



HAL
open science

Intégration des facteurs humains dans l'expérimentation des interfaces cerveau machine

Stéphanie Leclercq, Marie-Hélène Bekaert, Claudine Lecocq

► **To cite this version:**

Stéphanie Leclercq, Marie-Hélène Bekaert, Claudine Lecocq. Intégration des facteurs humains dans l'expérimentation des interfaces cerveau machine. HANDICAP'2010, Jun 2010, Paris, France. pp. 215-220. hal-00804887

HAL Id: hal-00804887

<https://hal.science/hal-00804887>

Submitted on 26 Mar 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Intégration des facteurs humains dans l'expérimentation des interfaces cerveau machine

Stéphanie Leclercq⁽¹⁾, Marie-Hélène Bekaert⁽²⁾ et Claudine Botte-Lecocq⁽²⁾

(1) Service d'ergothérapie, Hôpital Swynghedauw, 59037 LILLE Cedex

(2) LAGIS □ Université des Sciences et Technologies □ LILLE1 □ 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex
plateformeNT@chru-lille.fr, marie-helene.bekaert@univ-lille1.fr, claudine.lecocq@polytech-lille.fr

Résumé : La recherche sur les interfaces cerveau machine (Brain Machines Interfaces : BMIs), en plein essor, reste encore aujourd'hui au niveau expérimental et ne permet pas une utilisation efficace des applications BMIs dans la vie quotidienne des personnes handicapées. Pour que le transfert des BMIs, des laboratoires de recherche vers les services cliniques et à plus long terme chez le patient, puisse se faire dans les meilleures conditions, il est non seulement indispensable d'intégrer les facteurs humains lors des expérimentations mais aussi, beaucoup plus en amont, dès la phase d'aménagement des locaux. Notre article présente une étude des différents critères à prendre en compte lors de la création d'une salle d'expérimentation BMI et lors de la définition des protocoles expérimentaux. Le travail présenté met en évidence la complexité et la nécessité d'une approche globale et pluridisciplinaire afin de placer les facteurs humains au centre de la réflexion.

Mots clés : ergonomie des systèmes d'assistance, BMI, salle d'expérimentation, aménagement

I. INTRODUCTION

Les interfaces cerveau-machine permettent à des personnes très lourdement handicapées d'acquiescer de l'autonomie dans leur vie quotidienne. Les recherches applicatives actuelles [1] s'intéressent à la possibilité de communiquer [2], de commander un fauteuil roulant ou d'interagir sur l'environnement [3]. Elles envisagent également de pouvoir pallier à certains déficits moteurs grâce au contrôle d'une neuroprothèse [4] ou en apportant de nouvelles solutions thérapeutiques [5][6].

Actuellement, peu d'études cliniques avec des patients présentant notamment des troubles neurologiques ont été publiées, et rares sont celles réalisées en situation de vie courante. Les quelques études cliniques menées sur l'efficacité des BMIs chez les personnes ayant une incapacité motrice, en comparaison à l'homme sain,

montrent même des résultats contradictoires [7][8]. Elles mettent ainsi en évidence le besoin de multiplier les expérimentations avec des personnes handicapées pour mieux comprendre leurs difficultés réelles et adapter les systèmes en conséquence.

Pourtant, force est de constater que les BMIs sont souvent présentées, dans la littérature, exclusivement sur le versant technique. Peu d'articles font référence aux caractéristiques spécifiques des personnes en situation de handicap auxquelles s'adressent ces interfaces. Ainsi, la question du cadre et de l'environnement de l'expérimentation est-elle rarement abordée. Aucun article ne parle en détail d'éventuelles perturbations lors des expérimentations. Lorsque les performances aux tests sont insuffisantes, que le ratio signal-bruit est trop élevé ou que le sujet est rapidement fatigable ou déconcentré, peu évoquent les conditions expérimentales, que ce soit en termes de perturbations internes aux sujets, de matériel utilisé ou d'environnement.

