, M., Bernard, J.M., and Angué, J.C. Task analysis and modelization by using SADT and Petri Networks. In *Proceedings of European Conference on Human Decision Making and Manual Control*, 1991.
2. Annett, J. and Duncan, K.D. *Task analysis and training design*. Occupational Psychology, 41, 1967, pp. 211-221.
3. Card, S.K. and Moran, T.P. *The Keystroke-Level Model for user performance time with interactive systems*. Communication of the ACM, 23, 1980, pp. 396-410.
4. Card, S.K., Moran, T.P., and Newell, A. *The Psychology of Human Computer Interaction*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 1983.
5. Ezzedine, H. and Kolski, C. *Modelling of cognitive activity during normal and abnormal situations using Object Petri Nets, application to a supervision system*. Cognition, Technology & Work, 7, 2004, pp. 167-181.
6. Moran, T.P. *The command language grammar: A representation of the user interface of interactive computer systems*. International Journal of Man-Machine Studies, 15, 1981, pp. 3-50.
7. Navarre, D. *Contribution à l'ingénierie en Interaction Homme Machine - Une technique de description formelle et un environnement pour une modélisation et une exploitation synergiques des tâches et du système*: Thèse de l'Université de Toulouse, 2001.
8. Oviatt, S.L. Multimodal interfaces. In J.A. Jacko and A. Sears (Ed.) *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, evolving technologies and emerging applications*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ. 2003, pp. 286-304.
9. Plos, O. and Buisine, S. Universal design of mobile phones: A case study. In *Proceedings of CHI'06 International Conference on Human Factors in Computing Systems (work-in-progress)*, ACM Press, 2006, pp. 1229-1234.
10. Scapin, D.L. and Bastien, J.M.C. Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception: L'approche MAD*. In C. Kolski (Ed.) *Analyse et Conception de l'IHM*, Hermès Science Publications, Paris. 2001, pp. 85-116.
11. Tabary, D., Abed, M., and Kolsky, C. Object oriented modelling of manual, automatic, interactive tasks in mono or multi-user contexts using the TOOD method. In *Proceedings of Conference on Management and Control of Production and Logistics*, 2000, pp. 101-111.

Optimiser le processus d'innovation grâce aux traces informatiques d'usages

Stéphanie Buisine¹, Karan Fouladi², Julien Nelson¹ et William Turner³

¹ Arts et Metiers ParisTech, LCPI, 151 bd de l'Hôpital, 75013 Paris, France
stephanie.buisine@ensam.eu

² Laboratoire d'Informatique de Paris 6, 104 av. du Président Kennedy, 75016 Paris, France
karan.fouladi@lip6.fr

³ LIMSI-CNRS, BP 133, 91403 Orsay Cedex, France
william.turner@limsi.fr

Résumé : Dans cet article nous étudions la possibilité d'intégrer des traces numériques d'usages recueillies à distance en conditions réelles dans le processus de conception. Nous positionnons nos travaux vis-à-vis des méthodes actuelles d'analyse de l'usage, et vis-à-vis des travaux sur l'analyse de traces informatiques d'interaction. La méthode proposée s'inscrit en complément des méthodes classiques d'analyse de l'usage, elle permet un recueil longitudinal en continu capturant la dynamique des comportements d'usage. Nous développons ensuite un exemple applicatif de recueil et de visualisation des traces d'usages pour enrichir la conception d'un décodeur de télévision numérique intelligent. Cela nous amène à confronter les traces d'usages effectifs avec le point de vue des concepteurs. Enfin nous discutons la faisabilité et l'apport d'une telle ingénierie des connaissances pour l'analyse des usages.

Mots-clés : Modélisation des usages, Analyse de traces.

1. Introduction

L'ingénierie de conception intègre classiquement l'usage par l'intermédiaire des notions de besoin ou de valeur, avec notamment les méthodes d'analyse fonctionnelle et d'analyse de la valeur. Pour aller plus loin, les courants récents d'innovation assistée par l'usage proposent de prendre en compte l'usage quotidien, dans sa dynamique, pour guider les choix de conception au plus près des modes de vie des usagers : dans ce cas la conception n'est plus seulement guidée par le besoin mais aussi par l'activité située. Nous nous inspirons de ce type d'approche pour proposer d'étudier l'usage en milieu naturel (domicile, transport, bureaux...) en tirant partie des nouvelles possibilités de recueil et de traitement des données émises par nos équipements numériques du quotidien. En effet, l'utilisation de ces données pourrait permettre d'optimiser l'analyse des usages en conception, en ayant accès à des panels plus larges, plus rapidement et à moindre coût que dans les cas d'utilisation de plateformes d'analyse d'usages simulés en laboratoire ou d'études terrain de type ethnométhodologique. Nous souhaitons savoir s'il est envisageable de fournir aux concepteurs un tableau de bord dynamique, montrant en temps réel les usages et l'état

du produit. Un second niveau d'objectif pourrait consister à rendre ce tableau de bord des usages interactif, et à tirer profit de la plasticité des produits numériques pour les reconcevoir en continu, ou plus modestement pour anticiper ce que ces changements impliquent pour les versions futures du produit, ou pour des produits innovants.

1.1. Intégration des données d'usage en conception

L'intégration de données centrées utilisateurs en conception peut être vue selon deux types d'approche : la première approche, issue de la psychologie appliquée, est essentiellement centrée sur la mesure et l'optimisation de performances (Norman & Draper, 1986), et trouve son apogée dans le courant du *usability engineering* (Nielsen, 1993; ISO13407, 1999; Bevan, 2008) dont les piliers sont l'efficacité, l'efficience et la satisfaction.

La seconde approche est née des travaux sur la cognition et l'action situées (Suchman, 1987), et de la redécouverte des travaux de Vygotsky sur la psychologie historico-culturelle (Rabardel, 1995; Kapteinin & Nardi, 2006). Ce cadre théorique incite à l'observation sur le terrain des schèmes d'usage des artefacts (Rabardel & Bourmaud, 2003) et permet ainsi de mettre en évidence des phénomènes de « conception dans l'usage » provenant des utilisateurs, par opposition à la « conception pour l'usage » réalisée par les concepteurs (Folcher, 2003). Pour optimiser la communication entre utilisateurs et concepteurs, des méthodes intégrées ont été élaborées en combinant des techniques issues de plusieurs disciplines. C'est le cas par exemple du processus de conception assistée par l'usage, qui intègre « ce que font les usagers des technologies nouvelles auxquelles ils sont confrontés » (Forest, 2002). Le programme de recherche français CAUTIC (Conception Assistée par l'Usage pour les Technologies d'Information et de Communication) est un exemple de ce type de conception. Il a permis de construire une méthode d'enquête, constituée d'entretiens semi-directifs auprès des usagers, de tests sur maquettes en cours de conception, permettant d'explorer les pratiques, les identités sociales et professionnelles des usagers, et leur environnement social. Cette méthode donne lieu à des expérimentations en laboratoire (plateformes d'usages), à des simulations des usages (scénarios), à des observations filmées, etc (Mallein & Trompette, 2006). La conception s'appuie sur des procédures de prédition (qui produisent des fonctions), de validation ou d'évaluation ergonomiques et sociologiques (qui produisent des critères). Ces critères incluent aujourd'hui également l'expérience affective de l'usager (Norman, 2004; Cahour et al., 2007).

La conception participative intègre les préoccupations de la cognition située dans le sens où elle part du postulat que les utilisateurs finaux détiennent une connaissance pouvant être utilisée pour concevoir des produits mieux adaptés. La problématique du recueil de ce savoir a fait émerger des méthodes d'interviews, puis des processus de conception collective, dans lesquels tous les participants sont considérés comme experts. Les usagers participent alors au processus créatif de la conception. La conception démocratique est une forme « naturelle » de la conception participative conceptualisée par Von Hippel (2005). Il montre que la plupart des innovations qui favorisent la croissance économique ne sont pas le fait des industriels mais que leur

origine vient des usagers eux-mêmes. Ces innovations, généralement incrémentales, sont le fruit des usagers qui, contraints à satisfaire un besoin particulier, sont amenés à innover par eux-mêmes. Ces usagers sont appelés par Von Hippel les utilisateurs pilotes ou *lead users*. Akrich (1998) distingue quatre formes d'intervention des utilisateurs sur les dispositifs déjà constitués :

- Le déplacement : exploite la flexibilité des produits ; modifie les usages prescrits, sans annihiler ce pour quoi le produit a été conçu.
- L'adaptation : modifications permettant d'adapter le produit aux besoins de l'utilisateur sans toucher à sa fonction.
- L'extension : ajout d'un ou plusieurs éléments permettant d'enrichir les fonctionnalités du produit.
- Le détournement : modification complète des usages prévus du produit, en détournant son utilité première vers de nouvelles fonctions.

Ces phénomènes peuvent être rapprochés de ce que nous avons nommé plus haut la « conception dans l'usage » (Folcher, 2003), si ce n'est que Von Hippel s'intéresse au cas particulier des innovations créées par les usagers qui ont eu l'opportunité d'être diffusées. Pour généraliser cette construction participative et distribuée de l'innovation, Von Hippel a développé la méthode de l'utilisateur pilote, qui intègre à l'équipe de conception des utilisateurs de pointe, d'avant-garde, pour anticiper les nouveaux marchés potentiels. En conclusion, s'il est reconnu que l'analyse des usages situés peut enrichir considérablement la conception, les méthodes proposées pour cela sont soit très lourdes – par exemple la conception assistée par l'usage (Mallein & Trompette, 2006) – soit reposent sur des usagers exceptionnels comme les *lead users* (Von Hippel, 2005). Notre ambition dans cet article est de proposer une méthode alternative d'intégration des usages situés en conception.

1.2. Ingénierie des connaissances pour la conception et l'innovation

Une condition importante pour atteindre notre but est que les concepteurs puissent avoir accès aux connaissances sur les usages les plus riches, les plus complètes possibles, avec toute leur dynamique, et dans la durée. Cette vision de la conception peut bénéficier de façon importante des outils informatiques de traitement et de fouilles de données sur de grands panels d'usagers. Par exemple, une technique de fouille de données appliquée aux fichiers logs (enregistrement des actions des utilisateurs) s'est répandue sous le nom de « web mining ». Les informations extraites ont pour but d'aider à la maintenance ou à la refonte des sites web. Le Web Usage Mining (WUM) extrait des patrons de comportement à partir des fichiers logs, des informations sur la structure du site et sur les profils des utilisateurs (Tanasa *et al.*, 2004). En analysant ces données d'usages, par exemple les parcours des utilisateurs sur un site, les concepteurs de site peuvent proposer des contenus ou des structures mieux adaptés aux usages des utilisateurs.

Les logs étant des messages informatiques difficilement exploitables tels quels, un courant d'ingénierie des connaissances s'est développé autour de leur traitement (interprétation, enrichissement, représentation...) afin d'en faire des « traces d'interaction » qui ont alors statut de connaissance. Ces traces peuvent ensuite être

utilisées pour modéliser l'activité cognitive des utilisateurs (Georgeon, in press), pour concevoir un système d'assistance avec un processus de raisonnement à partir de cas (Mille & Prié, 2006), pour fournir une assistance métacognitive au travail de groupe grâce à une réflexivité sur l'activité collective (Cram et al., 2007; Laflaquièvre et al., 2007), ou encore pour faciliter l'appropriation d'un produit par l'utilisateur lui-même (Mille & Prié, 2006). Dans ce dernier cas, le problème du hiatus entre logique de conception et logique d'utilisation est traité en présentant systématiquement un retour à l'utilisateur de ce qu'il fait et de l'impact qu'il a sur son environnement. En ce sens ces travaux se rapprochent de la technométhodologie (Dourish & Button, 1998) qui reprend le principe fondateur de l'ethnométhodologie (rendre compte de l'activité située) appliqué au système et non pas à l'usager : la technométhodologie aligne la conception logicielle non pas avec les pratiques de travail, mais avec les moyens par lesquels ces pratiques émergent et se constituent.

