

Démarche de co-conception d'une méthode d'observation et d'évaluation multidimensionnelle de l'accessibilité au numérique

Nadine Vigouroux, Eric Campo, Nicole Lompré, Frédéric Vella, Loïc Caroux, Philippe Gorce, Istrate Dan, Julien Jacquier-Bret, Antonio Serpa, Adrien van den Bossche

▶ **To cite this version:**

Nadine Vigouroux, Eric Campo, Nicole Lompré, Frédéric Vella, Loïc Caroux, et al.. Démarche de co-conception d'une méthode d'observation et d'évaluation multidimensionnelle de l'accessibilité au numérique. Tic&société, 2018, 12 (2), pp.151-183. 10.4000/ticetsociete.2797 . hal-02004796

HAL Id: hal-02004796
https://hal.science/hal-02004796

Submitted on 19 Jun 2020

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.



Open Archive Toulouse Archive Ouverte

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: https://oatao.univ-toulouse.fr/26160

Official URL :
https://doi.org/10.4000/ticetsociete.2797

To cite this version:

Vigouroux, Nadine and Campo, Eric and Lompré, Nicole and Vella, Frédéric and Caroux, Loïc and Gorce, Philippe and Istrate, Dan and Jacquier-Bret, Julien and Serpa, Antonio and Van den Bossche, Adrien *Démarche de co-conception d'une méthode d'observation et d'évaluation multidimensionnelle de l'accessibilité au numérique.* (2018) Revue TIC&Société, 12 (2). 151-183. ISSN 1961-9510

Any correspondence concerning this service should be sent
to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Démarche de co-conception d'une méthode d'observation et d'évaluation multidimensionnelle de l'accessibilité au numérique

Nadine VIGOUROUX

Nadine Vigouroux est chercheur au Centre national de recherche scientifique (CNRS) à l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT), UMR 5505 du CNRS et de l'Université de Paul Sabatier. Docteur en informatique et spécialisée en interaction homme-machine, ses travaux portent principalement sur les méthodes de conception centrée utilisateur pour la conception et l'étude des usages de systèmes de suppléance pour les personnes en situation de handicap. nadine.vigouroux@irit.fr

Éric CAMPO

Éric Campo est professeur à l'Institut universitaire de technologie (IUT) de Blagnac de l'Université de Toulouse Jean Jaurès. Docteur en électronique, il mène des recherches au Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS) du CNRS sur la conception et le développement de systèmes multicapteurs communicants, embarqués sur l'homme ou dans son environnement. Son domaine applicatif privilégié est celui de la surveillance et du maintien à domicile des personnes âgées. eric.campo@univ-tlse2.fr

Nicole LOMPRÉ

Nicole Lompré est ingénieur de recherche au Centre national de recherche scientifique (CNRS) au laboratoire PASSAGES, UMR5319 du CNRS et de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour. Docteur en psychologie ergonomique et spécialisée sur l'ergonomie des logiciels, ses travaux portent principalement sur

l'observation des usages des nouvelles technologies et la conception des interfaces accessibles. nicole.lompre@univ-pau.fr

Frédéric VELLA

Frédéric Vella est chercheur au Centre national de recherche scientifique (CNRS) à l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT), UMR5505 du CNRS et de l'Université Paul Sabatier. Docteur en interaction homme-machine, il est spécialisé dans l'étude comportementale des personnes en situation de handicap, sur l'usage des aides techniques et sur la conception centrée utilisateur. frederic.vella@irit.fr

Loic CAROUX

Loc Caroux est matre de conférences en ergonomie et psychologie cognitive à l'Université Toulouse Jean Jaurès depuis 2015. Il est affilié au laboratoire CLLE (UMR 5263 Université Toulouse Jean Jaurès – CNRS). Il a obtenu son doctorat en 2012 à l'Université de Poitiers. Il a été chercheur postdoctoral à la New York University en 2013-2014, puis au centre de recherche INRIA Bordeaux Sud-Ouest en 2014-2015. Ses recherches portent sur les facteurs humains et l'ergonomie dans les systèmes numériques interactifs du quotidien. Il a été impliqué dans différents projets de recherche sur les interactions joueur-jeu vidéo, les technologies d'assistance, ainsi que sur les systèmes robotiques et autonomes. loic.caroux@univ-tlse2.fr

Philippe GORCE

Philippe Gorce est titulaire d'un doctorat en robotique et mécanique de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) Paris, obtenu en 1994, et d'une habilitation depuis 2000. Il est actuellement professeur de biomécanique à l'Université de Toulon. Il dirige le laboratoire HandiBio (EA-4322). Ses thématiques de recherche sont la biomécanique, l'ergonomie et la modélisation des mouvements humains. gorce@univ-tln.fr

Dan ISTRATE

Dan Istrate est enseignant-chercheur à l'Université de technologie de Compiègne dans le laboratoire BMBI (Biomécanique et Bioingénierie) UMR 7338 et est en charge de la chaire eBioMed (Outils biomédicaux connectés). Il a soutenu sa thèse de doctorat à l'INPG, en 2003, sur le sujet de la détection de situations de détresse en utilisant l'environnement sonore et son HDR à l'UEVE, en 2011, sur la fusion de données multimodales. Il travaille sur des applications de supervision des personnes âgées à domicile en utilisant différents capteurs connectés, de la rééducation fonctionnelle, du suivi des femmes enceintes avec menace d'accouchement prématurée ou des maladies chroniques. dan.istrate@utc.fr

Julien JACQUIER-BRET

Julien Jacquier-Bret est titulaire d'un doctorat en biomécanique et sciences du mouvement humain de l'Université de Toulon, France. Il est actuellement maître de conférences en anatomie fonctionnelle humaine et biomécanique à l'Université de Toulon. Ses thématiques de recherche porte sur l'analyse biomécanique, l'ergonomie et la modélisation du comportement humain lors d'interactions avec des dispositifs tactiles. julien.jacquier-bret@univ-tln.fr

Antonio SERPA

Antonio Serpa est ingénieur d'étude au CNRS depuis 2003. Il est responsable de la plateforme expérimentale de l'IRIT nommée « Elipselab ». Cette plateforme permet d'évaluer des situations d'interactions complexes (par ex., Technologies Augmentatives pour le handicap, systèmes interactifs mobiles, etc.). Il est notamment expert dans le domaine de la mise en œuvre d'outils/ de méthodes de conception centrée utilisateur et des méthodes d'évaluation. Antonio Serpa est également responsable du CLERiT (Comité consultatif de la recherche en informatique de

Toulouse) depuis 2013 et membre du Comité d'éthique de la recherche de l'Université fédérale de Toulouse CERT. Antonio.Serpa@irit.fr

Adrien VAN DEN BOSSCHE

Adrien van den Bossche est maître de conférences depuis 2008 à l'Université de Toulouse Jean Jaurès, enseignant à l'Institut universitaire de Technologie de Blagnac et chercheur à l'Institut de recherche en Informatique de Toulouse. Ses recherches sont centrées sur les protocoles de communication sans fil pour les réseaux de capteurs et le réseau de collecte de l'Internet des objets, plus précisément sur le contrôle d'accès au médium, les contraintes énergétiques induites par les protocoles et la localisation des nœuds mobiles par les techniques de temps de vol. Il est également impliqué dans la Maison intelligente de Blagnac dans le cadre de travaux multidisciplinaires sur l'usage des technologies pour l'accessibilité et l'assistance des personnes à domicile. vandenbo@univ-tlse2.fr

Démarche de co-conception d'une méthode d'observation et d'évaluation multidimensionnelle de l'accessibilité au numérique

Résumé : Cet article aborde la problématique de l'évaluation des dispositifs technologiques pour en mesurer l'accessibilité numérique par des personnes en situation de handicap ou de perte d'autonomie. Il s'appuie sur le travail d'un consortium pluridisciplinaire qui s'est constitué au niveau national pour élaborer et proposer une méthodologie d'évaluation et d'observation multidimensionnelle selon une démarche de co-conception intégrative. Les principales méthodes qualitatives et quantitatives utilisées par les partenaires dans le champ de l'accessibilité numérique sont présentées. Le croisement des deux méthodes à partir de contextes d'usage s'avère indispensable dans un but de modéliser et de qualifier les comportements dans l'accessibilité au numérique. La mise en œuvre de la méthodologie est illustrée par une pré-étude sur cinq sujets tests au sein d'un environnement de maison intelligente.