L'équipe BMI du Laboratoire d'Automatique Génie Informatique et Signal (LAGIS) axe ses recherches sur le développement d'interfaces Cerveau Machine pour la palliation du handicap. Afin d'aménager une salle d'expérimentation BMI dans ses locaux, l'équipe a collaboré avec une ergothérapeute spécialisée dans les nouvelles technologies. Cet article présente l'étude des différents critères à prendre en compte lors de la création d'une telle salle et lors de la définition des protocoles expérimentaux. Les paragraphes II à IV portent respectivement sur les conditions d'accès à la salle d'expérimentation, sur l'ergonomie des lieux et des outils proposés, sur l'aménagement d'une salle dédiée aux BMIs et enfin sur la définition de protocoles expérimentaux, tout en tenant compte des problèmes éthiques et humains.

Nous concluons enfin sur la nécessité de prendre en compte les aspects humains et ergonomiques durant tout le processus de conception des interfaces BMIs afin qu'elles deviennent de réelles aides techniques palliatives au handicap.

II. CONDITIONS D'ACCES A LA SALLE D'EXPERIMENTATION

Dans la littérature, l'utilisation de BMIs dans des lieux de vie réelle est parfois évoquée [9] et très rarement expérimentée (Wadsworth Center, NY, USA). Dans la plupart des cas, les expérimentations d'interfaces BMIs avec des personnes handicapées se font en milieu hospitalier, soit dans une salle dédiée aux EEG et/ou uniquement aux BMIs, soit dans la chambre du patient. Il arrive cependant qu'elles soient réalisées en dehors de l'hôpital, au sein de laboratoires de recherche scientifique non médicalisés. Il est indispensable dans ce cas de créer un environnement accessible à tous les sujets potentiels, qu'ils soient sains ou handicapés.

L'application des réglementations en matière d'accessibilité (loi handicap 2005) requiert leur confrontation avec les usages afin d'avoir une réelle adaptation. Les BMIs, lorsqu'elles servent à la communication palliative, s'adressent à des personnes lourdement handicapées. Lorsqu'elles servent d'outils d'aide à la rééducation fonctionnelle ou cognitive, elles s'adressent aussi à des personnes pouvant présenter des handicaps moteurs, cognitifs ou sensoriels limités. L'accessibilisation d'un site doit donc partir d'une réflexion globale, incluant les différents types de handicaps et les différents profils d'utilisateurs pouvant être accueillis. Nous présentons ici les principaux critères à prendre en compte lors d'une étude d'accessibilité.

- Les troubles de la mobilité vont influencer sur les définitions des voies de dégagements et de franchissements. En effet, pour chaque type d'aide de déambulation (correction ou aide à la marche, fauteuil roulant, scooter, déambulateur à panier, poussette, etc), il existe des mesures minimales à respecter. De plus, des possibilités de repos, des rampes et des places adaptées doivent être prévues afin de faciliter l'accès au site. Les informations de fléchage ou autres doivent être immédiates et efficaces, d'autant plus que les troubles physiques peuvent être accompagnés de troubles de la communication.

- Les troubles de la préhension nécessitent de prendre en compte les zones de préhension de la personne ainsi que de connaître la hauteur de ses yeux (digicode, poignées de porte, ...).

- Les personnes de petite taille, ou autres personnes ayant une morphologie atypique, ont besoin d'avoir des repères dans leur propre champ visuel, mais également d'avoir certains éléments à attraper à leur portée (interphone, interrupteur, signalisation ...).

- Les troubles d'audition ou de vision peuvent nécessiter la mise en place de marquages visuels, tactiles ou kinesthésiques aux endroits naturellement balayés par

les sens. Il est parfois impératif de doubler les canaux d'information visuelle de dispositifs sonores. Des mains courantes et un encombrement limité des espaces peuvent aussi assurer la sécurité des déplacements.

- Les difficultés intellectuelles de compréhension, d'adaptation, de contrôle de l'affectivité, de repérage dans l'espace et le temps, peuvent nécessiter la mise en place d'informations visuelles ou sonores simplifiées, une association texte/image, l'utilisation d'images réalistes ou de photos pour repérer simplement les différents espaces-fonctions.

Cette liste non exhaustive des critères à prendre en compte souligne la complexité du problème et les difficultés inhérentes à l'aménagement d'une salle d'expérimentation BMI hors des sites médicalisés, même si ces sites sont souvent déjà destinés à l'accueil du public et donc progressivement mis aux normes conformément à la loi.