La visualisation des données est une problématique importante des systèmes à base de traces (Cram et al., 2007; Lund & Mille, 2009) : on trouve notamment la visualisation sous forme de *lifeline* (qui permet de remettre en contexte l'histoire interactionnelle), les visualisations donnant une vue d'ensemble de certaines variables après des traitements de type moyennage, la représentation sous forme de faces de Chernoff, la construction de diagrammes hiérarchiques, de graphes dynamiques, etc. Dans certains cas (Lund & Mille, 2009) ces visualisations sont destinées au concepteur, dans un but de ré-ingénierie de l'outil, et l'exploitation se fait a posteriori – et pas en temps réel par rapport à la génération de traces.

1.3. Hypothèses

Par rapport à la conception assistée par l'usage, nous proposons d'introduire une nouvelle modalité de communication entre utilisateurs et concepteurs (les traces d'usage) et, cette modalité étant particulièrement transparente pour les utilisateurs, nous pensons qu'elle peut rendre compte de situations d'usage particulièrement écologiques et ainsi faciliter l'innovation démocratique, ou encore permettre la diffusion de la conception dans l'usage, alors que celle-ci reste habituellement dans l'ombre (Folcher, 2003). En effet, les traces d'interaction devraient permettre une observation longitudinale et non intrusive des usages, en capturant leur dynamique. Cette méthode n'a pas pour vocation de remplacer les méthodes existantes d'analyse de l'usage (issues de la sociologie, de l'ethnométhodologie, de l'ergonomie, du marketing...) mais de les compléter et d'offrir un nouveau point de vue.

La méthode que nous proposons relève de « l'ingénierie des connaissances » en ce sens que nous mettons en œuvre des techniques (conception de variables et mise en forme de modes de visualisations) dans l'objectif de transformer des données brutes (les logs), en connaissances organisées. Par rapport aux systèmes à base de traces existants, notre originalité se situe sur la nature des connaissances générées (connaissances sur les usages) et sur l'utilisation qui en est faite (diffusion des connaissances aux concepteurs tout au long de la conception). Nous souhaitons offrir aux concepteurs la possibilité d'utiliser les connaissances sur les usages dès l'amont du processus (en les traduisant en besoins, exprimés ou latents), lors de la conception

générale (en suggérant des innovations aux concepteurs), de la conception détaillée (avec la possibilité de réaliser des itérations rapprochées pour tester certains designs), et lors de la validation du produit (en observant l'appropriation à moyen et long terme). Pour illustrer notre approche, nous en présentons ci-dessous une application menée dans le cadre de la conception d'un décodeur TNT (Télévision Numérique Terrestre) innovant.

2. Etude de cas

Cette étude a été menée dans le cadre d'un projet ANR de conception d'un Boîtier Utilisateur Intelligent et Simple (BUIS) destiné à se substituer aux décodeurs TNT actuels et éventuellement à intégrer directement les téléviseurs de demain. Compte tenu de la quantité toujours croissante de contenus audiovisuels (TNT, chaînes locales, câble et satellite, services interactifs, services IP...) il est de plus en plus difficile de rechercher et de naviguer dans ces contenus. L'interaction est complexifiée par les contraintes de représentation sur le téléviseur et par les limites de la navigation par télécommande. La finalité du projet BUIS est de simplifier l'accès aux contenus audiovisuels en intégrant dans le décodeur un agent intelligent proposant des programmes en fonction des goûts de l'usager (par utilisation de techniques d'apprentissage). Ce projet, qui a donné lieu à une collaboration entre industriels, informaticiens, ergonomes, sociologues et usagers, s'est inscrit de façon plus large dans une problématique d'ordre socio-informatique (Turner *et al.*, in press).

2.1. Phase 1 : Analyse des usages existants

La conception a débuté par une analyse des usages destinée à valider le besoin pressenti en début de projet. Trois familles d'usagers de la TNT ont accepté de participer à l'étude et d'accueillir un décodeur communiquant avec le serveur du projet par l'intermédiaire d'un réseau sécurisé. Pour cette première phase du processus de conception, les logs étaient recueillis en situation contrôle, c'est-à-dire que nous avons analysé l'usage d'un décodeur classique, sans intelligence.

Pour obtenir une visualisation d'ensemble des habitudes d'usage de chaque famille et valider, ou non, le besoin d'une simplification de l'accès aux contenus télévisuels, nous avons choisi de calculer les indicateurs suivants grâce aux logs :

- La fréquence et le temps passé à rechercher les programmes en cours et/ou immédiats.
- La fréquence et le temps passé dans le menu Help (guide de programmes).
- La fréquence et le temps passé à regarder des programmes en cours.
- La fréquence de programmation des enregistrements.
- La fréquence et le temps passé à rechercher les enregistrements.
- La fréquence et le temps passé à regarder les enregistrements.
- La fréquence et le temps passé à configurer le décodeur (ergonomie).

Ces données ont ensuite été synthétisées au sein de graphes (Fig. 1). Les sommets (points de passage ou destinations), correspondent à des écrans de l'interface de TNT

(ex : menus) ou à des programmes (ex : programmes en cours, enregistrements, ou zapping qui correspond à des extraits de programmes de moins de 30 secondes). La représentation de ces sommets tient compte de la durée et de la fréquence de chacun de ces éléments. Les arcs (connexions entre les sommets), représentent les enchaînements relevés dans les logs. La représentation de ces arcs tient compte du nombre d'occurrences de chacun dans le corpus d'usage.

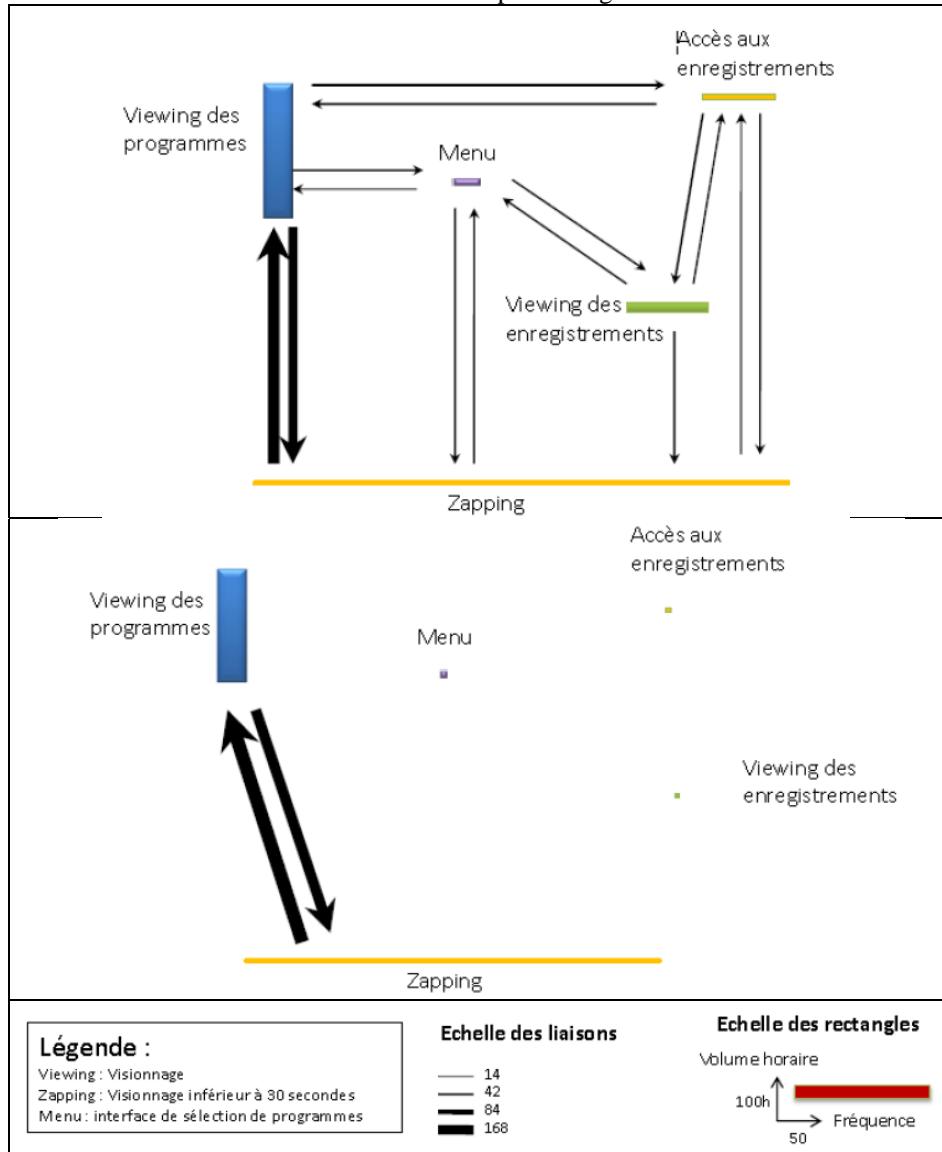


Fig. 1 – Graphe des usages pour les familles 1 et 3 sur une durée d'un mois.

Ces graphes d'usage ont été interprétés par les concepteurs comme validant le concept-produit. Même si le besoin d'une simplification de l'accès aux contenus

télévisuels semble plus ou moins prononcé selon les familles (cf. Fig. 1), les concepteurs ont jugé que même celles qui utilisaient le plus les menus et le magnétoscope numérique pouvaient encore gagner à la simplification de l'accès aux contenus, notamment pour diminuer le zapping et augmenter le temps d'écoute.

2.2. Phase 2 : Conception générale

Une fois le besoin validé et formalisé par un cahier des charges fonctionnel, la phase de conception générale est consacrée à la recherche de solutions. Dans cette phase les concepteurs peuvent s'inspirer pour partie d'observations d'usages et de stratégies mises au point par certains usagers (déplacement, adaptation, extension, détournement, cf. Akrich, 1998). C'est dans cette phase que l'intervention des *lead users* (Von Hippel, 2005) peut être la plus bénéfique au processus d'innovation.

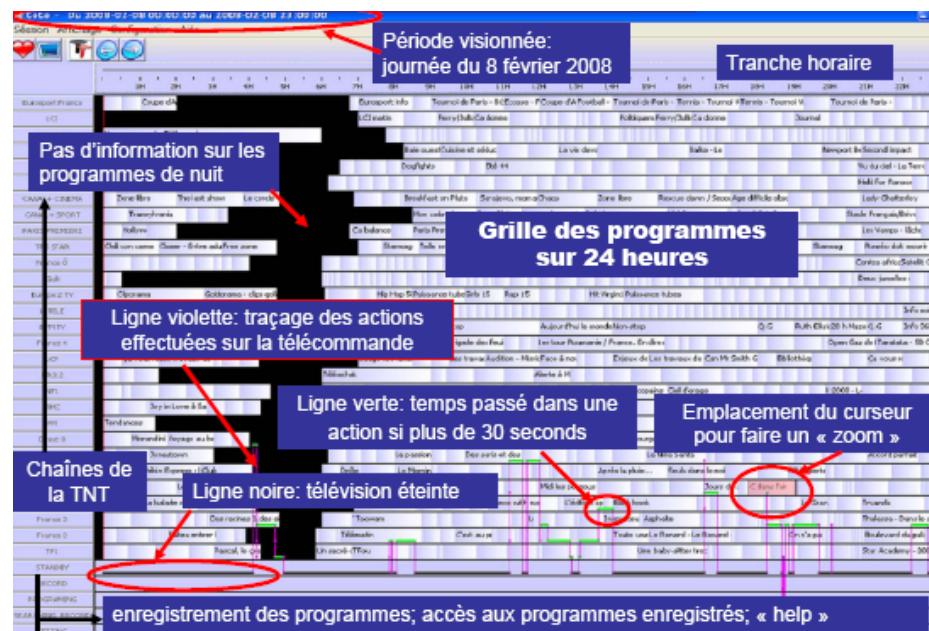


Fig. 2 – Scénarisation de l'usage du décodeur TNT sous forme de *lifeline*.