Mots-clés : co-conception, accessibilité numérique, méthode multidimensionnelle, évaluation, méthodes qualitatives et quantitatives.

Abstract: This paper addresses the evaluation of technological devices for digital accessibility for people with disabilities or loss of independence. It builds on the work of a multidisciplinary consortium that has been set up at the national level to develop and propose a multidimensional evaluation and observation methodology based on an integrative co-design approach. The main qualitative and quantitative methods used by the partners in the field of digital accessibility are presented. Using both methods in the context of use is essential in order to model and characterise behaviours in terms of digital accessibility. The implementation of the methodology is illustrated by an exploratory study of five volunteers in a smart home environment.

Keywords: co-design, digital accessibility, multidimensional method, evaluation, qualitative and quantitative methods.

Resumen: Este texto aborda la evaluación de los dispositivos tecnológicos utilizados para medir la accesibilidad digital de personas con discapacidades o con disminución de autonomía. Se basa en el trabajo de un grupo multidisciplinar que se ha establecido a nivel nacional para desarrollar y proponer una metodología de evaluación y de observación multidimensional, basada en un enfoque de diseño conjunto integrador. Se presentan los principales métodos cualitativos y cuantitativos utilizados por los componentes, en el campo de la accesibilidad digital. El cruce de los dos métodos se revela esencial para modelar y analizar los comportamientos en la accesibilidad digital. La implementación de la metodología se ilustra mediante un estudio previo sobre cinco sujetos de prueba dentro de un entorno doméstico inteligente.

Palabras clave: co-diseo, accesibilidad digital, método multidimensional, evaluación, métodos cualitativos y cuantitativos.

Introduction

La présence massive du numérique dans tous les pans de notre société a changé la façon de vivre en communauté et parfois le mode de vie des habitants. Même si le numérique a permis de donner des possibilités de progrès importants dans les domaines de l'habitat, de la santé, de l'éducation, de l'accès à l'information ou du transport..., l'accessibilité au numérique des technologies de l'information et de la communication n'est pas efficiente pour toutes les applications et toutes les situations d'usage malgré l'initiative prise par le W3C (*World Wide Web Consortium*) dès 1997 en créant le WAI (*Web Accessibility Initiative*), qui se doit de promouvoir un haut degré d'utilisation pour les personnes handicapées. Cet accès au numérique, que ce soit à travers Internet, les outils de communication sociale, les applications médicales, l'achat en ligne, les *serious games*, etc., soulève à la fois la question de l'utilisabilité et de l'accessibilité aux interfaces et des dispositifs abritant ces applications.

En 2006, le réseau interministériel sur l'accessibilité (DIPH, 2006), dont les membres se sont réunis pour la première fois en septembre 2003 à l'initiative de la Délégation interministérielle aux Personnes handicapées, s'accorde sur une définition commune : « L'accessibilité permet l'autonomie et la participation des personnes ayant un handicap, en réduisant, voire supprimant, les discordances entre les capacités, les besoins et les souhaits d'une part, et les différentes composantes physiques, organisationnelles et culturelles de leur environnement d'autre part » (s.p.). De même, Folcher et Lompré (2012) proposent une synthèse sur l'évolution des cadres réglementaires de l'accessibilité qui « consiste à fournir un accès égal aux environnements physiques et numériques en offrant des lieux et des ressources sûrs, sains et adaptés à la diversité des personnes susceptibles d'en faire usage » (p. 89-90).

Parallèlement, dans le domaine de l'interaction homme-machine, à la suite des travaux de Norman (1986), Nielsen

(1994,1995) et Bevan, Kirakowski et Maissel (1992), est défini le concept d'*utilisabilité* au travers de la norme ISO 9241-11 (ISO, 2018) comme 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 spécifié » (s. p.).

Quant à (Iwarsson et Stähl, 2003), ils ont suggéré que l'accessibilité comporte un volet personnel et environnemental, et que celle-ci doit être analysée par une intégration des deux volets. En introduisant la composante d'activité, les auteurs ont proposé que le terme *accessibilité* (*accessibility*) devrait en partie être remplacé par le terme *usability*.

Depuis 2008, la norme ISO 9241-171 (ISO, 2008) propose également une définition combinée de l'utilisabilité et de l'accessibilité d'un produit, d'un service, d'un environnement ou d'une fonction pour des personnes présentant le plus large éventail possible de capacités et suggère que l'utilisabilité serait un sous ensemble de l'accessibilité.

De nombreuses études se sont intéressées à l'accessibilité des documents électroniques et d'Internet (Chevalier et Tricot, 2008 ; G3ict et World Enabled, 2017 ; Petrie et Kheir, 2007). Cette question de l'accessibilité dépend des capacités sensorielles, motrices et cognitives de la personne utilisatrice de l'application numérique. Elle est un véritable enjeu sociétal.

En effet, l'accessibilité au numérique par des personnes en situation de handicap ou des personnes âgées en fracture numérique constitue toujours un enjeu tant d'un point de vue des recommandations de conception (Lespinet-Najib *et al*., 2015), des normes d'accessibilité WCAG2.1[1] telles que celles proposées par le W3C et son initiative WAI (*Web Accessibility Initiative*)[2] que des usages des dispositifs sociotechniques.

Cette accessibilité au numérique apparaît comme un moyen de rompre l'isolement social (Credoc, 2017 ; Fondation de France, 2016), ou encore permet à la personne en situation de handicap

[1] Voir : https://www.w3.org/TR/WCAG21/.
[2] Voir : https://www.w3.org/WAI/.

d'accéder à une certaine autonomie (utilisation des dispositifs de compensation ou, de manière plus générale, utilisation des technologies de l'information et de la communication).

Même si la définition et la qualification de la notion d'accessibilité ont fait l'objet de nombreuses publications, la question de l'évaluation pertinente des dispositifs techniques proposés pour l'accès au numérique en adéquation au profil de la population concernée reste par contre encore insuffisante.

Dans le cadre du projet transdisciplinaire MAN[3] du défi AUTON[4] de la Mission pour l'interdisciplinarité du CNRS, un groupe composé de chercheurs de différentes disciplines (sociologie, ingénierie de l'interaction homme-machine, psychologie cognitive, sciences de l'information et de la communication, ergonomie cognitive, anthropologie, biomécanique, etc.) s'est donné pour objectif d'élaborer et de concevoir une méthode d'évaluation pluridimensionnelle sur l'accessibilité au numérique pour des personnes âgées avec des déficiences ou en fracture numérique.

Dans cet article, nous nous proposons de décrire la démarche que le consortium a adoptée pour l'élaboration de la méthode d'évaluation MAN. Tout d'abord, nous recensons les méthodes qualitatives et quantitatives utilisées par les partenaires dans le champ de l'accessibilité numérique, puis argumentons sur la nécessité de disposer d'une méthode d'évaluation fondée sur le croisement des deux méthodes dans un but de modéliser et de qualifier les comportements dans l'accessibilité au numérique. Enfin, nous décrivons la mise en œuvre de cette méthode en environnement contrôlé avec des volontaires en contextes d'usage. Une conclusion rappelle les apports d'une telle approche et la nécessité de validation de la méthode à une plus grande échelle.