Un autre point essentiel à évoquer ici est le contexte juridique des expérimentations BMIs. S'agissant de manipulations sur l'homme, au moyen d'un matériel considéré comme biomédical, il est important de faire préciser le cadre des tests effectués par un service juridique compétent. Les limites des expérimentations BMIs n'étant pas clairement identifiées dans les textes, certains laboratoires de recherche réalisent leurs expérimentations sans accréditation particulière. D'autres ont reçu un avis favorable du Comité de Protection des Personnes (CPP) dans le cadre de la loi Huriet-Sérusclat. Dans ce cadre, il est nécessaire que les locaux soient agréés par la DRASS car il est impératif de vérifier si les installations sont adaptées à la recherche et compatibles avec la sécurité des personnes. De nombreuses conditions doivent être vérifiées : le bâtiment doit être aux normes, une armoire de sécurité avec dispositifs de secours (oxygène, défibrillateur, etc.) doit être présente, une procédure d'urgence bien définie doit être établie.

III. ERGONOMIE DES LIEUX ET DES OUTILS

D'après l'International Ergonomics Association, l'ergonomie est « la discipline scientifique qui s'occupe de la compréhension des interactions entre les hommes et les autres éléments d'un système. Elle applique les théories, les principes, les données et les méthodes pour concevoir dans le but d'optimiser le bien-être des personnes et la performance du système dans son ensemble ».

A. Ergonomie des lieux

Prendre en compte l'ergonomie dans l'aménagement d'une salle d'expérimentation BMI revient donc à considérer les différents acteurs dans une situation de

travail. Or, toute situation de travail se caractérise par différents éléments que sont [10] :

- le repos qui permet une dépense d'énergie minimale,
- le travail, en prenant en compte les effets de la fatigue, la durée, la précision et les répétitions,
- les gestes, simples ou complexes, déterminés par leur efficacité,
- les postures comprenant les attitudes et les positions,
- la charge mentale s'évaluant en termes de contraintes ou d'astreintes intellectuelles et émotives et de fatigue due à l'activité intellectuelle,
- l'ambiance de travail : thermique, acoustique et lumineuse qui peut être à l'origine d'une fatigue précoce.

Ainsi, pour implanter correctement des bureaux mais également l'ensemble du matériel BMI, il est important de se préoccuper notamment de la luminosité des espaces de travail, de l'orientation des bureaux, des déplacements nécessaires des différentes personnes participantes ainsi que leur communication. Il est également important de se focaliser sur le réseau électrique du lieu, de prévoir la mobilité du matériel et de bien repérer les murs vides susceptibles d'accueillir des rangements. Afin de travailler de manière efficace, il ne suffit pas de positionner correctement les éléments dans un environnement favorable. Il est également indispensable que chaque espace de travail s'organise de lui-même, de manière fonctionnelle et ergonomique.

B. Ergonomie des outils

L'ergonomie d'une interface homme-machine consiste en l'adaptation de la technique à l'individu et non l'inverse. Il est donc inconcevable, par exemple, de développer les futurs systèmes BMIs dans un environnement « calme et tamisé », puis d'imposer aux utilisateurs de recréer ces conditions chez eux. Pour une utilisation du produit fini, peu de contraintes doivent s'imposer à la personne, ou même à son environnement humain et matériel.

Par ailleurs, l'ergonomie du système peut affecter l'acceptation de l'utilisateur : facilité d'utilisation, cosmétique, utilité... Un système est accepté s'il répond aux besoins, mais aussi aux critères personnels de mode, de design, d'esthétisme... Chaque aide technique demande une acceptation psychologique de la part de la personne handicapée [11]. Le produit final doit alors être pensé, comme toute interface homme-machine, selon les critères de Bastien et Scapin qui sont des critères ergonomiques essentiels établis d'après les documents de référence en recherche académique : le guidage, la charge de travail, le contrôle explicite, l'adaptabilité, la gestion des erreurs, l'homogénéité et la cohérence, la signification des codes et dénominations, la compatibilité. Les systèmes BMIs doivent encore évoluer sur ces différents aspects.

S'agissant d'un domaine pluridisciplinaire, aucun travail sur les BMIs ne peut occulter cette discipline.