Cette phase nécessite donc de rentrer intimement dans l'usage afin de détecter des événements inattendus, des anomalies, des usages détournés, etc. Nous avons donc adopté une visualisation de type *lifeline* (Fig. 2) facilitant la reconstitution du scénario d'usage au niveau microscopique par opposition à la visualisation macroscopique sur un mois présentée plus haut (Fig. 1). La *lifeline* (Fig. 2) permet de visualiser simultanément le contexte (titre des émissions, résumés, horaires, etc., aspirés à partir d'Internet) et les traces d'usage (zapping, écoute d'une émission, recherche d'un programme, enregistrement, etc.). Cette visualisation personnifie hautement les traces d'usage et permet de « lire » en accéléré le quotidien des familles.

Ce point de vue sur les traces d'usage a effectivement permis de mettre en évidence les particularités de certaines familles : par exemple il s'est avéré que l'une

des familles ne passait jamais par TF1, allumait toujours la télévision sur F2 et zappait à partir de là. Un autre élément frappant chez plusieurs familles est l'observation de longues, voire très longues, plages d'écoute d'un canal unique. Certains de ces comportements relèvent du mono-chaînisme (ex : choix d'une chaîne musicale et utilisation de la télévision pour créer une ambiance sonore), mais d'autres laissent penser que la télévision est restée allumée en l'absence des usagers, ou pendant leur sommeil (ex : quand il y a absence totale d'activité, y compris de modulation du son). La télévision est aussi parfois laissée allumée à l'intention d'un usager qui ne peut pas agir sur le système (ex : enfant en bas âge, animal domestique).

Ces observations peuvent effectivement susciter des innovations, touchant à la personnalisation des interfaces ou à l'intégration de nouveaux équipements (ex : intégration d'un capteur de présence pour décider d'une mise en veille automatique) mais elles n'ont pas été très utiles à la génération de solutions pour notre projet. En effet, pour innover quant à l'usage des menus et/ou du magnétoscope numérique, il aurait sans doute été plus riche de pouvoir observer des utilisateurs fréquents de ces systèmes (ou bien sûr des *lead users*) ; or il s'est avéré que nos familles n'en étaient pas car elles fonctionnaient majoritairement par zapping.

2.3. Phase 3 : Conception détaillée

La force de notre dispositif repose en grande partie sur la possibilité de mettre à jour à distance le décodeur de nos familles (intégration de nouvelles fonctionnalités) et d'observer directement les répercussions sur les usages. Les retombées potentielles pour la conception détaillée sont donc importantes. Pour tester ces potentialités, nous avons envoyé à nos familles une mise-à-jour du décodeur leur permettant de bénéficier d'une première version de l'agent intelligent, disposant d'un premier modèle des utilisateurs et formulant des recommandations sur les programmes en cours, les programmes passés (enregistrés automatiquement si les émissions étaient jugées pertinentes pour les utilisateurs) et les programmes futurs. Ces recommandations reposaient sur des inférences quant aux préférences des utilisateurs (vis-à-vis de contenus audiovisuels, de types de programmes, de formats d'émissions, etc.) issues de techniques d'apprentissage développées par nos partenaires du LIP6 et appliquées aux logs recueillis durant la phase 1. Les recommandations étaient diffusées sous forme de pop-up à l'allumage ou sur la sollicitation de l'usager (touche Help). Les usagers étaient bien sûr informés, au moment de la mise à jour, de cette nouvelle fonctionnalité et bénéficiaient d'une démonstration du service.

Nous avons recueilli les logs sur une durée totale d'un an, avec 3 points de mesure avant introduction de l'agent intelligent et 3 points de mesure après. Il nous a semblé important d'observer l'évolution sur plusieurs mois afin de contrecarrer un éventuel effet de nouveauté : en effet il était possible que dans les semaines suivant l'introduction de l'agent on observe une surreprésentation dans l'usage liée à la curiosité des usagers et ne témoignant pas forcément de l'utilité du service.

Nous avons choisi pour cette phase une visualisation sous forme d'analyse en composantes principales à partir des indicateurs listés en section 2.1. L'analyse a fait ressortir 2 composantes (Fig. 3) qui expliquent 84,9% de la variance : l'axe vertical,

qui corrèle avec la recherche de programmes et l'utilisation du menu Help, a été renommé « exploration de l'espace télévisuel ». L'axe horizontal, qui corrèle avec les indicateurs liés aux enregistrements et à la configuration du décodeur, a été renommé « utilisation du magnétoscope ».

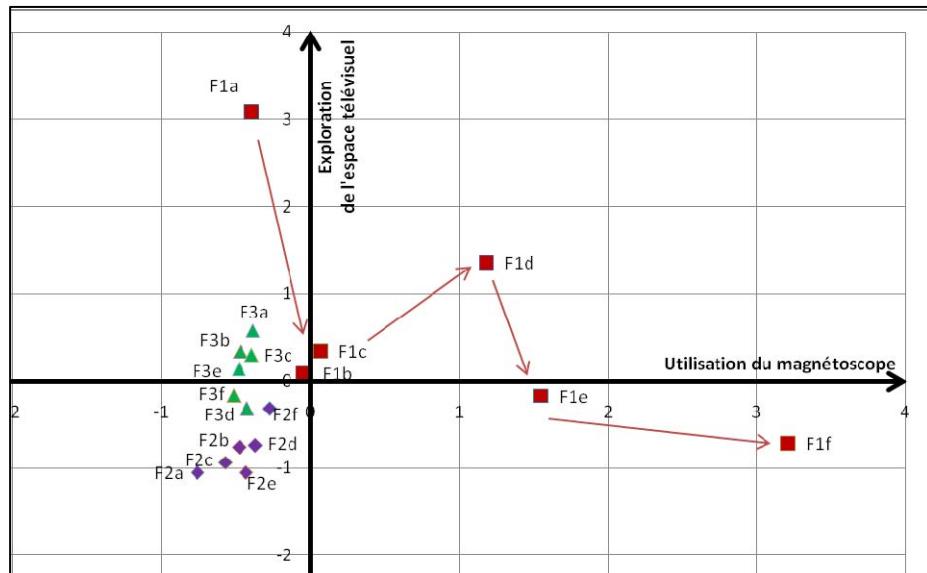


Fig. 3 – Evolution des indicateurs d'usage au cours du temps. Les carrés représentent la famille 1, les losanges la famille 2 et les triangles la famille 3. Les différents points de mesure sont nommés chronologiquement de a à f.

Ces résultats montrent que seule la famille 1 a évolué dans ses habitudes d'usage : les familles 2 et 3 sont restées à une exploration faible (ce sont toujours les mêmes programmes qui sont visionnés) et à une utilisation faible du magnétoscope. En ce qui concerne la famille 1, en début d'étude l'exploration était importante puis a spontanément diminué (points F1a à F1c). L'exploration relevait peut-être d'un effet de nouveauté lié à l'introduction de notre décodeur dans le foyer, même si celui-ci ne comportait aucune fonctionnalité innovante. En revanche, après l'introduction de l'agent intelligent, l'utilisation du magnétoscope numérique s'est beaucoup développée. Cette dernière évolution était attendue, mais nous attendions aussi un développement de l'exploration de l'espace télévisuel (sollicitation, par le menu Help, des recommandations de l'agent intelligent pour les programmes en cours et à venir).

2.4. Phase 4 : Validation du produit

Notre projet ne nous a pas permis d'atteindre cette phase supposant l'implantation d'une version définitive de l'agent intelligent dans le décodeur et l'observation de l'usage au long cours. En termes de visualisation, nous aurions sans doute choisi le même mode de suivi des usages que pour la phase de conception détaillée : l'analyse en composantes principales (Fig. 3). En effet cette méthode a l'avantage de faire

ressortir les variables qui ont subi une évolution, puisque son principe est de trouver le plan permettant de visualiser le maximum de dispersion dans un nuage de points.

3. Discussion

L'étude de cas précédente nous a permis de mettre en évidence les forces et les faiblesses de notre méthode d'ingénierie des connaissances pour l'analyse des usages. Nous avons présenté ci-dessus le processus comme si notre analyse n'avait reposé que sur les traces d'usage, alors qu'en réalité nous avons aussi mené des entretiens au sein des foyers, des tests utilisateurs *in situ*, et de multiples entretiens téléphoniques. L'analyse des traces d'interaction nous a incontestablement apporté de nouvelles connaissances sur les usages. Par exemple c'était pour nous le seul moyen d'investiguer et de quantifier des comportements comme le zapping ou l'exploration de l'espace télévisuel. En revanche, nous avons rencontré à de multiples reprises des problèmes d'interprétation, soulignant que les logs n'étaient pas autosuffisants pour l'analyse des usages. Par exemple, dans la phase d'analyse de l'activité initiale, nous avons été confrontés à un biais de confirmation d'hypothèses : les graphes d'usage montrant une faible utilisation du magnétoscope (Fig. 1) traduisent-ils un besoin latent ou au contraire une absence de besoin ? Les logs seuls ne permettent pas de trancher. Et l'absence d'évolution des usages des familles 2 et 3 un an plus tard (Fig. 3) suggère qu'il s'agissait plutôt d'une absence de besoin. Quoique ? Il se peut aussi que le besoin soit bien présent mais que notre solution ne le satisfasse pas, en raison par exemple d'un problème de confiance dans les recommandations de l'agent (critère d'évaluation sociologique) ou d'un problème d'utilisabilité du décodeur (critère ergonomique). Encore une fois, les logs seuls ne permettent pas de trancher, ils ne sont pas suffisamment réfutables : l'augmentation de consultation du menu Help aurait été un bon indicateur de la pertinence des recommandations de l'agent, mais l'absence de consultation du menu Help est difficilement interprétable en elle-même.

L'apport de l'analyse des traces d'usage pour la conception générale a également été important, mais incomplet. Elle nous a permis de mieux connaître nos familles, et d'identifier des questions intéressantes, des thèmes à approfondir avec elles. Cela nous amène à nouveau à souligner qu'il est difficile de se passer de méthodes complémentaires, comme les entretiens sociologiques, pour faire parler les traces d'usage. Par exemple sans entretiens nous n'aurions jamais pu savoir que certains utilisateurs laissaient la télévision allumée à l'intention de leur chien...

4. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé une méthode d'ingénierie des connaissances pour l'analyse des usages dans un but d'optimisation du processus de conception et d'innovation : nous proposons d'exploiter les événements générés par nos équipements numériques du quotidien pour modéliser les usages en conditions réelles,

à distance et en continu. Nous avons présenté une étude de cas de l'usage de la télévision numérique : cela a donné lieu à la mise en place d'une plateforme expérimentale de recueil des logs à distance, à une réflexion sur leur traitement, notamment sur les modes de visualisation adaptés à chaque phase du processus, et à la conception d'outils de lecture des logs pour représenter les usages sous ces différentes formes. Cet exemple démontre à la fois le potentiel de notre méthode et également ses points faibles : il est apparu de façon claire que, d'une part, cette méthode pouvait générer de nouvelles connaissances sur les usages et, d'autre part, qu'elle ne pouvait en aucun cas se substituer aux méthodes classiques d'analyse d'usage.

En termes de rentabilité il faut reconnaître que cette méthode est coûteuse à mettre en place (installation technique, maintenance du réseau, conception d'outils d'analyse) mais qu'elle peut par la suite apporter des bénéfices importants au processus d'innovation car elle génère des connaissances originales et inédites sur les usages, sur des panels potentiellement très larges, et avec un traitement en partie automatisé.