[3] MAN : Mise en place d'une méthode d'évaluation croisée de l'accès aux ressources numériques (voir http://www.cnrs.fr/mi/spip.php?article1369).
[4] Voir : http://www.cnrs.fr/mi/spip.php?article1369.

1. Recensement des méthodes d'évaluation qualitatives et quantitatives pour l'accessibilité

Selon les disciplines invoquées, les méthodes d'évaluation qualitatives (Nielsen, 1994 ; Baccino, Bellino et Colombi, 2005 ; Barcenilla et Bastien, 2009) ou quantitatives (Rubin et Chisnell, 2008) sont préférées.

Pluye *et al*. (2009) ont recensé une liste non exhaustive des principales méthodes susceptibles d'être utilisées pour comprendre, mesurer et évaluer le comportement d'une personne en situation d'interaction (Tableau 1). Le choix des méthodes dépend essentiellement des objectifs visés par l'évaluation et des acteurs de l'évaluation. Dans le champ de l'évaluation des aides de compensation et des gérontechnologies, les deux classes de méthodes sont largement utilisées.

Tableau 1. Principales méthodes quantitatives et qualitatives (Pluye *et al.*, 2009)

Méthodes qualitatives	Méthodes quantitatives
Communication et Information - Analyse de discours - Analyse de contenu qualitative - Sémiotique	Études expérimentales - Essai contrôlé randomisé - Essai contrôlé - Essai contrôlé pré-post
Idéaux types et *patterns* - Analyse des évènements - Théorisation ancrée - Études de cas qualitative	Études observationnelles - Étude de cohorte - Étude de comparaison de cas - Études pré-post/série temporel - Enquête transversale - Série de cas - Rapport de cas
Actions sociales - Herméneutique - Histoires de vie - Phénoménologie - Analyse de discours	
Société et interactions sociales - Ethnographie - Ethnométhodologie - Interactionnisme symbolique	
Connaissance tacite - Art - Expertise - Métaphores - Mythes	

Les méthodes de collecte et d'analyse qui combinent méthodes qualitatives et quantitatives sont proposées et sont nommées : « études triangulées », « multi méthodes », « méthodes mélangées », « multiples ou mixtes » (Johnson, Onwuegbuzie et Turner, 2007) et sont très plébiscitées dans le champ des technologies de l'information et de la communication (TIC) pour l'autonomie.

Généralement, les évaluations quantitatives sont classifiées en catégories expérimentales (environnement contrôlé de type *Living Lab*) ou observationnelles (*in vivo*), alors que les évaluations qualitatives peuvent fournir une compréhension approfondie des raisons et des résultats d'études expérimentales. Les méthodes qualitatives sont développées dans plusieurs disciplines et utilisent différentes procédures interprétatives (par exemple, ethnographie et anthropologie). Les méthodes qualitatives sont utilisées, en évaluation de technologies pour le maintien à domicile, car elles satisfont les besoins des décideurs de l'autonomie et des professionnels en matière de compréhension de projections, de rejets et d'anticipation des technologies (Bougeois *et al*., 2017 ; Vella *et al.*, 2005), ou étudient les nouveaux usages des technologies à partir d'entretiens et d'observations (Brangier, Hammes-Adelé, Bastien, 2010 ; Carrion-Martinaud et Bobillier-Chaumon, 2017). Par exemple, les études qualitatives donnent des résultats empiriques expliquant pourquoi les personnes âgées font part d'un manque de motivation, de crainte de « dépendre des technologies », d'inaccessibilité aux applications, de représentations et de projections sur les technologies (Bougeois *et al*., 2016). Ces exemples de résultats qualitatifs sont à considérer dans l'analyse et l'interprétation des données expérimentales sur l'accessibilité numérique en proposant des explications ou des hypothèses.

Les méthodes quantitatives comme les questionnaires sur l'acceptabilité des technologies (Dupuy, Consel et Sauzéon, 2016 ; Brangier et Barcellina, 2003) permettent de mesurer les attitudes des utilisateurs sur l'attrait, la qualité ergonomique, ou le degré d'anxiété que procure l'interface. Quant à l'analyse des logs d'interactions, elle permet de modéliser le comportement interactionnel de l'utilisateur ou encore de quantifier la

performance dans la réalisation de la tâche.

L'oculométrie est un outil pertinent pour des expériences fondamentales sur l'étude des processus de lecture (Perrin, Paillé et Baccino, 2014) et de recherche d'information, de résolution de problèmes, afin de comprendre les comportements et les stratégies mises en œuvre par les utilisateurs des applications interactives. Dans le cadre de la mesure de l'accessibilité au numérique, ce type de mesure devrait être considéré.

L'évaluation centrée sur les utilisateurs est précisée dans la norme ISO 9241-210 (ISO, 2010), mais d'autres méthodes visent à évaluer la qualité de l'expérience vécue par l'utilisateur (UX expérience) dans toute situation d'interaction (Cooper, Reimann et Cronin, 2017). Un produit informatique peut ainsi conduire à des expériences qui seront d'autant plus importantes qu'il conjuguera de manière optimale des propriétés d'accessibilité, d'utilisabilité, d'émotionnalité et d'influençabilité (Brangier et Bastien, 2010). Il conviendrait donc d'évaluer les solutions de conception avec d'autres méthodes, par exemple en utilisant la modélisation des tâches, des simulations, ou des méthodes d'évaluation prédictive (Vigouroux et Gorce, 2011).

Ces méthodes consistent à déterminer de quelle manière les utilisateurs appréhenderont le système, même si les utilisateurs eux-mêmes peuvent ne pas participer directement au processus. Un ensemble de méthodes quantitatives et qualitatives est proposé dans le rapport technique ISO/TR 16982 (Tableau 2). Ce rapport indique des méthodes préconisées pour la conception centrée utilisateur. Il présente une liste de méthodes ergonomiques pouvant être appliquées aux différentes étapes du cycle de conception tout en précisant leurs avantages et inconvénients. On y présente les méthodes impliquant directement les utilisateurs finaux (ex., l'observation, la mesure des performances, la technique des incidents critiques, les questionnaires, les entretiens, les verbalisations au cours des tâches, les techniques de conception et d'évaluation participatives, etc.) et les méthodes n'impliquant pas directement les utilisateurs finaux (ex., l'analyse de documents, guides de style, grilles d'évaluation, critères ergonomiques, les méthodes formelles...).