IV. AMENAGEMENT DE LA SALLE D'EXPERIMENTATION

Le but général de l'aménagement d'une salle dédiée aux BMIs est d'assurer une prise de mesures correcte tout en assurant le confort, la concentration et le bien-être des sujets, mais aussi de permettre l'adaptabilité des conditions expérimentales. Ainsi, il est non seulement important de prendre en considération les recommandations classiques déjà existantes sur les salles d'expérimentation biomédicales de type EEG, mais il est également nécessaire d'assurer le transfert efficace de l'aide technique de la salle d'expérimentation vers le lieu de vie du patient.

A. Prise en compte des personnes participantes

En règle générale, les expérimentateurs d'une salle BMI sont un ou plusieurs chercheurs, dans le domaine des BMIs, valides ou eux-mêmes en situation de handicap moteur. Les sujets d'expérimentation peuvent être des sujets sains, légèrement handicapés ou sévèrement handicapés : LIS, SLA, myopathie, tétraplégie...

Quoiqu'il en soit, il existe des normes et caractéristiques générales concernant les individus qui permettent d'adapter au mieux l'environnement, aussi bien en termes de conception de postes de travail, qu'en termes de champs de vision des utilisateurs, d'ergonomie visuelle et d'ambiances de travail (température, humidité, niveau sonore ambiant).

B. Aménagement de la salle BMI en 2 espaces distincts

En accord avec la littérature, il nous paraît judicieux de privilégier une organisation de la salle en deux espaces distincts bien identifiés et adaptés aux besoins des différents acteurs, à savoir : un espace d'observation destiné aux expérimentateurs visant à l'analyse et au traitement des données et un espace d'expérimentation destiné au sujet.

- Côté expérimentation (ou sujet), il est nécessaire de prévoir un espace de travail pour le sujet, qui va se positionner sur la zone expérimentale puis réaliser les tâches requises pour le recueil des signaux et la communication palliative, ainsi qu'un espace de déambulation adapté aux handicapés. L'expérimentateur n'utilisera cet espace que pour la mise en place de l'expérimentation et pour la communication avec le sujet.

- Côté expérimentateur, il paraît nécessaire de retrouver un espace de travail de bureau pour l'expérimentateur, un

espace plus petit pour le sujet, un espace d'attente pour un accompagnant éventuel et un espace de déambulation.

C. Agencement des 2 espaces

L'agencement des espaces doit être optimisé, sécurisé, adapté aux besoins de chacun, et reproductible à l'identique d'une séance à l'autre. Le choix des différents éléments doit être effectué dans un souci d'ergonomie, de confort et d'efficacité. Leur organisation, qui dépend de leur mode d'utilisation, de leur encombrement et de leur fréquence d'utilisation, doit permettre de diminuer les contraintes gestuelles tout en favorisant un gain de temps.

D'autre part, l'agencement des espaces doit être conçu en veillant à respecter l'intimité du sujet durant les expérimentations. Enfin, lors de l'agencement des espaces, il est important de veiller à ce que l'observation et le contrôle du sujet soient efficaces, synchronisés aux enregistrements et qu'ils ne perturbent pas le déroulement des expérimentations. De plus, les feedback doivent être fiables, perceptibles et adaptés.

D. Circulation et communication des participants

Étudier la circulation des personnes au sein des différents espaces permet de mettre en évidence les lieux de passage fréquents et les « zones critiques » qui devront accueillir plusieurs personnes en même temps. Les largeurs de passage doivent être suffisantes pour les personnes handicapées et des aires de giration doivent être prévues dans chaque salle ou chaque zone utilisée.

L'aménagement de la salle BMI doit être étudié dans le but d'assurer les communications entre les personnes sans perturber le déroulement des manipulations. Dans le cas d'un sujet handicapé, la communication directe pourra être verbale, écrite ou nécessiter un clavier et une synthèse vocale. La communication indirecte, utilisée durant les enregistrements, va nécessiter l'utilisation de microphones, de haut-parleurs dans chaque espace, d'un système de vidéosurveillance pour s'assurer de l'immobilité du sujet mais aussi de son bien-être et de sa sécurité, d'un écran de contrôle dédié au visionnage de la vidéo, et d'un signal visuel ou sonore permettant au sujet d'alerter l'expérimentateur en cas de problème.