Enfin notre méthode d'ingénierie des connaissances pour l'analyse des usages ouvre aussi la voie à un processus d'innovation dans l'usage, car elle a le potentiel de fermer la boucle de rétroaction entre conception dans l'usage et conception pour l'usage (selon les termes de Folcher, 2003). Avec les produits traditionnels, non communicants, ces deux processus étaient forcément cloisonnés, ce qui supposait que les améliorations, personnalisations et innovations apportées par les usagers échappaient aux concepteurs et industriels. Avec les produits numériques, une communication peut être établie à ce niveau, même si elle est imparfaite, et même si elle ne se fait pas en temps réel. En outre, certains produits numériques comme le décodeur TNT que nous avons étudié peuvent être modifiés à distance, et donc accueillir « en ligne » à la fois les interventions des usagers et des concepteurs, ce qui multiplie encore les potentialités d'innovations, à la fois sur les produits et sur les process. Pour toutes ces raisons nous pensons que l'ingénierie des connaissances pour l'analyse des usages fera partie de la boîte à outils du concepteur de demain.

Références

- Akrich, M., "Les utilisateurs, acteurs de l'innovation", *Education permanente*, 134, 1998, p. 79-89.
- Bevan, N., "Classifying and selecting UX and usability measures", *Proceedings of COST294-MAUSE Workshop: Meaningful Measures: Valid Useful User Experience Measurement*, 2008.
- Cahour, B., Brassac, C., Vermersch, P., Bouraoui, J.L., Pachoud, B., Salembier, P., "Étude de l'expérience du sujet pour l'évaluation de nouvelles technologies: L'exemple d'une communication médiée", *Revue d'anthropologie des connaissances*, 1, 2007, p. 85-120.
- Cram, D., Jouvin, D., Mille, A., "Visualisation interactive de traces et réflexivité: application à l'EIAH collaboratif synchrone eMédiathèque", *STICEF*, 14, 2007, p.

- Dourish, P., Button, G., "On "Technomethodology": Foundational relationships between ethnomethodology and system design", *Human Computer Interaction*, 13, 1998, p. 395-432.
- Folcher, V., "Appropriating artifacts as instruments: When design-for-use meets design-in-use", *Interacting With Computers*, 15, 2003, p. 647-663.
- Forest, F., Des sociologies de la réception assistées par l'usage des techniques d'information et communication: Héritage et enjeux, ENSSIB, 2002.
- Georgeon, O., "Analyzing traces of activity for modeling cognitive schemes of operators", *AISB Quarterly*, in press, p.
- ISO13407. Human-centred design processes for interactive systems. Genève, International Organization for Standardization, 1999.
- Kaptelinin, V., Nardi, B., *Acting with technology: Activity theory and interaction design*. Cambridge, MIT Press, 2006.
- Laflaquière, J., Prié, Y., Mille, A., "Des traces modélisées, un nouvel objet pédagogique?" *Proceedings of 4th annual scientific conference - LORNET*, 2007.
- Lund, K., Mille, A., Traces, traces d'interactions, traces d'apprentissages: définitions, modèles informatiques, structurations, traitements et usages, In *Analyse de traces et personnalisation des environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, 2009.
- Mallein, P., Trompette, P., Co-conception de produits et d'usages innovants, In *Pacte Politiques publiques, Action politique, Territoires*, 2006.
- Mille, A., Prié, Y., "Une théorie de la trace informatique pour faciliter l'adaptation dans la confrontation logique d'utilisation/logique de conception", *Proceedings of 13ème Journées de Rochebrune*, 2006.
- Nielsen, J., *Usability Engineering*, Academic Press, 1993.
- Norman, D., *Emotional design*. New York, Basic Books, 2004.
- Norman, D.A., Draper, S.W., *User centered system design: New perspectives on human-computer interaction*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1986.
- Rabardel, P., *Les hommes et les technologies: Une approche cognitive des instruments contemporains*. Paris, Université de Paris 8, 1995.
- Rabardel, P., Bourmaud, G., "From computer to instrument system: A developmental perspective", *Interacting With Computers*, 15, 2003, p. 665-691.
- Suchman, L., *Plans and situated actions: The problem of Human Machine Communication*. New York, NY, Cambridge University Press, 1987.
- Tanasa, D., Trousse, B., Masseglia, F., Fouille de données appliquée aux logs web: Etat de l'art sur le Web Usage Mining, In E. Guichard (Ed.), *Mesures de l'internet*, p. 126-143, 2004.
- Turner, W.A., Buisine, S., Ganascia, J.G., Eveque, L., Fouladi, K., Marlier, J., Retamales, M., La conception innovante des objets à intelligence incorporée, In J.M. Noyer & B. Juanals (Eds.), *Les technologies intellectuelles au coeur de la transformation socio-technique*. Paris, Lavoisier Hermès Science, in press.
- Von Hippel, E., *Democratizing Innovation*. Cambridge, MIT Press, 2005.

L'imagerie cérébrale et la conception de produit : Vers de nouveaux outils d'évaluation

Jessy Barré, Amandine Afonso Jaco, Stéphanie Buisine & Améziane Ouassat

Introduction

Nous proposons dans cet article un état de l'art de l'utilisation de la neuro-imagerie (ou imagerie cérébrale) à des fins non médicales. Depuis quelques années, sont apparues ce que nous appellerons ici de nouvelles « *neuro-disciplines* » : neuroergonomie, neuroesthétique, neuromarketing... Ces disciplines sont nées du détournement des techniques d'imagerie cérébrale initialement utilisées dans le monde médical. Deux catégories de recherche sont réalisées à partir des données issues de l'imagerie cérébrale avec deux finalités différentes :

- *La substitution des fonctions motrices et cognitives* : Dans cette première catégorie de recherche, l'humain est assisté par la technologie (informatique et mécanique) pour substituer ses actions motrices et/ou cognitives par des réponses cérébrales, dans le but de compenser un trouble moteur ou sensoriel.
- *L'apport de nouvelles connaissances sur l'humain* : Cette seconde catégorie concerne quant à elle l'interprétation des données issues de l'imagerie. Les réponses cérébrales sont étudiées, à la manière des sciences humaines et sociales, pour comprendre le fonctionnement mental ou social lors d'actes d'achats, en situation de travail, etc.

Notre objectif est d'exposer une synthèse de ces recherches en émergence mais aussi de proposer un cadre prospectif pour l'utilisation des techniques d'imagerie cérébrale en conception de produit afin de renforcer l'évaluation de l'usage des produits avec des données plus objectives.

Les méthodes d'imagerie cérébrale

Lorsqu'un individu effectue une activité sensorimotrice ou cognitive, les mécanismes cérébraux sous-tendant ces activités suscitent de manière continue des besoins métaboliques importants. Cette demande énergétique est comblée principalement par la consommation de glucose. Comme le cerveau ne dispose que de peu de réserves, il est donc dépendant de l'apport continu dans les régions cérébrales sollicitées de glucose et d'oxygène. Dès lors, les variations régionales des taux de glucose ou d'oxygène correspondent assez précisément aux besoins métaboliques requis. Ainsi, les mesures du débit sanguin régional ou de la consommation cérébrale d'oxygène et de glucose permettent d'obtenir une estimation de

l'activité métabolique liée à l'activité synaptique sous-tendant des tâches sensorimotrices ou cognitives (Afonso, 2006).

Plus précisément, le système nerveux est constitué de plusieurs milliards de cellules qui sont divisibles principalement en deux catégories : les neurones et les cellules gliales. Les neurones sont les principaux éléments qui permettent, grâce à des signaux électriques, la communication au sein du système nerveux, qu'il soit central ou périphérique. Leurs corps cellulaires forment ce que l'on nomme la « substance grise » cérébrale (ou cortex), et sont en moyenne chacun connectés à 10 000 autres neurones. Grâce à leur prolongement (axone et ses différentes ramifications), ils envoient alors à leur tour un signal électrique également à 10 000 autres neurones environ. Les cellules gliales sont quant à elles des cellules de soutien, remplissant l'espace non occupé par les neurones et faisant l'intermédiaire entre ces derniers et la circulation sanguine. Elles permettent également d'améliorer la vitesse de conduction de l'information entre les neurones, grâce à la génération de la gaine de myéline (entourant les axones) qui forme la « substance blanche » observable sur les planches anatomiques.

L'observation du fonctionnement du cerveau humain est désormais possible grâce aux différentes techniques d'imagerie cérébrale qu'il s'agisse de la localisation des zones activées ou bien de l'analyse des différentes ondes électromagnétiques, reflet de l'activité électrique des neurones (Houdé, Mazoyer & Tzourio-Mazoyer, 2002 ; Fiori, 2006).

Nous pouvons distinguer deux grandes familles de méthodes d'imagerie cérébrale¹ : *les méthodes directes* avec la mesure de l'activité électromagnétique des neurones et *les méthodes indirectes* avec la mesure des changements métaboliques et hémodynamiques (figure 1).

Parmi les méthodes d'observation directe de l'activité cérébrale, nous pouvons citer l'Electroencéphalographie (EEG) et la Magnétoencéphalographie (MEG). Ces méthodes enregistrent directement le signal (électrique pour l'EEG ou magnétique pour la MEG) d'une population de neurones actifs à travers le scalp d'un individu. Ces techniques jouissent d'une excellente résolution temporelle (de l'ordre de la milliseconde), mais d'une faible résolution spatiale (de l'ordre du centimètre). Par ailleurs, elles ont l'avantage de ne pas être invasives pour l'individu.

Les méthodes d'observation indirecte sont principalement l'Imagerie fonctionnelle par Résonance Magnétique (IRMf) et la Tomographie par Emission de Positons (TEP). L'activité hémodynamique et métabolique ne peut être directement mesurée et est donc enregistrée à l'aide de traceurs para magnétiques (IRMf) ou radioactifs (TEP). Ces méthodes permettent d'obtenir une excellente résolution spatiale (de l'ordre du millimètre). En revanche, les

¹ Nous présentons les techniques d'imagerie cérébrale les plus répandues, mais d'autres existent notamment l'Imagerie Spectroscopique Proche Infrarouge (Near-infrared spectroscopy ou NIRS) par exemple.

données obtenues n'étant pas le reflet direct de l'activité synaptique, mais de la mesure de leurs conséquences vasculaires et métaboliques, ceci engendre une faible résolution temporelle (de l'ordre de 1 à 3 sec).

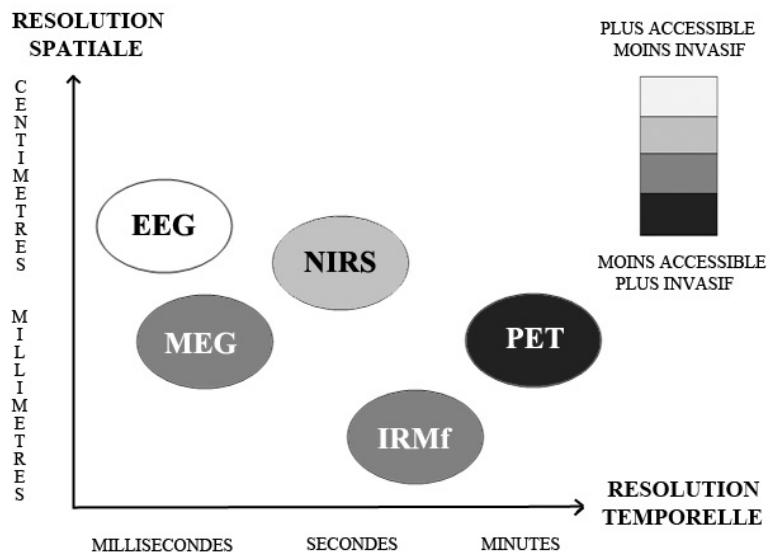


Figure 1 : Résolution spatiale et temporelle des techniques d'imagerie cérébrale (Schéma adapté de Laureys, Peigneux & Goldman, 2002 ; Parasuraman & Rizzo, 2007).