Tableau 2. Description des méthodes référencées dans la norme ISO/TR 16982 (2002)

Nom de la méthode	Participation directe des utilisateurs	Brève description des méthodes
Observation des utilisateurs	O	Collecte d'informations de manière précise et systématique sur le comportement et les performances des utilisateurs, dans le contexte de tâches spécifiques au cours de l'activité de l'utilisateur.
Mesurages relatifs aux performances	O	Collecte de mesures des performances quantifiables afin de comprendre les effets des problèmes d'utilisabilité.
Incidents critiques	O	Collecte systématique d'évènements spécifiques (positifs ou négatifs).
Questionnaires	O	Méthodes d'évaluation indirecte qui recueillent, au moyen de questionnaires prédéfinis, les options des utilisateurs sur l'interface.
Interviews	O	Proches des questionnaires, mais d'une plus grande flexibilité et avec une procédure en face à face.
Penser à haute voix	O	Penser à haute voix implique que les utilisateurs verbalisent continuellement leurs idées, leurs représentations, leurs attentes, leurs doutes, leurs découvertes, etc., au cours de leur utilisation du système testé.
Conception et évaluation collaboratives	O	De telles méthodes permettent à différents types d'acteurs (utilisateurs, développeurs de produits et spécialistes des facteurs humains, etc.) de collaborer à l'évaluation ou à la conception des systèmes.
Méthodes de créativité	O/N	De telles méthodes consistent à faire émerger des caractéristiques pour de nouveaux produits et systèmes, généralement issues d'interactions au sein de groupes. Dans le contexte des approches centrées sur l'opérateur humain, les membres de tels groupes sont souvent des utilisateurs.
Méthodes basées sur des documents	N	Le spécialiste de l'utilisabilité se sert de documents existants pour établir son propre jugement.
Approches basées sur des modèles	N	Utilisation de modèles qui sont des représentations abstraites du produit évalué et qui permettent de prévoir les performances des utilisateurs.
Évaluation par expertise	N	Évaluation s'appuyant sur la connaissance, l'expertise et l'expérience pratique en ergonomie du spécialiste en utilisabilité.
Évaluation automatisée	N	Basée sur des algorithmes centrés sur des critères d'utilisabilité ou sur des systèmes basés sur la connaissance ergonomique, les évaluations automatisées diagnostiquent les défaillances d'un produit par rapport à des règles prédéfinies.

Parallèlement à ces méthodes, l'évaluation des pages web proposée par le W3C [5] est plus technique et centrée sur les langages selon un modèle d'évaluation en cinq étapes[6] : 1) définir l'objectif de l'évaluation ; 2) explorer le site web cible ; 3) sélectionner un échantillon représentatif ; 4) auditer l'échantillon sélectionné en rapport avec les critères WCAG2.1[7] ; et 5) rendre compte des résultats de l'évaluation (Lompré, 2017). Malgré l'intérêt des outils disponibles sur le site de la DISIC [8], ils n'impliquent pas toujours les utilisateurs. De plus, en amont, les développeurs web ont peu de connaissances des critères sur l'accessibilité et sont formés à trouver certains problèmes d'accessibilité à partir d'un examen préliminaire, à l'aide de l'assistant RGAA[9] ou d'autres outils[10]. Un expert de l'accessibilité peut aussi évaluer les questions s'y rapportant. L'examen initial permet d'identifier les obstacles importants à l'accessibilité et sur quoi se concentrer dans l'évaluation avec les utilisateurs. Il est cependant important d'impliquer les utilisateurs handicapés, car l'évaluation technique a de nombreux avantages, mais elle ne permet pas vraiment de déterminer si un site est accessible. Il faut ainsi combiner à la fois la participation des utilisateurs et l'évaluation de la conformité WCAG2.1[11] et d'autres méthodes.

Le recours aux méthodes mixtes nous semble donc une voie privilégiée pour rendre compte de la complexité et des richesses des données obtenues lors du processus d'évaluation de l'accessibilité au numérique, même si la spécificité de chacune invite à la plus grande rigueur et prudence dans leur exploitation.

[5] Voir : http://www.w3.org/.
[6] Voir : https://www.w3.org/WAI/eval/Overview.
[7] Voir : https://www.w3.org/TR/WCAG-EM.
[8] Voir : https://github.com/DISIC.
[9] Voir : https://github.com/DISIC/assistant-rgaa.
[10] Voir : https://www.w3.org/WAI/ER/tools/.
[11] Voir : https://www.w3.org/WAI/eval/users.

2. Démarche de la méthode mixte d'évaluation MAN

Le projet MAN (Méthodologie pour l'Accessibilité au Numérique) (Campo, Vigouroux et Pinède, 2016) a élaboré une méthodologie systémique croisant approches qualitative et quantitative de l'évaluation à partir de la réalisation de tâches d'activités basées sur des scénarios d'usage et impliquant des personnes âgées. Pour construire notre méthodologie sur l'accessibilité au numérique, un premier travail a consisté à recenser : 1) les diverses problématiques de recherche traitées par les différents partenaires autour de l'accessibilité au numérique pour les personnes âgées ; 2) les méthodes qualitatives mises en œuvre et les indicateurs associés ; et 3) les méthodes quantitatives et les indicateurs associés.

Tous les partenaires du projet ont des problématiques d'évaluation spécifiques dans leurs propres projets de recherche. Nous les avons consignées dans le Tableau 3 sous la forme de questions scientifiques à lever identifiées par chacun. Trois d'entre eux (P2, P4 et P7) abordent l'évaluation dans le processus complet de la conception centrée utilisateur, dont deux pour des études sur l'accessibilité numérique pour les seniors (P2 et P7). Trois équipes détournent le simple contexte de l'accessibilité numérique : P6 s'intéresse, au travers des activités, à la détection de situation de détresse des personnes âgées ; P5 supplée la communication par des interfaces cerveau machine et s'intéresse au degré d'utilisabilité de l'interface cerveau machine ; et P3 s'intéresse à l'ergonomie des interfaces pour en améliorer l'accessibilité. Quant à P1, il s'intéresse à l'adaptation des pages web pour améliorer leur accessibilité pour des personnes avec une basse vision.

Cette diversité des objectifs scientifiques nous a permis d'établir les deux tableaux recensant le type de méthodes qualitatives (Tableau 4) et quantitatives (Tableau 5) déployées pour mesurer l'accessibilité ou l'utilisabilité selon les équipes.

Tableau 3. Problématique d'évaluation des partenaires

Partenaires	Problématiques de recherche
P1 : LIRMM (Montpellier)	Comment évaluer l'amélioration apportée par la méthode proposée pour l'adaptation de pages web (Bonavero, Huchard et Meynard, 2016) pour la lecture personnalisée pour des personnes basse vision et autant que possible respectueuse du style initial ?
P2 : LIRIS (Lyon)	Comment étudier les impacts du numérique sur des séniors du 4ème âge (> 80 ans) ? Comment distinguer les effets liés à l'usage direct de la technologie de ceux liés à l'inclusion de la technologie dans l'environnement social ? (Bobillier-Chaumon *et al.*, 2014)
P3 : Handibio (Toulon)	Comment identifier les stratégies motrices induites par l'utilisation d'un système informatique et comment en évaluer leur aspect ergonomique ? (Jacquier-Bret *et al.*, 2017) Comment élaborer de nouveaux indices de qualification et de quantification d'une activité ?
P4 : MICA+IMS +Passages (Bordeaux)	Comment traiter les problématiques d'accessibilité numérique, de la conception aux usages, sur des terrains multiples ? Quelle ingénierie et innovation à mettre en œuvre sur ces questions (Lespinet-Najib, Roche et Chibaudel, 2017) ?
P5 : INRIA-Sophia (Antibes)	Comment suppléer la communication par des interfaces cerveau machine de type P 300 speller ? (Clerc *et al.*, 2013)
P6 : BMBI (UTC)	Comment évaluer l'efficacité d'un système de reconnaissance (basé sur l'analyse de l'environnement sonore) des activités et, surtout, des situations de détresse pour les personnes âgées ? (Sehili *et al*. 2012)
P7 : IRIT+LAAS +LERASS (Toulouse)	Comment évaluer l'accessibilité des technologies numériques d'interaction homme-environnement pour des seniors à domicile ? (Bougeois *et al.*, 2016)

Le tableau 4 synthétise les méthodes qualitatives ainsi que les indicateurs qui s'y réfèrent.