E. Ambiance de chacun des espaces agencés

L'ambiance thermique, déterminée par la température, l'humidité et la vitesse de l'air, doit être relativement stable tout en restant adaptable aux préférences du sujet ainsi qu'à la nature de l'expérimentation. L'ambiance thermique peut être contrôlée par l'intermédiaire d'un double vitrage, d'une ventilation, d'une climatisation ou d'un dispositif de chauffage thermostatique.

L'ambiance lumineuse doit répondre aux normes relatives aux espaces de travail. L'éclairage lumineux naturel, favorisant la bonne humeur et limitant la fatigue visuelle, doit pouvoir être contrôlé par des stores ou autres dispositifs mobiles. Les couleurs, qui ont une dimension psychologique, doivent être sobres, apaisantes et utiliser une palette de couleur réduite afin d'éviter la fatigue visuelle provoquée par des contrastes importants, à l'exception bien sûr de certains éléments de sécurité.

L'ambiance sonore doit aussi être maîtrisée afin de contrôler l'ensemble des perturbations internes. Côté sujet, il est primordial d'éviter l'apparition d'artéfacts, qui peuvent être dus à l'apparition de potentiels évoqués auditifs ainsi qu'à la focalisation de l'attention sur le bruit. L'utilisation de matériaux absorbants sur les plafonds, les murs et le sol ainsi qu'une répartition du mobilier sur l'ensemble des espaces permettent de limiter les différentes sources de bruit et leur réverbération.

L'environnement électromagnétique doit également être contrôlé afin d'assurer une prise de mesure correcte des signaux EEGs. Ainsi, il est recommandé d'éviter les perturbations du réseau local en faisant fonctionner la BMI sur batterie, d'éteindre les téléphones portables et d'éviter l'allumage et la fermeture des tubes fluorescents pendant toute la durée de l'expérimentation.

F. Prise en compte du bien être des personnes

Pour favoriser le bien être des personnes, il faut être attentif aux facteurs de stress empêchant les différents acteurs d'être sereins dans la salle d'expérimentation. Ainsi, il est important de tout mettre en œuvre pour favoriser le processus d'adaptation au handicap et l'acceptation de l'aide technologique palliative, la motivation, la concentration et la relaxation du sujet, qui sont des conditions essentielles au bon déroulement des expérimentations.

L'expérimentateur peut jouer un rôle important dans le bien être du sujet. En effet, s'il maîtrise l'espace et le système BMI, il va réaliser l'expérimentation sans charge mentale excessive. Il pourra alors se concentrer sur la dimension humaine de l'expérimentation (discuter, rassurer, avoir un comportement bienveillant, mesurer ses propos...) tout en restant vigilant aux erreurs ou autres variables qui pourront apparaître. Devant un tel contrôle de la situation, le sujet aura un meilleur sentiment de sécurité. C'est pourquoi, dès les premiers moments de la rencontre, il est important que l'expérimentateur cherche à comprendre le profil du sujet afin d'établir rapidement une confiance réciproque par la prise en compte des besoins de réassurance du sujet. .

V. DEFINITION DES PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

Pour chaque expérimentation, un protocole doit être défini par l'expérimentateur en fonction de l'étude à réaliser et des résultats escomptés. Sa mise en place est nécessaire à la reproductibilité des expérimentations et à la comparaison des résultats obtenus. Ainsi, l'ensemble du protocole doit être écrit, validé et respecté par l'ensemble des acteurs de l'étude.

Nous n'allons pas aborder, ici, l'aspect technique du protocole : celui-ci ne peut être défini que par l'expérimentateur. Cependant, quelques recommandations peuvent être faites pour que les futurs protocoles répondent aux besoins d'efficacité, de reproductibilité, de confort et de bien-être. Pour cela, il est nécessaire de prendre en compte les variations possibles de l'environnement mais également les caractéristiques de chaque individu.

A. Préparation de l'expérimentation

Dès lors qu'un sujet en situation de handicap est sollicité, la préparation de l'expérimentation est une phase primordiale. Préparer l'expérimentation avec le sujet a pour but de réduire la durée de l'expérience, une durée excessive pouvant être source d'inconfort. Cette phase préalable peut avoir plusieurs objectifs :

- présenter l'expérimentation et préciser son contexte,
- préciser les critères d'exclusion éventuels des sujets (utilisation d'un questionnaire médical),
- transmettre toutes les consignes préalables à l'expérimentation.