Au regard des contraintes liées à chacune de ces techniques, le recours à l'une ou l'autre d'entre elles sera fonction de ce qu'il sera le plus souhaitable de préserver au sein des travaux de recherche, les informations spatiales ou bien temporelles.

L'imagerie cérébrale pour la substitution des fonctions cognitives et motrices

Brain Computer Interface non invasif²

Les données obtenues par les techniques d'imagerie présentées ci-dessus permettent de communiquer avec un dispositif externe : ce sont les interfaces neuronales directes (*Brain Computer Interface* ou BCI). Plus besoin d'action motrice pour agir sur un dispositif ou un objet, tout est réalisable « par la pensée ». Les articles et les ouvrages sur ce sujet sont de plus en plus nombreux (Graimann, Allison & Pfurtscheller, 2010 ; Wolpaw & Wolpaw, 2012).

L'EEG est la technique la plus populaire, l'activité cérébrale recueillie par les électrodes permet d'interagir directement avec des dispositifs tels que des logiciels et des jeux vidéo (Krepki, Blankertz, Curio & Müller, 2007) ou tout autre système technique comme le contrôle d'un fauteuil roulant (Tanaka, Matsunaga & Wang, 2005). Le signal enregistré par le casque

² Les dispositifs de BCI invasifs concernent le domaine des neurosciences et de la médecine avec des objectifs thérapeutiques comme le remplacement de fonctions cognitives et motrices. Les capteurs sont alors introduits chirurgicalement sur les patients et dépassent le cadre de la neuro-imagerie comme nous la traitons ici.

EEG représente des successions d'ondes correspondant à une activité bioélectrique spontanée (sans stimulation), que l'on peut classer en fonction de leur fréquence (Hz) et de leur amplitude (μ V), ce sont les rythmes (tableau 1). On parle également de « potentiels évoqués » qui correspondent à des activités bioélectriques liées à des stimulations soit externes (un son, une image) soit internes (activité cognitive ou motrice) : onde N100, P300...

Rythme	Fréquence	Amplitude	Corrélates comportementaux
Delta	< 4 Hz	> 30 μ V	Sommeil lent/Sommeil profond
Thêta	4-7 Hz	20 μ V	Sommeil paradoxal/Somnolence
Alpha	8-13 Hz	25-75 μ V	Calme/Relaxation
Beta	14-30 Hz	< 20 μ V	Concentration/Anxiété
Gamma	> 30 Hz	< 20 μ V	Activité mentale importante/Agitation

Tableau 1 : Rythmes de base et corrélats associés.

Les dispositifs BCI enregistrent et traitent les ondes de l'activité spontanée ou évoquée puis les convertissent en signaux de contrôle pour créer une interaction avec l'utilisateur. Chaque type de réponse cérébrale aura alors été préalablement dévolu à une action particulière sur le dispositif. Les casques EEG sont devenus populaires et sont maintenant accessibles au grand public. Des sociétés comme *NeuroSky* ou *Emotiv* commercialisent ces systèmes EEG ainsi que des applications (figure 2).



Figure 2 : Application BCI avec le jeu « The Mindty Ant » utilisé avec le casque EEG Mindwave de Neurosky. Le personnage avance si le niveau de concentration, obtenu par le capteur EEG à partir de l'onde Beta, est suffisant.

Augmented Cognition

La cognition augmentée a pour objectif l'amélioration des fonctions cognitives humaines grâce aux technologies informatiques. Les capacités cognitives de l'homme étant limitées (mémoire, attention, compréhension...), des recherches portent sur la conception de technologies permettant de soutenir, voire de remplacer, l'activité cognitive humaine, dans certaines situations comme la fatigue ou la surcharge mentale. Les informations obtenues

grâce à l'imagerie cérébrale permettent de contrôler en temps réel l'état mental du participant et d'agir lorsque cela est nécessaire. Tous les deux ans depuis 2005, une conférence internationale sur cette thématique ainsi qu'un ouvrage de recueil d'articles sont réalisés (*Foundations of Augmented Cognition*).

Dans une étude de Dixon & al. (2009), l'activité cérébrale de l'équipage d'un véhicule militaire était mesurée pour identifier la surcharge mentale lors de tâches réalisées simultanément (conduite, communication...). Les communications gérées par le pilote pouvaient alors être transférées au co-équipier ou différées si une demande cognitive élevée était détectée par le dispositif EEG. Ce système de cognition augmentée, contrôlait, soutenait et améliorait alors les performances des individus.

D'autres recherches permettent également de concevoir de nouveaux outils ou matériels pour l'opérateur en situation de travail comme des détecteurs de fatigue pour les conducteurs (Sullivan, 2003) ou les pilotes (Cabon, Bourgeois-Bougrine, Mollard, Coblenz & Speyer, 2003). A partir de paramètres physiologiques enregistrés par électroencéphalographie, électrocardiographie ou encore électro-oculographie, il est alors possible de déterminer le moment où une personne est en train de s'endormir, ce qui offre la possibilité de la réveiller, avec par exemple, une alarme sonore.

L'apport de nouvelles connaissances sur l'humain

La Neuroergonomie

L'ergonomie des situations de travail s'est intéressée à la chronobiologie notamment pour les travailleurs postés et les activités nécessitant vigilance et attention. L'électroencéphalographie était alors le premier outil utilisé pour rendre compte de la fatigue en fonction des rythmes veille/sommeil avec les travaux d'Åkerstedt dans les années 80.

Depuis, un nouveau courant en ergonomie a fait son apparition, il y a un peu plus d'une dizaine d'années : la neuroergonomie (Parasuraman & Rizzo, 2007). Elle explore les fonctions cérébrales activées lorsque l'homme se trouve en situation de travail, en utilisant notamment les techniques d'imagerie cérébrale pour répondre aux problématiques telles que la santé, la sécurité et l'efficacité. L'aviation et l'automobile sont les deux secteurs les plus explorés principalement dans un objectif de sécurité : la prise de décision des pilotes d'avion lors d'un atterrissage risqué (Causse, 2010), ou les effets des psychotropes (THC et alcool) sur la conduite automobile (Calhoun, McGinty, Pekar, Watson & Pearson, 2001 ; Calhoun, Pekar & Pearson, 2004)... Dans ces expérimentations, les auteurs comparent les activations cérébrales (similarités et différences) entre différentes conditions expérimentales. Les résultats sont ensuite confrontés, d'une part à la littérature scientifique du point de vue anatomo-fonctionnel des aires cérébrales, et d'autre part aux données issues de l'analyse de questionnaires, d'entretiens, de mesures psychophysiologiques, comportementales.... Au-delà des apports de connaissance en neurosciences (fonctionnement cérébral de l'homme en

situations réelles ou quasi-réelles), ce type d'approche renforce la fiabilité et la richesse des résultats.

A titre d'exemple prenons l'expérimentation de Hsieh, Seaman & Young (2010), sur la conduite automobile et les mécanismes neuronaux mis en jeu en situation de communication. Dans cette étude il y a trois conditions expérimentales analysées en simulation de conduite (situation de conduite sans communication, situation de conduite avec communication téléphonique neutre et situation de conduite avec communication téléphonique à fort potentiel émotionnel), à l'aide de trois types de mesures (comportementales, EEG et IRMf). L'activation des aires cérébrales des différentes conditions sont comparées entre elles (figure 3), puis confrontées à la littérature. Les résultats sont ensuite complétés par des mesures comportementales. La condition « communication » montre une activation des aires du langage et de l'attention avec une augmentation du temps de réaction : une situation de communication dégrade donc les performances de conduites. L'étude révèle par contre que les communications neutres dégradent de manière plus importante la tâche de conduite par rapport aux communications à fort potentiel émotionnel comme la colère : l'émotion aurait donc un effet bénéfique sur la conduite lors des situations de communication.

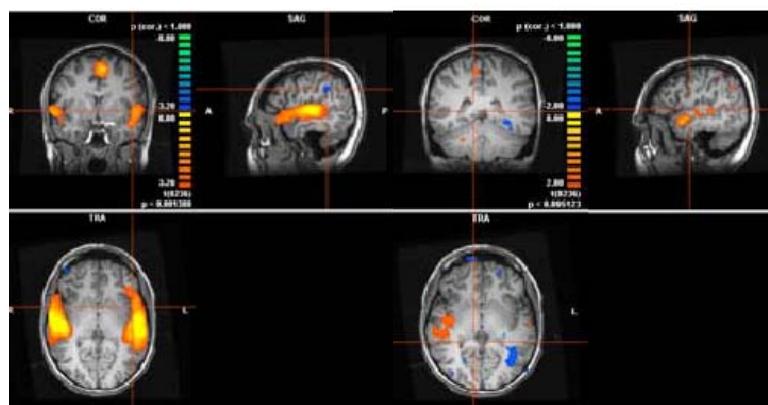


Figure 3 : En situation de conduite, activations cérébrales en communication (à gauche) et sans communication (à droite). (Hsieh, Seaman & Young, 2010)

Le Neuromarketing ou Neurosciences du consommateur³

Les chercheurs en neuromarketing, en analysant l'activité cérébrale des consommateurs, tentent de comprendre ce qui oriente les préférences et les décisions d'achat lorsque ces derniers sont confrontés aux marques, aux publicités ou encore aux produits. Ces recherches permettent de compléter les analyses comportementales en recherchant les processus non conscients et émotionnels directement à leurs sources. Pour plus d'informations et de détails se référer aux ouvrages de Zurawicki (2010) et Roullet & Droulers (2010). Des cabinets de

³ Dans la littérature scientifique le neuromarketing n'est pas toujours synonyme de neurosciences du consommateur : le neuromarketing serait l'application par les entreprises des connaissances neuroscientifiques sur le consommateur (Hubert & Kenning, 2008).

neuromarketing ont vu le jour autour de la planète (USA, Europe, Asie...) pour proposer aux entreprises une nouvelle offre en marketing. Les techniques d'IRMf et d'EEG sont de loin les plus utilisées, les analyses reposent en effet principalement sur l'observation de l'activation de zones cérébrales ou sur la manifestation de rythmes cérébraux particuliers.

En neuromarketing, de nombreuses études portent sur l'impact de la publicité. Les premières analyses EEG sur la télévision et la publicité datent des années 70/80 avec les travaux de Shagass, Krugman et Weinstein (Tupper & Cicerone, 1991). Les études en neuromarketing portent principalement sur trois problématiques : l'attention, la mémorisation et les émotions provoquées par la publicité (Rossiter, Silberstein, Harris & Nield, 2001 ; Vecchiato & al., 2010 ; Treleaven-Hassard & al., 2010). Roullet & Droulers (2010) illustrent par exemple, comment les analyses cérébrales permettent de mettre en avant un biais de conformisme : une publicité est jugée négativement par des mesures traditionnelles comme les entretiens, alors que les réactions cérébrales associées montrent des résultats différents. Ce type de données peut donc amener la marque à maintenir son spot publicitaire, alors qu'elle l'aurait probablement arrêté dans le cas d'une étude classique d'analyse de l'usage.

Une autre catégorie d'études concerne les marques elles-mêmes : nous pouvons citer celles qui traitent de l'attraction par rapport à une marque (Paulus & Frank, 2003), ou bien de la qualité perçue du produit en fonction soit de la marque (McClure & al., 2004), soit du prix (Plassmann, O'Doherty, Shiv & Rangel, 2008). Dans cette dernière expérience menée en IRMf, 20 participants ont donné leur appréciation gustative en ce qui concerne 3 types de vins dont le prix a été manipulé (augmentation du prix initial de 900% pour l'un des vins et diminution de 900% pour l'autre). Les résultats montrent que l'appréciation du vin est proportionnelle à l'augmentation du prix, et que cette appréciation est associée à une augmentation de l'activité des neurones du cortex orbitofrontal, généralement impliqués dans les mécanismes liés aux émotions.