Tableau 4. Méthodes qualitatives déployées

Partenaires	Méthodes qualitatives	Indicateurs qualitatifs
P1	Non réalisé	Non réalisé
P2	Entretien	Perception d'estime de soi
	Grilles d'observations	Perception d'usage (avis sur la technologie et les effets d'utilisation)
	Triangulé : comparaison de l'équipe soignante, famille et sujets ; comparaison des perceptions d'usage (entretien), des contextes d'usage (observation) et des usages (log)	
P3	Questionnaire (profil, ressenti, capacités motrices, etc.)	Profil de la personne et tableau des déficiences
P4	Méthodologies qualitatives issues de la conception centrée utilisateur : - Entretiens semi-directifs - Méthodes des scénarios - Prototypage - Observation - Tris de cartes - Analyse heuristique - Persona	Représentations et pratiques des concepteurs/relais d'action Besoins et attentes des usagers/utilisateurs Simulation de situations Évaluations ergonomiques
P5	Questionnaire patient et entourage du patient	Utilisabilité du système Temps de production de la communication
P6	Interview non dirigée	Acceptabilité
P7	Observation ethnographique Entretien semi-directif	Représentations et projections des participants sur les technologies (intentions d'équipements, freins…) Profil de la personne et tableau des déficiences

Le tableau 5 synthétise les méthodes quantitatives ainsi que les indicateurs qui s'y réfèrent.

Tableau 5. Méthodes quantitatives déployées

Partenaires	Méthodes quantitatives	Indicateurs quantitatifs
P1	Modèle théorique de la satisfaction d'un besoin	Modélisation du degré de satisfaction des préférences par des métriques et des valeurs seuil
P2	Analyse des logs Questionnaire	Fréquence et type d'activités Utilisation effective
P3	Analyse du mouvement	Indices temporels de performance de la tâche Indicateurs ergonomiques Indicateurs globaux de performances motrices
P4	Méthodologies quantitatives issues de la conception centrée utilisateur : - Enquêtes par questionnaires - Tests utilisateurs	Données quantitatives sur les représentations, besoins, pratiques Mesures par suivi du regard (par exemple, SMI *Eye Tracking Glasses 2 Wireless*) sur l'utilisation des interfaces
P5	Pas précisé	Qualité de la communication écrite
P6	Questionnaires sujets sains et patients Reconnaissance de sons de détresse	Attractivité, sécurité, motivation, etc. Émotion
P7	Questionnaire, post-questionnaire, log des usages, données des capteurs Méthode de scénarios	Données quantitatives sur les taux d'utilisation des technologies, des préférences des technologies Lois psychophysiques sur l'utilisation des interfaces Actimétrie

Sur la base de ce recensement des pratiques des partenaires, nous nous proposons de concevoir et de mettre en œuvre une méthodologie systémique, mixte, croisant approches qualitatives et quantitatives à partir de contextes d'usage, et ce, afin de dépasser la dichotomie qualitatif/quantitatif dans le champ de l'accessibilité numérique. Dans notre approche, les méthodes mixtes seront mobilisées en tant que multiples sources de données (Thurston, Cove et Meadows, 2008), pour mieux comprendre la question de l'accessibilité au numérique.

Le consortium a identifié six indicateurs : 1) relation sociale du participant ; 2) motivation des participants dans l'utilisation des technologies ; 3) effet d'appropriation induit par l'expérience ; 4) comportements et attitudes psychosociales ; 5) utilisabilité ; et

6) utilité qui résulte des croisements des données quantitatives et qualitatives. Un travail complémentaire sera approfondi pour identifier les facteurs et les variables des diverses sources de données pour qualifier ces types d'indicateurs.

3. Contexte d'application : le projet MAN

3.1. Méthodologie d'évaluation implémentée

L'étude expérimentale s'appuie sur un essai contrôlé couplé à des actions sociales (histoire de vie, interactions sociales) en référence au tableau 1. Elle a été définie avec l'objectif de mise à l'épreuve des outils méthodologiques existants et de prise en compte des difficultés d'accessibilité numérique pour la population d'étude. La population d'étude retenue concerne des personnes âgées (> 65 ans) avec et sans fracture numérique, avec des troubles visuels non corrigés par les prothèses visuelles et des troubles cognitifs.

Les outils méthodologiques ont été choisis afin de comprendre le comportement de la personne en situation d'usage. Les documents élaborés au sein de la méthode MAN s'appuient sur les normes WCAG2.1 (ou ISO/IEC 40500) et ISO 9241-210 (utilité, utilisabilité, degré de satisfaction). Les outils sont composés d'outils d'analyse qualitative (observation et deux entretiens, pré- et post-expérimental) et d'analyse quantitative (questionnaires

d'acceptabilité des technologies adaptés de Dupuy, Consel et Sauzéon [2016], eux-mêmes inspirés de la norme AttrakDiff [Lallemand *et al.*, 2015], questionnaire sur le profil socioculturel, technologique et de santé, données issues des capteurs de mouvement [Jacquier-Bret *et al.*, 2017], des mouvements oculaires [Caroux, Le Bigot et Vibert, 2011], des logs d'activités et des capteurs ambiants [Van den Bossche *et al*., 2016]). Ils permettent ainsi de répondre aux objectifs scientifiques des différents partenaires :

- Observation des comportements, accessibilité, attitudes et interactions face à un outil numérique.
- Analyse de l'activité, des postures et des attitudes en fonction des profils.
- Modélisation de l'activité, du mouvement, du comportement.
- Inter croisement des informations : questionnaires, entretiens et données d'acquisition capteurs.

L'approche méthodologique proposée est transdisciplinaire : elle permet, par un croisement des données, d'expliquer par exemple un comportement moteur avec des données de l'analyse du mouvement ou encore analyser l'intention avec le mouvement oculaire et le message vocal (verbatim).

La même méthodologie d'observation a été implémentée quel que soit le participant. La taille des caractères des documents (lettre de consentement, droit à l'image et questionnaire sur le profil socioculturel, technologique et de santé) a été grossie (taille 14 pour les déficients visuels). La mise en forme de ces mêmes documents se veut simple et structurée pour en augmenter la lisibilité et la compréhension par des personnes avec de légers troubles cognitifs.

3.2. Élaboration des méthodes

Les divers outils qui composent les méthodes qualitatives et quantitatives ont été élaborés de manière itérative et incrémentale en prenant en compte les expériences des partenaires et la liste des indicateurs recensés respectivement dans les tableaux 4 et 5.

Cinq étapes ont composé cette procédure d'élaboration : étape 1, identification des indicateurs ; étape 2, spécification des outils par les partenaires ; étape 3, mise en œuvre des outils lors d'un test à blanc avec un membre du consortium comme sujet ; étape 4, mise en œuvre avec une personne âgée de 65 ans ; étape 5, mise en œuvre avec une personne âgée de 87 ans. À chacune de ces phases, les questions des questionnaires, la spécification des questions des entretiens, les objectifs de l'observation ont été soit affinés soit adaptés afin que ces outils soient accessibles (lisibles, compréhensibles) par les sujets.

3.3. Plateforme d'évaluation

La méthodologie a été déployée au sein d'un *Living Lab*, la Maison intelligente de Blagnac (MIB) illustrée par la Figure 1 (Campo, Daran et Redon, 2011).



Figure 1. La Maison Intelligente de Blagnac (MIB)

Il s'agit d'une plateforme pluri-technique permettant le recueil de données à partir de méthodes qualitatives et quantitatives et intégrant un environnement connecté et des dispositifs d'interaction notamment une tablette abritant une application tactile et intuitive (Figure 2).