Quelque soit l'objectif visé, les informations transmises doivent être adaptées aux capacités de compréhension du sujet.

B. Dispositions protectrices

Le jour de l'expérimentation, il est utile que l'expérimentateur possède une liste des informations à transmettre au sujet avant même la préparation de celui-ci. Cela permet d'éviter les oublis et donne l'assurance que le sujet a bien reçu toutes les informations prévues. Il incombe ici à l'expérimentateur de vérifier que le sujet a bien compris l'ensemble des informations et des consignes. Il doit également informer le sujet de son droit de cesser l'expérimentation à tout moment. Au final, un document de consentement doit alors être signé.

C. Gestion du temps

Afin d'aboutir à une organisation temporelle cohérente, aussi bien pour le sujet que pour l'expérimentateur, il convient de confronter la durée de chaque phase à son importance réelle lors de la manipulation. Une

expérimentation peut être décomposée en six phases successives :

- la phase d'accueil, relativement courte, qui peut être vue comme un moment de courtoisie. Cette phase permet de présenter la salle et le matériel au sujet, et de s'assurer que ce dernier est à l'aise.

- la phase de présentation, très importante pour les deux protagonistes. Cette phase permet de s'assurer de la faisabilité de l'expérimentation. Il convient d'y consacrer un temps relativement extensible en fonction du stress et des capacités de compréhension du sujet. La suite n'est envisageable que si le sujet accepte les conditions de l'expérimentation, s'il est disponible et détendu.

- la phase de préparation, nécessaire à l'expérimentateur et lui demandant quelques précautions. Le sujet n'est pas directement concerné par cette phase.

- la phase d'enregistrement, l'essence même de l'expérimentation, éventuellement précédée d'un entraînement préalable. Cette phase est celle qui requiert le plus de relaxation et de concentration. C'est également la plus encadrée et la plus contraignante. Elle est très sollicitante pour l'expérimentateur comme pour le sujet.

- la phase de démontage du dispositif : cette étape est nécessaire même si elle n'a aucune influence sur l'efficacité de l'expérimentation.

- la phase de bilan : il s'agit d'un moment important pour le sujet qui a généralement besoin d'avoir un retour sur l'expérience qui vient de se dérouler. L'expérimentateur se sert de cette étape pour connaître les difficultés ressenties et les aspects à améliorer. Le bilan est un temps de communication indispensable.

- la phase de conclusion, qui permet de mettre un terme à la séance. Elle dure peu de temps. Il s'agit plutôt d'une période de politesse et d'expression de reconnaissance pour la participation du sujet. La conclusion se doit d'être positive, tout problème doit donc être résolu avant d'entamer cette phase.

D. Gestion du matériel et de l'environnement

Le protocole constitue la base de l'organisation de l'expérimentation. Pour que cette dernière soit efficace et optimisée, il est nécessaire de définir, au préalable, les conditions environnementales recherchées, les éléments matériels nécessaires pour chacune des étapes du protocole, les lieux ainsi que les espaces de déambulation et d'activité. La surveillance du sujet comme celle de l'environnement (capteurs, caméras, ...) doivent être constantes durant toute l'expérimentation.

E. Gestion humaine et compétences

En termes de gestion humaine, il existe une multitude de précautions à prendre, de notions à aborder. Le respect

de la personne en est une. Il implique de la considération et de l'égard envers le sujet. Le respect des différences et des particularités de chacun étant au centre de toute relation humaine saine, la prise en compte des besoins et des difficultés du sujet est primordiale. C'est pour cette raison qu'il faut réfléchir à l'adaptabilité de la séance et au respect des habitudes de vie.

Pour mieux respecter la personne, il est nécessaire d'éviter toute idée reçue. Concernant les personnes handicapées, il en existe de nombreuses. Qu'elles soient à tendance positive ou négative, une idée reçue est généralement à l'origine d'une discrimination. Pourtant les personnes handicapées sont des personnes aussi différentes et ordinaires que les autres personnes. Il convient donc pour l'expérimentateur d'être et de rester naturel.