Les décisions d'achats sont également analysées, au moyen d'IRMf (Kunston, Rick, Wimmer, Prelec & Loewenstein, 2007) ou d'EEG (Jones, Childers & Jiang, 2011). Différentes problématiques plus concrètes pour le marketing peuvent découler de ces études, comme savoir pourquoi un consommateur choisira un objet parmi tant d'autres dans un rayon de magasin. Certains travaux nous révèlent que la marque mais également le design de l'emballage auraient une influence sur les choix des consommateurs (Stoll, Baecke & Kenning, 2008 ; Hubert, Hubert, Sommer & Kenning, 2009).

Du Neuroesthétisme au Neurodesign

La neuroesthétique est l'étude des processus neuronaux mis en jeu lors de l'appréciation d'œuvres artistiques : arts visuels, littérature, musique et cinéma (Skov & Vartanian, 2009). Les premiers travaux ayant eu recours à l'imagerie cérébrale pour étudier le jugement esthétique ont principalement porté sur des œuvres d'art. Nous pouvons citer l'étude de Vartanian & Goel en 2004 ou celle de Kawabata & Zeki en 2004. Les participants avaient

pour tâche de juger différents types de peintures (paysages, natures mortes, abstraites...). L'expérimentation était menée en IRMf et avait pour but de mettre en avant une corrélation entre les préférences esthétiques et l'activation de zones cérébrales particulières. Les résultats montrent dans l'étude de Kawabata et Zeki, une activation du cortex orbitofrontal dès lors que la perception d'une peinture est jugée attrayante par les participants. De nombreuses autres études se sont également intéressées à des sujets similaires tels que le jugement de photographies en MEG (Cela-Conde & al., 2004), de sculptures en IRMf (Di Dio, Macaluso & Rizzolatti, 2007) et de musique en TEP (Blood & Zatorre, 2001).

En parallèle, des études sur les produits industriels ont commencé à voir le jour sous le versant des neurosciences. Erk et ses collaborateurs (2002), ont analysé l'attractivité de 12 hommes pour des voitures en fonction du modèle (sportive, berline et compacte). L'analyse IRMf montre une activation des neurones du circuit de récompense associée aux voitures sportives qui sont jugées plus attrayantes (Erk, Spitzer, Wunderlich, Galley & Walter, 2002). En 2007, Bar et Neta ont réalisé une étude IRMf similaire portant cette fois-ci sur plusieurs centaines d'objets de la vie courante (figure 4). Chaque objet avait sa version arrondie, angulaire et mixte (par exemple une bougie ronde, une carrée et une présentant autant de formes arrondies qu'angulaires). Il en ressort que les objets arrondis plaisent plus. Selon les auteurs, c'est l'amygdale qui entre en jeu, les neurones de cette zone s'activent à la vue des objets anguleux, car ils seraient tranchants et représenteraient donc un danger potentiel.

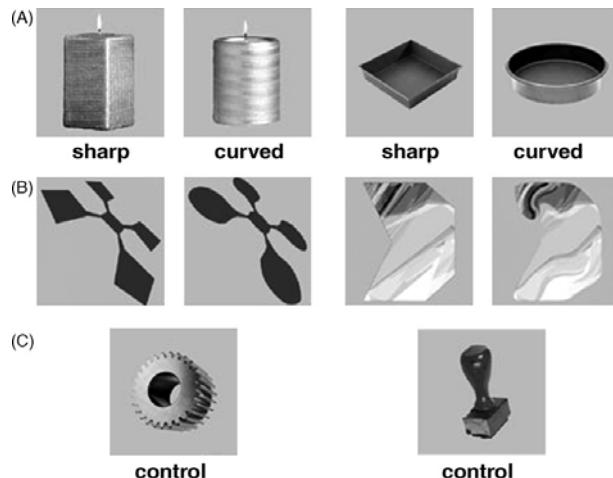


Figure 4 : Exemple de stimuli utilisés pendant l'expérience (A : objets de la vie quotidienne, B : objets abstraits, C : objets contrôles) (Bar & Neta, 2007).

Les études que nous venons de présenter s'intéressent à l'identification de l'activité cérébrale des individus associée à l'observation d'une œuvre d'art ou d'un produit. Comme le soulignent Roullet et Droulers (2009, 2010), il existerait des arguments forts en faveur de l'existence d'une beauté objective qui s'appliquerait aux œuvres d'art mais qui pourrait également s'appliquer aux produits industriels en manipulant les couleurs, les formes et les matériaux. Cette idée renforce l'importance du design en conception, en apportant de nouvelles méthodes pour les concepteurs et designers. L'aspect extérieur des produits a donc un rôle émotionnel très important (Motte, 2009), notamment pour motiver un acte d'achat. La

question se pose alors du recours à l'analyse de l'activité cérébrale pour l'évaluation des interactions entre un utilisateur et un produit.

Vers une Neuroergonomie de conception ou une Neuro-utilisabilité ?

L'analyse de l'activité cérébrale d'un utilisateur en situation d'interaction avec une interface (tablette tactile, téléphone portable...) ou un produit (outils à main, ustensiles de cuisine...), pourrait-elle être source d'information en ce qui concerne la performance et la satisfaction (difficulté, charge mentale, temps d'apprentissage, préférence, confort...) de l'individu? Le recours à certaines techniques comme la MEG, la TEP ou l'IRMf dans des protocoles expérimentaux est parfois rendu difficile de par la contrainte inhérente à la technique elle-même. Les participants se trouvent en effet dans une situation inconfortable (immobilité, bruit, stress...), voire invasive comme dans le cas de la TEP, qui implique de subir une injection dans le sang d'un traceur radioactif. Le recours à l'EEG se révèle être une des techniques les moins intrusives pour évaluer l'activité cérébrale liées aux fonctions cognitives mises en jeu lors de l'interaction avec un produit : l'appareillage est léger et laisse une liberté d'action optimale (figure 5). De plus cette technique possède une excellente résolution temporelle, ce qui est idéal pour la chronométrie des opérations mentales lors de l'interaction homme/produit.



Figure 5 : A gauche : Exemple d'appareillage Electroencéphalographie (Système sans fil BIOPAC B-Alert) avec lequel le sujet reste libre de ses mouvements. A droite : Imagerie par Résonance Magnétique (Appareil Philips Achieva) dans lequel le sujet doit être allongé et rester immobile.

Quelques travaux ont étudié cette interaction à travers l'enregistrement d'un EEG. Parmi les premières études nous pouvons citer celle de Schier (2000), qui portait sur l'évaluation de l'attention dans un jeu de course automobile. Après quelques minutes d'apprentissage, les participants devaient réaliser six tours de pistes sur un simulateur de conduite avec volant et pédalier. L'enregistrement EEG était effectué sur deux tours, pendant la tâche de conduite et pendant la tâche d'observation (*replay*). De la même manière l'étude de Smith, Gevins, Brown, Karnik & Du (2001) a utilisé une tâche de simulation (avec des niveaux de difficulté bas, modéré et haut) ainsi qu'une tâche d'observation passive, dans un simulateur de vol. Ces deux études se sont intéressées, entre autres, à l'onde Alpha associée dans la littérature au calme et à la relaxation, et dont l'activité était principalement observée dans les lobes frontaux

(F) et pariétaux (P ; figure 6). Les auteurs ont observé une augmentation de l'activité de cette onde principalement en observation passive, mais également dans les tâches les moins coûteuses cognitivement (figure 7 ; Passive Watch et Low Load).

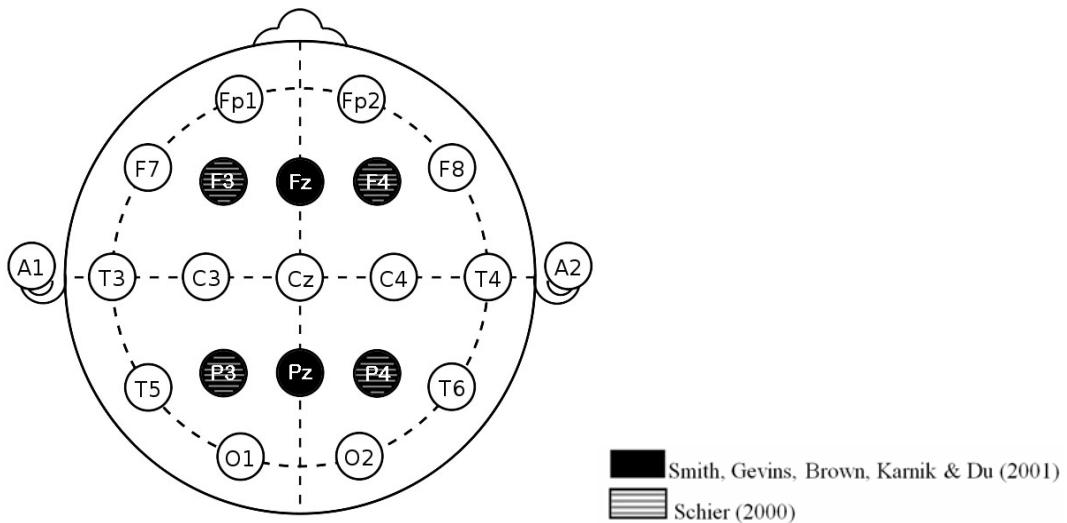


Figure 6 : Localisation des électrodes pour l'enregistrement de l'onde Alpha à partir du système international 10-20.

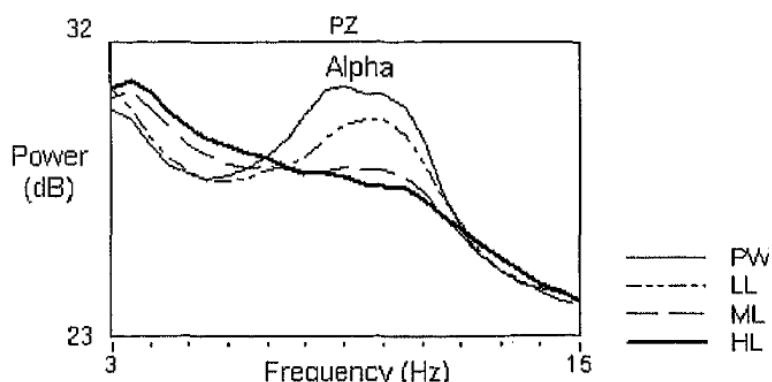


Figure 7: Moyenne générale de l'onde Alpha au niveau de l'emplacement Pz (Parietal midline) pour chaque tâche : Passive Watch, Low Load, Moderate Load et High Load (Smith, Gevins, Brown, Karnik & Du, 2001).

Récemment, d'autres expérimentations en EEG ont porté sur l'impact cognitif et émotionnel provoqué par les jeux vidéo en analysant principalement l'activité de l'onde Thêta (Salminen & Ravaja, 2008 ; He, Yuan, Yang, Sheikholeslami & He, 2008 ; Nacke, Stellmach & Lindley, 2011). Cette onde est impliquée dans les situations de rêveries, d'activités créatives et d'émotion, mais apparaît également lors de certains efforts cognitifs (figure 8). Les jeux vidéo peuvent engendrer ces phénomènes, notamment dans le fait de ressentir des émotions (tirer sur des adversaires, gagner ...).



Figure 8 : Illustration de l'apparition de l'onde Thêta entre la condition « observation » et « action » sur un jeu vidéo. (Pellouchoud, Smith, McEvoy & Gevins, 1999)

Enfin, en ce qui concerne l'analyse de l'interaction avec des produits, nous avons répertorié trois études qui ont particulièrement retenu notre attention. La première évalue, à partir de l'onde Alpha, le calme et la relaxation associés à l'utilisation de différents types de stylos (Tomico & al., 2008). Les auteurs parviennent à identifier les stylos les plus confortables pour les utilisateurs. Des entretiens sont également réalisés (*Repertory Grid*), pour vérifier les concordances entre mesures subjectives et objectives. Sans pouvoir relier systématiquement les résultats des deux méthodes, des liens ont cependant pu être identifiés sur certains stylos.