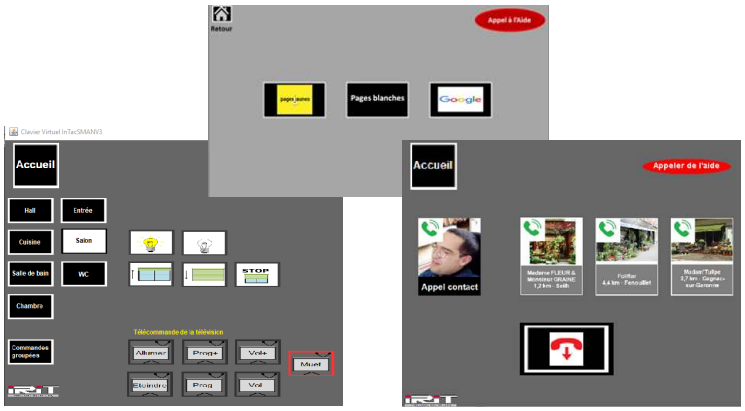


Figure 2. Application tactile

Cette application sert de support à la réalisation des trois scénarios d'usage élaborés et a été conçue en respectant les critères de conception (simplicité, lisibilité et accessibilité) d'interface pour les personnes âgées (Loureiro et Rodrigues, 2014) en mettant en œuvre des séances de *brainstorming*. Deux chercheurs en psychologie cognitive, deux chercheurs en interaction homme-machine et un expert malvoyant ont participé au *brainstorming* afin que l'interface soit accessible.

La Figure 3 recense l'ensemble des outils déployés dans la méthode d'évaluation MAN : l'application tactile numérique qui sert de support à la réalisation de scénarios d'usage, les méthodes qualitatives et quantitatives mises en œuvre et les participants (expérimentateur et observateurs).

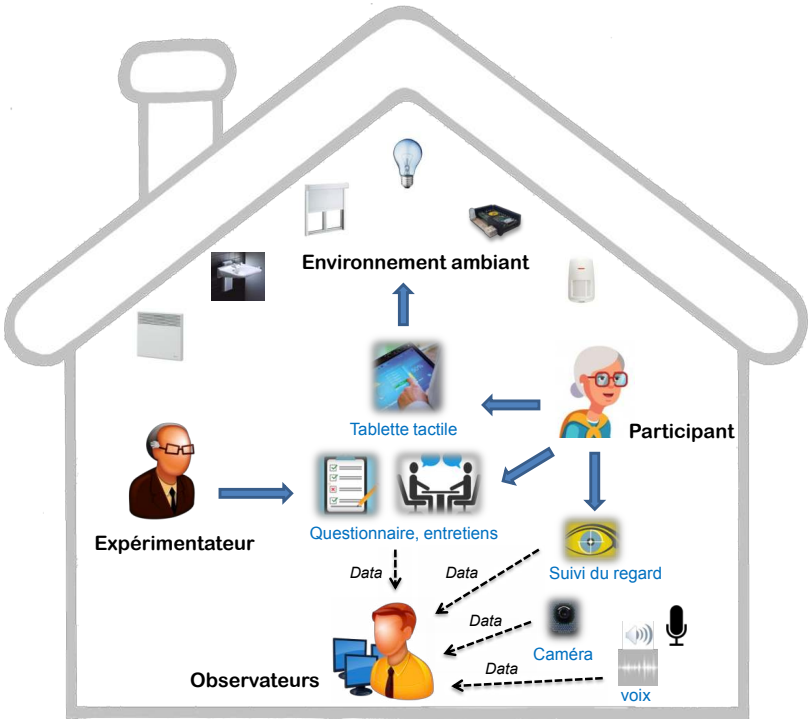


Figure 3. Interaction entre les différents acteurs de l'expérimentation

3.4. Première mise en œuvre de la méthode MAN

La méthode MAN a été mise en œuvre, avec l'ensemble des méthodes qualitatives et quantitatives décrites, avec cinq personnes âgées : une personne âgée avec DV (déficience visuelle) et sans FN (fracture numérique) ; une personne âgée avec DV et avec FN ; une personne âgée avec trouble moteur et avec FN ; une personne très âgée avec déficit auditif et avec FN ; une personne âgée de référence. Cette mise en œuvre sert de preuve de faisabilité de la méthode MAN.

Le déroulé de la méthode MAN est le suivant :

- présentation des objectifs de l'étude aux participants, signature du consentement et du droit à l'image ;
- passation du questionnaire d'identification du profil (socioculturel, usage des technologies) ;

- passation du questionnaire sur l'acceptabilité des technologies (pré-expérimentation) ;
- entretien pré-expérimentation semi-directif visant à préciser les usages des technologies et des aides ;
- mise en situation d'usage (trois scénarios d'usage : contrôle de la MIB ; recherche d'un numéro de téléphone ; utilisation d'un outil de visioconférence pour un achat en ligne) ;
- passation du questionnaire d'acceptabilité (post-expérimentation) ;
- entretien semi-directif final sur le ressenti et la perception du participant.

La Figure 4 représente la salle d'observation (présence de l'ensemble des chercheurs où chacun assure son rôle d'observateur avec son regard propre à son champ de compétence). La Figure 5 illustre une situation d'interaction d'une personne âgée, équipée d'un outil du suivi du regard, avec une tablette tactile dans le cadre de l'exécution d'un scénario d'activités.



Figure 4. Salle d'observation



Figure 5. Personne en situation d'interaction

La durée totale d'une passation variait entre 2 h 30 et 3 h 30 selon le participant. Les risques techniques (hétérogénéité des dispositifs de mesure) et éthiques (information au participant de l'objectif de l'étude, lettre de consentement, droit à l'image, information sur la possibilité d'arrêter sa participation à chaque instant, confidentialité et sécurisation des données) ont été neutralisés.

3.5. Retour d'expérience préliminaire

3.5.1 Sur la méthode mise en œuvre

Cette première mise en œuvre a démontré la faisabilité de la méthode, et ce, malgré 1) les fortes contraintes technologiques d'acquisition et de synchronisation des données numériques et 2) des participants avec un âge avancé et en fracture numérique. Tous les participants ont réussi les scénarios d'usage. Le ressenti a été très positif avec des attitudes positives : « c'est plus facile que j'imaginais », « c'est bien plus facile que les pages jaunes ».

Cette mise à l'épreuve a également permis de démontrer que l'adaptation des questionnaires aux capacités sensorielles (adaptation des tailles et de la police de caractères des textes du questionnaire, formulation) est également un point fort de notre démarche. Ces adaptations ont favorisé la mise en confiance du participant (information rendue accessible) de même que l'attitude coopérante et rassurante des expérimentateurs. La conception de

l'application interactive simple et accessible sur support tactile (taille des boutons et fort contraste des boutons sur un fond noir) pour la réalisation des scénarios d'usage a rendu possible l'expérimentation par tous les participants, même ceux qui étaient en fracture numérique.

La mise en place des méthodes quantitatives (capture de mouvement, mouvements oculaires) a été acceptée, et ce, malgré son caractère invasif (capteurs sur le corps, lunettes). Des améliorations doivent toutefois être effectuées pour obtenir des informations numériques plus continues et moins bruitées. Du côté des méthodes qualitatives, certaines questions doivent être reformulées pour en faciliter leur compréhension.

La base d'informations (vidéo, discours, entretiens, questionnaire, trace des activités, capture des mouvements) recueillie pour chaque participant constitue une richesse pour les analyses du comportement de personnes âgées en perte d'autonomie.

3.5.2 Sur les facteurs propres aux participants

L'application tactile (Figure 2) non connue au début de l'expérience par l'ensemble des participants a été présentée par l'expérimentateur ; les participants ont ensuite manipulé les différentes fonctionnalités avec l'aide de l'expérimentateur. Cette phase d'initiation a été nécessaire pour expliquer le principe de la validation d'une fonctionnalité à l'aide du doigt (ou d'un stylet) pour les participants en fracture numérique. Cette caractéristique (trois sujets sur cinq n'avaient jamais utilisé ni d'ordinateur ni de tablette) n'a pas été bloquante pour l'expérimentation. Cependant, cette expérimentation suggère que la phase de découverte et d'appropriation des outils technologiques soit également observée pour bien comprendre les mécanismes de l'appropriation des technologies pour ce type de profil. Cette pré-étude a mis en avant la nécessité de la prise en compte des déficits auditifs pour les nouvelles expérimentations par la mise en œuvre d'une boucle magnétique ou la possibilité dans l'application tactile d'ajuster les niveaux des retours sonores.