Lors des expérimentations, l'expérimentateur va devoir utiliser de nombreuses compétences dont la plupart vont s'acquérir grâce à l'expérience. Cependant quelques compétences nécessitent des collaborations avec d'autres professionnels tels les ergonomes, les ergothérapeutes ou les médecins.

VI. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté une étude des différents aspects à prendre en considération lors de la création d'une salle d'expérimentation ergonomique permettant d'optimiser le bien être des personnes et les performances du système dans son ensemble. La prise en compte du handicap éventuel des différents acteurs influe sur les conditions d'accessibilité à la salle mais aussi sur l'aménagement de celle-ci. De plus, s'agissant d'expérimentations sur l'homme, une attention toute particulière doit être apportée à la définition des protocoles expérimentaux. Cette étude a mis en évidence la nécessité de placer les facteurs humains au centre de la réflexion qui doit être menée d'une manière globale.

Dans la littérature, de nombreux auteurs expriment le besoin fondamental de prendre en compte l'évolution des systèmes BMIs en termes d'adaptabilité, d'autonomie, de méthodes d'entraînement, de traitement et de contrôle des artéfacts, notamment liés à l'environnement, de fonctionnalité, et d'esthétisme. L'objectif visé est donc d'adapter les systèmes BMIs aux besoins réels de l'utilisateur dès leur conception. Pour cela, il est nécessaire de faire tester les différentes aides techniques développées aux personnes directement concernées afin d'identifier les applications véritablement utilisables, et les faire évoluer pour obtenir un produit fini en accord avec les besoins de la population concernée. Cela signifie plus d'expérimentations avec des personnes handicapées, mais également plus d'évaluations, de recueils du

ressenti, de critiques. Les applications futures doivent donc être pensées et évaluées dans l'idée de créer des dispositifs fonctionnels et accessibles, même s'il est difficile de produire un système adapté à tous.

VII. BIBLIOGRAPHIE

- [1] M-H. Bekaert, C. Botte-Lecocq, F. Cabestaing, A. Rakotomamonjy, "Les interfaces Cerveau-Machine pour la palliation du handicap moteur sévère", *STH Sciences et Technologies pour le Handicap*, sous presse 2010.
- [2] J. Wolpaw, N. Birbaumer, D. McFarlanda, G. Pfurtscheller, T. Vaughan, "Brain-computer interfaces for communication and control", *Clinical Neurophysiology*, 113(6), 2002.
- [3] F. Galán, M. Nuttin, E. Lew, P.W. Ferrez, G. Vanacker, J. Philips, J.del R. Millán, "A Brain-Actuated Wheelchair: asynchronous and non-invasive Brain-Computer Interfaces for continuous control of robots", *Clinical Neurophysiology*, 119:2159_2169, 2008.
- [4] G. Müller-Putz, R. Scherer, G. Pfurtscheller, R. Rupp, "EEG-based neuroprosthesis control: A step towards clinical practice ", *Neuroscience letters*, 382(2), 2005.
- [5] B.H. Dobkin, "Brain-computer interface technology as a tool to augment plasticity and outcomes for neurological rehabilitation", *Journal of physiology*, 579(3): 637_642, 2005.
- [6] B.H. Dobkin, "Brain-computer interface technology as a tool to augment plasticity and outcomes for neurological rehabilitation", *Journal of physiology*, 579(3): 637_642, 2005.
- [7] A. Van Langenhove, M-H. Bekaert, F. Cabestaing, J-P. N'Guyen, "Interfaces cerveau-ordinateur et rééducation fonctionnelle: étude de cas chez un patient hémiparésique", *STH Sciences et Technologies pour le Handicap*, 2(1): 41_54, 2008.
- [8] J. Wolpaw, D. McFarland, "Control of a two-dimensional movement signal by a noninvasive brain-computer interface in humans", *Proceedings of the National Academy of Science*, 101(51), 2004.
- [9] M. Moore, "Real-World Applications for Brain-Computer Interface Technology", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 11(2), 2003.
- [10] G. Peninou, H. Monod, B. Kapitaniak, "Prévention et ergonomie", *Dossier de kinésithérapie N°13*, éd. Masson, 1994
- [11] R. Khomiakoff, G. Czternatsy, L. Vandromme, "L'acceptation des aides techniques robotisées par la personne en situation de handicap moteur : une approche psychologique", *Journal de la réadaptation médicale*, 2009.