La seconde étude porte sur une action de la vie courante : la préparation d'un café. L'interaction est simulée, il s'agit seulement de réaliser l'action par la pensée notamment pour éviter une activation des régions motrices. Les auteurs mesurent l'activité cérébrale (EEG) et la température corporelle (thermographie infrarouge) des participants durant la simulation. Une fois le test terminé, un questionnaire est administré (*Affective Self Report*) pour contrôler la dimension affective et l'engagement des participants vis-à-vis de la tâche réalisée. Les résultats indiquent de fortes corrélations entre les différentes mesures effectuées : amplitudes EEG, température corporelle et questionnaire ASR (Jenkins, Brown & Rutherford, 2009).

La troisième étude évalue les préférences des utilisateurs entre deux périphériques de jeux vidéo durant une partie (une manette classique et une Wiimote). L'EEG vient compléter les mesures subjectives utilisées dans le domaine du jeu vidéo (*Game Experience questionnaire* et *MEC Spatial Presence Questionnaire*). Les résultats de chaque outil sont analysés indépendamment, puis des corrélations sont recherchées. Parmi les résultats nous pouvons évoquer la corrélation des ondes Alpha et Delta avec des affects négatifs et de tension lors de l'utilisation de la manette classique. Ces résultats posent questions, puisque par exemple, l'onde Delta est habituellement associée au sommeil (Nacke, 2010), ce qui amène les auteurs à s'interroger sur la véracité des corrélats comportementaux qui sont associés aux ondes cérébrales dans la littérature scientifique.

Au regard des données de la littérature, il apparaît que les techniques d'imagerie cérébrale peuvent être des outils de très grandes valeurs pour nous informer sur la cognition des utilisateurs en situation d'interaction homme / produit. Elles pourraient permettre d'approfondir l'évaluation des produits dans le cycle de conception, aussi bien au niveau du design, que lors de l'évaluation de l'utilisabilité (performance et satisfaction). L'EEG, de par son accessibilité et sa flexibilité, pourrait être l'une des techniques de référence dans cette nouvelle catégorie de recherche.

Discussion

Les produits actuels sont de plus en plus complexes mais doivent cependant rester « faciles à utiliser ». Cette notion développée dans l'ouvrage de Brangier et Barcenilla (2003), renvoie à la notion d'utilisabilité qui est le « degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction dans un contexte d'utilisation » (norme ISO 9241). L'évaluation est donc une étape très importante en conception pour savoir si le produit répond aux besoins et attentes des usagers. Cette évaluation repose notamment sur la mise en œuvre de méthodes qui doivent être conduites sur la population utilisatrice future.

La grande majorité des outils en sciences humaines et sociales et donc en ergonomie porte sur l'observation de comportements et sur le discours des personnes (Blanchet, Ghiglione, Massonnat & Trognon, 1998 ; Leplat, 2000 ; Norimatsu & Pigem, 2008). Les données observationnelles et discursives obtenues sont soumises à la subjectivité des utilisateurs et de l'analyste. La grande limite de l'observation réside dans le fait que tout n'est pas observable, ce qui peut entraîner de mauvaises interprétations de la part de l'analyste. Pour pallier à cela les techniques de verbalisations, d'entretiens et de questionnaires complètent les observations, mais le discours des personnes peut laisser apparaître un certain nombre de biais cognitifs (Neuman, 1991 ; Bernard, 2000).

Les biais cognitifs sont des distorsions que subissent les informations qui entrent ou sortent du système cognitif (Le Ny, 2011). Parmi ces biais qui peuvent altérer les données, nous pouvons citer :

- Le biais de conformisme (Moore, 1921), qui peut apparaître dans les *focus group* lorsqu'un utilisateur n'a pas le même avis que les autres personnes présentes. Il cachera son avis et se conformera à celui de la majorité.
- Le biais de désirabilité sociale (Crowne & Marlowe, 1960), qui peut apparaître lorsque l'utilisateur rencontre des difficultés sur une tâche mais ne le dira pas pour ne pas être jugé.
- L'illusion d'introspection (Nisbett & Wilson, 1977) : les utilisateurs n'ont pas toujours accès à leurs pensées, certaines opérations mentales sont non conscientes et donc inaccessibles.
- Le biais de négativité (Baumeister, Bratslavsky, Finkenauer, & Vohs, 2001) : dans une situation d'interaction, les utilisateurs pourraient privilégier les aspects négatifs par rapport aux aspects positifs car il est plus simple de s'en souvenir.
- Le biais de non-réponse (Groves, Dilman, Eltinge, & Little, 2001), qui apparaît dans les questionnaires *a posteriori* : l'utilisateur peut omettre volontairement ou involontairement certaines réponses à des questions, ou ne pas répondre du tout à une enquête.
- Enfin le biais de verbalisation (Vivier, 2008), qui apparaît lorsque l'utilisateur n'arrive pas à mettre des mots sur son ressenti.

Le tableau 2 ci-dessous donne une estimation globale de la performance des principaux outils méthodologiques de l'ergonomie de conception. Les difficultés d'interprétation des données comportementales et les biais cognitifs que nous venons de citer nous amènent à accorder à

l'observation et à l'analyse des verbalisations des notes intermédiaires sur le critère d'objectivité de la mesure. A l'inverse, les travaux rapportés plus haut en neuroergonomie et neuromarketing suggèrent que l'imagerie cérébrale permet d'observer plus précisément certains processus cognitifs (ex : phénomènes attentionnels et émotionnels chez Hsieh, Seaman & Young, 2010) et de dépasser certains biais cognitifs (ex : biais de conformisme chez Roullet & Droulers, 2010). C'est pourquoi nous accordons dans le tableau 2 une note d'objectivité maximale à l'imagerie cérébrale.



	Observation comportementale	Analyse du discours	Imagerie cérébrale
Niveau d'objectivité	● (gray)	○ (light gray)	● (black)
Adapté à toutes les personnes	○ (light gray)	○ (white)	● (black)
Utilisable tout au long de la conception	○ (light gray)	● (black)	?

Tableau 2 : Appréciation de la performance de trois critères (Niveau d'objectivité, Adapté à toutes les personnes et Utilisable tout au long de la conception) en fonction du type de méthode d'évaluation (Observation comportementale, Analyse du discours et Imagerie cérébrale).

Nous pouvons également ajouter que l'observation et la production langagière ne sont pas forcement adaptées à toutes les populations d'utilisateurs, laissant des résultats parfois difficilement interprétables. L'évaluation de l'utilisabilité de produits ou de logiciels est par exemple difficile en ce qui concerne les jeunes enfants (Hanna, Risden & Alexander, 1997) ou encore les personnes atteintes de pathologies comme la maladie d'Alzheimer (Duchossoy, Buisine, Maranzana & Roosen, 2011). Il est difficile en effet de comprendre le comportement de ces utilisateurs et la discussion est souvent impossible. En revanche, des études ont déjà utilisé l'EEG sur des enfants (Linden, Habib, & Radojevic, 1996 ; Pellouchoud, Smith, McEvoy & Gevins, 1999) et des personnes souffrant de la maladie d'Alzheimer (Klimesch, Schimke, Ladurner, & Pfurtscheller 1990 ; Le Roc'h, Rancurel, Poitrenaud, Bourgin & Sebban, 1993) pour analyser leurs processus cognitifs (attention, mémorisation...). Pour le second critère du tableau 2 (polyvalence de la mesure), nous faisons donc également l'hypothèse que l'imagerie cérébrale pourrait enrichir l'analyse d'usage en conception.

Le troisième critère de performance que nous considérons est la possibilité d'utiliser chaque méthode tout au long du processus de conception : dès l'analyse du besoin en amont de la conception, jusqu'à l'évaluation du produit final. Pour ce critère, les verbalisations obtiennent le score maximal car elles ne requièrent aucun support ni aucune donnée de sortie du processus de conception. L'observation en revanche nécessite d'avoir un produit ou une situation matérialisée à tester : soit un produit existant pour recueillir en amont le besoin, soit

une représentation intermédiaire du futur produit en cours de conception (maquette, prototype, etc.). Or dans les projets d'innovation de rupture, la conception débute sans avoir de produit ou de situation de référence à tester : ce cas nous amène à accorder une note intermédiaire à l'observation pour ce critère. Enfin, pour l'imagerie cérébrale nous ne possédons pas aujourd'hui de connaissances suffisantes pour estimer son intérêt dans les phases amont de la conception : nous pouvons faire l'hypothèse qu'elle sera utile pour l'analyse des maquettes, prototypes et des produits, mais est-ce que la simulation mentale d'usage en amont de la conception pourra apporter des données exploitables aux concepteurs ? Ce type de question fait partie des problématiques que nous souhaitons explorer dans la suite de nos travaux concernant l'utilisation de l'imagerie cérébrale en conception.

Conclusions et perspectives

Nous venons de présenter un état de l'art de l'utilisation des techniques d'imagerie cérébrale par des disciplines comme l'informatique, l'ergonomie ou encore le marketing. Ces disciplines s'inscrivent dans deux catégories de recherche avec des finalités différentes, l'une vise à substituer des fonctions motrices et cognitives (*BCI* et *Augmented Cognition*) et l'autre souhaite apporter de nouvelles connaissances sur l'humain (*Neuroergonomie*, *Neuromarketing* et *Neuroesthétisme*). Cette seconde catégorie de recherche étudie les fonctions cérébrales de l'homme dans son environnement naturel comme les activités de la vie quotidienne (situation de travail, achat de biens de consommation, préférences esthétiques...). Les expérimentations portent soit sur la localisation des structures cérébrales, soit sur le type d'ondes cérébrales activées pour rechercher et valider des hypothèses. Les résultats de ces études, menées dans des contextes nouveaux, participent à l'enrichissement des connaissances sur l'organisation anatomo-fonctionnelle du cortex cérébral.

Les techniques d'imagerie cérébrale pourraient contourner les limites de certaines techniques utilisées actuellement en sciences humaines et sociales, reposant essentiellement sur l'analyse de données comportementales et discursives. Nous pourrions alors obtenir des informations plus objectives sur l'analyse des situations d'usage des produits et évaluer des catégories de population qui, jusqu'à présent, étaient sous-représentées dans ce genre d'étude. Ces nouveaux outils d'évaluation potentiels seraient utilisés en conception de produits par les ergonomes ainsi que l'ensemble de l'équipe de conception pour fiabiliser et enrichir le processus de conception. L'objectif sera de limiter les itérations de modification des produits pour optimiser le triptyque coût/qualité/délai, et évidemment pour combler les utilisateurs en leur apportant des produits plus efficaces, efficents et satisfaisants.

Bibliographie :

- Afonso, A. (2006). *Propriétés analogiques des représentations mentales de l'espace : Etude comparative auprès de personnes voyantes et non-voyantes*. Thèse de doctorat. Université Paris-Sud, Orsay, France.