Cette expérimentation a également permis de montrer les modifications de comportement de scrutation de tablette et de l'environnement pour les participants en fracture numérique. Par exemple, à la première itération du scénario (recherche d'un numéro de téléphone), un participant a passé 40 % de son temps sur la tablette contre 18 % à l'itération 3.

Cette réduction du temps de scrutation de la tablette a été au bénéfice de la découverte de l'environnement ambiant. Ces informations extraites des données oculométriques sont confirmées par les durées de réalisation d'actions plus rapides (logs d'activités). À titre d'illustration, le Tableau 6 liste les variables qui déterminent l'indicateur « Effet d'appropriation » induit par l'expérience.

Tableau 6 : Exemple de croisement de données

Variable quantitative	Valeur d'acceptabilité des technologies (questionnaire avant et après l'expérience) Degré d'appropriation : - temps d'exécution de la tâche au cours du temps ; nombre d'essais de réalisations de la tâche ; arbre des fonctions parcourues (log d'activités) - nombre et durée des fixations oculaires sur des objets de la maison et éléments de l'interface (oculométrie) Croisement des deux sources (log et oculométrie)
Variable qualitative	Ressenti après l'expérience (intérêt exprimé, degré de satisfaction, acquisition de connaissances...)

Enfin, la question de l'accessibilité au numérique doit prendre en compte le fait que la majorité des technologies bas coûts est conçue initialement pour le grand public et que ceci engendre des contraintes d'utilisabilité des outils numériques. Un exemple est celui de la sollicitation des expérimentateurs par les participants durant la réalisation des scénarios qui ne concernaient pas l'utilisation même des fonctionnalités de la tablette, mais

uniquement sa mauvaise manipulation (certains participants appuyaient par mégarde sur un bouton physique de la tablette qui se mettait en veille ou qui changeait de fenêtre, les mettant alors dans une situation de blocage).

Conclusion et perspectives

L'accessibilité au numérique est un facteur d'inclusion sociétale qui doit être considérée dans les méthodes de conception des dispositifs et des applications numériques quel que soit la personne (son âge, ses capacités fonctionnelles, sa santé et sa culture du numérique). C'est un challenge qui doit être pris en compte dans nos pratiques de conception centrée utilisateur (Norman, 1986, 2013).

Proposer des méthodologies d'évaluation pour la conception adaptée de dispositifs d'interaction semble une nécessité afin de s'adapter parfaitement aux besoins, aux attentes des personnes, mais également de s'intégrer à leurs pratiques habituelles. Les dispositifs proposés doivent venir augmenter leur faculté d'accès au numérique sans rajouter d'obstacles ou de difficultés supplémentaires. Par exemple, l'utilisation d'une application simple ou intuitive ne doit pas être surmontée par une tablette difficile à utiliser, à prendre en main, ou une lecture difficile du contenu de l'écran.

La méthodologie d'évaluation pour l'accessibilité au numérique (applications interactives basées sur les technologies de l'information et de la communication) s'appuie sur une analyse croisée de méthodes qualitatives et quantitatives. Cette méthodologie mixte de l'évaluation est proposée à partir d'une analyse des pratiques et des objectifs scientifiques des partenaires sur l'accessibilité au numérique avec un double objectif, certes de mesurer l'accessibilité, mais également d'acquérir des connaissances dans la compréhension de comportements complexes de la personne en situation d'usage en fonction de ses capacités fonctionnelles.

Les divers outils qui composent les méthodes qualitatives et quantitatives ont été élaborés de manière itérative et incrémentale

sous forme de séances de *brainstorming* et de *workshops* associant les différentes compétences des partenaires et des pré-essais tant pour la compréhension des documents que pour la faisabilité et la robustesse des outils d'acquisition des données quantitatives.

La méthodologie a été déployée pour preuve de concept en environnement contrôlé, la maison intelligente de Blagnac, laquelle dispose d'une infrastructure flexible et configurable pour mettre en situation les cinq participants de l'étude dans le cadre de scénarios de vie. Ces scénarios avaient pour support d'interaction une tablette tactile intégrant des fonctionnalités d'accès au numérique. Les autres dispositifs disposés dans l'environnement ou sur la personne ont servi à recueillir les données numériques ambiantes, physiologiques et comportementales. Cette étude a démontré la nécessité de disposer d'une équipe pluridisciplinaire de chercheurs pour la mise en point d'une méthode d'évaluation avec les connaissances et les expertises de terrain de chacun.

Cette première expérimentation a montré, d'une part, la structuration effective d'un groupement de compétences disciplinaires autour de la problématique de l'accessibilité au numérique et, d'autre part, la faisabilité de mise en œuvre d'une méthodologie d'évaluation et d'observation multidimensionnelle dans un environnement ambiant pour des personnes avec des déficiences ou en fracture numérique. Elle a enfin démontré la preuve de concept de l'implémentation d'un protocole complet réalisé avec une maîtrise des risques : d'ordre technique (interopérabilité des dispositifs de capture des données), d'inclusion (difficultés d'amener au sein de la Maison intelligente des personnes, très âgées et avec des déficiences visuelles, motrices et auditives), d'ordre éthique (risque d'abandon, trop forte sollicitation, caractère invasif des outils d'acquisition des données, risque de stress ou de détresse du participant lors de l'expérience).

La prochaine étape, déjà engagée, est celle d'identifier les variables quantitatives et qualitatives pertinentes permettant d'alimenter les indicateurs retenus. Ces indicateurs permettront de mettre en évidence les apports de croisement de données

hétérogènes pour une meilleure compréhension des comportements (physiques, psychologiques...) des participants en fonction de leur incapacité fonctionnelle et de leur connaissance du numérique. La mise à l'épreuve de notre méthode d'évaluation de l'accessibilité au numérique sur une cohorte plus importante de participants fait également partie des objectifs du consortium, à la fois sur des scénarios d'usage plus libres et avec des applications interactives commercialisées pour mesurer leur accessibilité (Caroux *et al.*, 2018).

Remerciements

Les auteurs remercient la Mission de l'interdisciplinarité du CNRS, les partenaires du projet MAN pour leur participation à l'élaboration de la méthodologie et les participants volontaires.

Références

Baccino, T., Bellino, C. et Colombi, T., (2005). Mesure de l'utilisabilité des interfaces. Paris, France : Hermès Lavoisier.

Barcenilla, J. et Bastien, C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ?. Le travail humain, 72(4), 311-331.

Bevan, N., Kirakowski, J. et Maissel, J. (1992, septembre). What is usability. Dans H. J. Bullinger (dir.), Proceedings of the 4th International Conference on Human Computer Interaction, Stuttgart, Elsevier.

Bobillier Chaumon, M. E., Michel, C., Tarpin Bernard, F. et Croisile, B. (2014). Can ICT improve the quality of life of elderly adults living in residential home care units? From actual impacts to hidden artefacts. Behaviour & Information Technology, 33(6), 574-590.

Bonavero, Y., Huchard, M., Meynard, M. (2016, juin). Algorithmes évolutionnaires pour l'adaptation personnalisée de pages Web. Communication présentée à IFRATH : Conférence sur les Aides Techniques pour les Personnes en Situation de Handicap, Paris, France.