- Bar, M., & Neta, M. (2007). Visual elements of subjective preference modulate amygdala activation. *Neuropsychologia*, 45, 2191–2200.
- Baumeister, R.F., Bratslavsky, E., Finkenauer, C., & Vohs, K.D. (2001). Bad is stronger than good. *Review of General Psychology*, 5(4), 323-370.
- Bernard, H.R. (2000). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. Sage Publication.
- Blanchet, A., Ghiglione, R., Massonnat, J., & Trognon, A. (1998). *Les techniques d'enquête en sciences sociales*. Paris : Dunod.
- Blood, A.J., & Zatorre, R.J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98, 11818–11823.
- Brangier, E., & Barcenilla, J. (2003). *Concevoir un produit facile à utiliser*. Paris : Éditions d'Organisation.
- Cabon, P., Bourgeois-Bougrine, S., Mollard, R., Coblenz, A., & Speyer, J-J. (2003). Electronic pilot-activity monitor : a countermeasure against fatigue on long-haul flights. *Aviat Space Environ Med*, 74, 679-82.
- Calhoun, V.D, McGinty, V., Pekar, J., Watson, T., & Pearlson, G. (2001). Investigation of marinol (THC) effects upon fMRI activation during active and passive driving using independent component analysis and SPM. *NeuroImage*, 13(6, Supplement), 388.
- Calhoun, V.D., Pekar, J.J., & Pearlson, G.D. (2004). Alcohol intoxication effects on simulated driving : exploring alcohol-dose effects on brain activation using functional MRI. *Neuropsychopharmacology*, 29, 2097–2107.
- Causse, M. (2010). *Influence de la récompense et de l'âge sur la performance de pilotage : une contribution de la neuroergonomie à la sécurité aérienne*. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, France.
- Cela-Conde, C.J., le Marty, G., Maestu, F., Ortiz, T., Munar, E., Fernandez, A., Roca, M., Rossello, J., & Quesney, F. (2004). Activation of the prefrontal cortex in the human visual aesthetic perception. *Proc Nat Acad Sci USA* 101, 6321--6325.
- Crowne, D.P., & Marlowe, D. (1960). A new scale of social desirability independent of psychopathology. *Journal of Consulting Psychology*, 24(4), 349–354.
- Di Dio, C., Macaluso, E., & Rizzolatti, G. (2007). The golden beauty: brain response to classical and renaissance sculptures. *PLoS ONE* 2(11).
- Dixon, K., Hagemann, K., Basilico, J., Forsythe, C., Rothe, S., Schrauf, M., & Kincses, W. (2009). Improved team performance using EEG- and context-based cognitive-state classifications for a vehicle crew. In D. Schmorow I. Estabrooke and M. Grootjen (Eds.), *Foundations of Augmented Cognition. Neuroergonomics and Operational Neuroscience*. (pp. 365-372). Berlin/Heidelberg : Springer.
- Droulers, O., & Roullet, B. (2009). Neuroesthétique automobile : les neurosciences et le design dans l'industrie automobile. In L. Marco (dir.), Management & sciences sociales. Marketing et design : Un bilan prospectif. (pp. 131-156). Paris : L'Harmattan.
- Duchossoy, M., Buisine, S., Maranzana, N., & Roosen, C. (2011). Conception d'un protocole d'évaluation ergonomique d'un produit destiné aux patients atteints de troubles sévères de la maladie d'Alzheimer. *CONFERE' 11*. Montbéliard, France : 30 juin-1^{er} juillet.

- Erk, S., Spitzer, M., Wunderlich, A.P., Galley, L., & Walter, H. (2002). Cultural objects modulate reward circuitry. *Neuroreport* 13, 2499–2503.
- Fiori, N. (2006). *Les neurosciences cognitives*. Paris : Armand Colin.
- Graimann, B., Allison, B., & Pfurtscheller, G. (2010). *Brain-Computer Interface. Revolutionizing Human–Computer Interaction*. Springer : Berlin, Heidelberg.
- Groves, R.M., Dilman, D.A., Eltinge, J. L., & Little, R.J.A. (2002). *Survey nonresponse*. New York : Wiley.
- Hanna, L., Risden, K., & Alexander, K. J. (1997). Guidelines for usability testing with children. *Interactions*, 4 (5), 9-14.
- He, E.J., Yuan, H., Yang, L., Sheikholeslami, C. & He, B. (2008). EEG spatio-spectral mapping during video game play. *Proceedings of ITAB International Conference on Technology and Applications in Biomedicine, Shenzhen, China* (pp. 346-348).
- Houdé, O., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2002). *Cerveau et psychologie : Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle*. Paris : PUF
- Hsieh, L., Seaman, S., & Young, R. (2010). Effect of emotional speech tone on driving from lab to road: fMRI and ERP studies. *Proceedings of the 2nd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, New York, USA*, (pp. 22-28).
- Hubert, M., Hubert, M., Sommer, J., & Kenning, P. (2009). Consumer neuroscience the effect of retail brands on the perception of product packaging. *Marketing Review St. Gallen*, 26, 4, 28-33.
- Hubert, M., & Kenning, P. (2008). A current overview of consumer neuroscience. *Journal of Consumer Behaviour*, 7(4-5), 272-292.
- Jenkins, S., Brown, R., & Rutherford, N. (2009). Comparing Thermographic, EEG, and Subjective Measures of Affective Experience During Simulated Product Interactions. *International Journal of Design*, 3, 2, 53-65.
- Jones, W.J., Childers, T.L., & Jiang, Y. (2011). The shopping brain: Math anxiety modulates brain responses to buying decisions. *Biological Psychology*, 89(1), 201-213.
- Kawabata, H., & Zeki, S. (2004). Neural correlates of beauty. *J. Neurophysiol*, 91, 1699–1705.
- Klimesch, W., Schimke, H., Ladurner, G., and Pfurtscheller, G. (1990). Alpha frequency and memory performance. *Journal of Psychophysiology*, 4(4), 381–390.
- Knutson, B., Rick, S., Wimmer, G.E., Prelec, D., & Loewenstein, G. (2007). Neural predictors of purchases. *Neuron* 53, 147–156.
- Krepki, R., Blankertz, B., Curio, G., & Müller, K.R. (2007). The Berlin Brain-Computer Interface (BCI) - towards a new communication channel for online control in gaming applications. *Journal of Multimedia Tools and Applications*, 33(1), 73-90.
- Laureys, S., Peigneux, P., & Goldman, S. (2002). Brain imaging. In H.A.H. D'haenen, J.A. den Boer & P. Willner. *Biological psychiatry* (pp. 155-166) Chichester : John Wiley & Sons.
- Le Ny, J-F. (2011). Biais. In *Grand dictionnaire de la Psychologie*. Paris : Larousse.

- Le Roc'h, K., Rancurel, G., Poitrenaud, J., Bourgin, P. & Sebban, C. (1993). Fluidité verbale et cohérence EEG dans la maladie d'Alzheimer. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 23(5), 422-433.
- Leplat, J. (2000). *L'analyse psychologique de l'activité en ergonomie. Aperçu sur son évolution, ses modèles et ses méthodes*. Toulouse : OCTARES édition.
- Linden, M., Habib, T., & Radojevic, V. (1996). A Controlled Study of the Effects of EEG Biofeedback on Cognition and Behavior of Children with Attention Deficit Disorder and Learning Disabilities. *Biofeedback and Self-Regulation*, 21(1), 35-49.
- McClure, S.M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K.S., Montague, L.M., & Montague, P.R. (2004). Neural correlates of behavioral preference for culturally familiar drinks. *Neuron* 44, 379–387.
- Moore, H.T. (1921). The comparative influence of majority and expert opinion. *American Journal of Psychology*, 32, 16-20.
- Motte, D. (2009). Using brain imaging to measure emotional response to product appearance. *DPPI09*. France, Compiègne : October 13-16.
- Nacke, L.E. (2010). Wiimote vs. controller: electroencephalographic measurement of affective gameplay interaction. *Proceedings of the International Academic Conference on the Future of Game Design and Technology*, New York, USA, (pp.159-166).
- Nacke, L.E., Stellmach, S., & Lindley, C.A. (2011). Electroencephalographic Assessment of Player Experience: A Pilot Study in Affective Ludology. *Simulation Gaming*, 42 (5), 632-655.
- Neuman, W. L. (1991). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. Boston : Allyn and Bacon.
- Nisbett, R.E., & Wilson, T.D. (1977). Telling more than we can know : Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84(3), 231–259.
- Norimatsu, H., & Pigem, N. (2008). *Les techniques d'observations en sciences humaines*. Paris : Armand Colin.
- Parasuraman, R., & Rizzo, M. (2007). *Neuroergonomics : The Brain at Work*. NY : Oxford University Press.
- Paulus, M.P., & Frank, L.R. (2003). Ventromedial prefrontal cortex activation is critical for preference judgments. *Neuroreport*, 14, 1311-1315.
- Pellouchoud, E., Smith, M.E., McEvoy, L., & Gevins, A. (1999). Mental effort-related EEG modulation during video-game play : Comparison between juvenile subjects with epilepsy and normal control subjects. *Epilepsia*, 40, 38-43.
- Plassmann, H., O'Doherty, J., Shiv, B., & Rangel, A. (2008). Marketing actions can modulate neural representations of experienced pleasantness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105 (3), 1050-1054.
- Rossiter, J.R., Silberstein, R.B., Harris, P.G. & Nield, G.A. (2001). Brain-imaging detection of visual scene encoding in long-term memory for TV commercials. *J. Advert. Res.*, 41, 13-21.
- Roulet, B., & Droulers, O. (2010). *Neuromarketing. Le marketing revisité par les neurosciences du consommateur*. Paris : Dunod.

- Salminen, M., & Ravaja, N. (2008). Increased oscillatory theta activation evoked by violentdigital game events. *Neuroscience Letters*, 435, 69-72.
- Schier, M.A. (2000). Changes in EEG alpha power during simulated driving: a demonstration. *International Journal of Psychophysiology*, 37, 155-162.
- Skov, M., & Vartanian, O. (2009). *Neuroaesthetics*. Amityville, NY : Baywood Publishing.
- Smith, M.E., Gevins, A., Brown, H., Karnik, A., & Du, R. (2001). Monitoring task loadingwith multivariate EEG measures during complex forms of human–computer interaction. *Human Factors* 43 (3), 366–380.
- Stoll, M., Baecke, S., & Kenning, P. (2008). What they see is what they get ? An fMRI-study on neural correlates of attractive packaging. *Journal of Consumer Behaviour*, 7(4-5), 342-359.
- Sullivan, J.J. (2003). Fighting Fatigue. Public Roads, 67 (3). Tiré de <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/03sep/04.cfm>
- Tanaka, K., Matsunaga, K., Wang, H.O. (2005). Electroencephalogram-based Direction Control of an Electric Wheelchair. *IEEE transactions on robotics*, 21 (4), 762 – 766.
- Tomico, O., Mizutani, N., Levy, P., Takahiro, Y., Cho, Y., & Yamanaka, T. (2008). Kansei physiological measurements and constructivist psychological explorations for approaching user subjective experience during and after product usage. *International Design Conference*. Croatia, Dubrovenik : May 19-22.
- Treleaven-Hassard, S., Gold, J., Bellman, S., Schweda, A., Ciorciari, J., Critchley, C., & Varan, D. (2010). Using the P3a to gauge automatic attention to interactive television advertising. *Journal of Economic Psychology*, 31(5), 777-784.
- Tupper, D.E., & Cicerone, K.D. (1991). *The Neuropsychology of everyday life: issues in development and rehabilitation*. Kluwer Academic Publishers.
- Vartanian, O., & Goel, V. (2004). Neuroanatomical correlates of aesthetic preference for paintings. *NeuroReport* 15, 893-897.
- Vecchiato, G., Astolfi, L., De Vico Fallani, F., Cincotti, F., Mattia, D., Salinari, S., (...) Babiloni, F. (2010). Changes in brain activity during the observation of TV commercials by using EEG, GSR and HR measurements. *Brain Topography*, 23(2), 165-179.
- Vivier, J. (2008). La traduction des émotions. Approche psycholinguistique. In D. Mellier, P. Le Maléfan & J. Vivier (Dir.), *Le langage émotionnel, le comprendre et le parler*. (pp 99-118). Publications de l'Université de Rouen et du Havre.
- Wolpaw, J.R., & Wolpaw, E.W. (2012). *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice*. NY : Oxford University Press.
- Zurawicki, L. (2010). *Neuromarketing. Exploring the Brain of the Consumer*. Berlin Heidelberg : Springer.