Bougeois, E., Duchier, J., Vella, F., Blanc Machado, M., Van Den Bossche, A., Val, T., Vigouroux, N. et Campo, E. (2016, mai). Post-test perceptions of digital tools by the elderly in an ambient environment. Communication présentée à l'International Conference On Smart homes and health Telematics (ICOST), Wuhan, China.

Bougeois, E., Duchier, J., Vella, F. et Vigouroux, N. (2017, juin). L'acceptance des nouvelles technologies par des personnes âgées. Communication présentée à NumAccess. « Entre compensation et accessibilité : quels usages du numérique dans les travaux sur les Handicaps et la perte d'Autonomie ? », Nantes, France.

Brangier, E et Barcellina, J. (2003). Concevoir un produit facile à utiliser. Paris, France : Éditions d'Organisation.

Brangier, É. et Bastien, J. (2010). L'évolution de l'ergonomie des produits informatiques : accessibilité, utilisabilité, émotionnalité et influençabilité. Dans G. Vallery, M.-C. Le Port et M. Zouinar (dir.), Ergonomie, conception de produits et services médiatisés (p. 307-328). Paris, France : Presses universitaires de France.

Brangier, É., Hammes-Adelé, S. et Bastien J. (2010). Analyse critique des approches de l'acceptation des technologies : de l'utilisabilité à la symbiose humain-technologie-organisation. Revue européenne de psychologie appliquée/European Review of Applied Psychology, 60(2), 129-146.

Campo, E., Daran, X. et Redon, L. (2011, janvier). Une maison intelligente au carrefour des sciences technologiques et des sciences humaines. Communication présentée à la 2ème Conférence internationale sur l'accessibilité et les systèmes de suppléance aux personnes en situation de handicap (ASSISTH), Paris, France.

Campo, E., Vigouroux, N. et Pinède, N. (2016). Rapport final Projet MAN. Défi AUTON. Mission pour l'interdisciplinarité du CNRS. Appel 2016.

Caroux, L. et al. (2018). MAN : Mise en place d'une méthode d'évaluation croisée de l'accès aux ressources numériques.

Actes du Congrès Handicap 2018, 10ème édition (p. 211-212). Paris, France.,

Caroux, L., Le Bigot, L. et Vibert, N. (2011, septembre). Influence d'arrière-plans en mouvement sur la performance de recherche visuelle. Communication présentée au 53e congrès de la Société française de Psychologie (SFP), Metz, France.

Carrion-Martinaud, M. et Bobillier-Chaumon, M. (2017). Présence de robots dans les EHPAD. Mieux vivre la séparation familiale. Dialogue, 217(3), 45-56.

Clerc, M., Mattout, J., Maby, E., Devlaminck, D., Papadopoulo, T., Guy, V. et Desnuelle, C. (2013, août). Verbal communication through brain computer interfaces. Communication présentée à Interspeech-14th Annual Conference of the International Speech Communication Association, Lyon, France.

Chevalier, A. et Tricot, A. (2008). Ergonomie des documents électroniques. Paris, France : Presses universitaires de France.

Credoc. (2017). Baromètre du numérique 2017. Repéré à http://www.credoc.fr/pdf/Rapp/R337.pdf

Cooper, A., Reimann, R. et Cronin, D. (2007). About Face 3. The Essentials of Interaction Design. Indianapolis, IN : Wiley Publishing Inc.

Délégation interministérielle aux Personnes handicapées (DIPH). (2006). Définition de l'accessibilité. Une démarche interministérielle. Repéré à https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/GuideAccessibilite_DIPH.pdf

Dupuy, L., Consel, C. et Sauzéon, H. (2016). Self determination-based design to achieve acceptance of assisted living technologies for older adults. Computers in Human Behavior, 65, 508-521.

Folcher, V. et Lompré, N. (2012). Accessibilité pour et dans l'usage : concevoir des situations d'activité adaptées à tous et à chacun. Le travail humain, 75(1), 89-120. doi: 10.3917/th.751.0089

Fondation de France. (2016). Les solitudes en France. Repéré à https://www.fondationdefrance.org/sites/default/files/atoms/files/les_solitudes_en_france_2016_-_synthese.pdf

G3ICT et World Enabled. (2017). Guide to Implementing Priority ICT Accessibility Standards: Critical Technical Specifications to Support Digital Inclusion. Repéré à http://buyict4all.org/ict-accessibility-standard/guide-to-implementing-priority-ict-accessibility-standards-critical-technical-specifications-to-support-digital-inclusion

ISO (2002). ISO/TR 16982. Ergonomie de l'interaction homme-système. Méthodes d'utilisabilité pour la conception centrée sur l'opérateur humain.

ISO (2008). ISO 9241-171. Ergonomie de l'interaction homme-système. Partie 171 : lignes directrices relatives à l'accessibilité aux logiciels.

ISO (2010). ISO 9241-210. Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs.

ISO (2018). Ergonomie de l'interaction homme-système - Partie 11 : Utilisabilité - Définitions et concepts.

Iwarsson, S. et Stahl, A. (2003). Accessibility, usability and universal design-positioning and definition of concepts describing person-environment relationships. Disability and Rehabilitation Journal, 25(2), 57-66.

Jacquier-Bret, J., Gorce, P., Motti Lilian, G. et Vigouroux, N. (2017). Biomechanical analysis of upper limb during the use of touch screen motion strategies identification. Ergonomics, 60(3), 358-365.

Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. Journal of Mixed Methods Research, 1(2), 112-133.

Lallemand, C., Koenig, V., Gronier, G. et Martinc, R. (2015). Création et validation d'une version française du questionnaire AttrakDiff pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des

systèmes interactifs. Revue européenne de psychologie, 65(5), 239-252.

Lespinet-Najib, V., Roche, A. et Chibaudel, Q. (2017). Santé et handicap : d'une conception centrée utilisateur à la conception universelle. Réalités industrielles, Mai, 25-27.

Lespinet-Najib, V., Pinède, N., Belio, C., Demontoux, F. et Liquete, V. (2015). L'accessibilité Web, en 2013, en France : enquête nationale sur les pratiques et les usages des professionnels du Web. Terminal, (116). doi: 10.4000/terminal.649

Lompré, N. (2017). L'accessibilité numérique. Comprendre l'accessibilité numérique. Dans F. Fontaine-Martinelli et L. Maunet (dir.), Accessibilité universelle et inclusion en bibliothèque (p. 93-100). Paris, France : Association des Bibliothécaires de France.

Loureiro, B., Rodriguez, R. (2014). Design Guidelines and Design Recommendations of Multi-Touch Interfaces for Elders. ACHI 2014: The Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, Barcelone, Espagne.

Nielsen, J. (1994). Usability Engineering. San Diego, CA : Morgan Kaufmann/Elsevier.

Nielsen, J. (1995, 1er janvier). Usability Heuristics for User Interface Design. Nielsen Norman Group. Repéré à https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/

Norman, D. A. (1986). Cognitive engineering. Dans D. A. Norman et S. W. Draper (dir.), User centered system design: New perspectives on human computer interaction (p. 31-61). Hillsdale, NJ : Erlbaum.

Norman, D. A. (2013). The design of everyday things: Basic Books (Revised and expanded edition 1988).

Perrin, J. L., Paillé, D. et Baccino, T. (2014). Reading tilted: Does the use of tablets impact performance? An oculometric study. Computers in Human Behavior, 39, 339-345.

Petrie, H. et Kheir, O. (2007). The relationship between accessibility and usability of websites. SIGCHI Conference on

Human Factors in Computing Systems (CHI‘07), New York, NY : ACM Press.

Pluye, P., Nadeau, L., Gagnon, M. P., Grad, R. M., Johnson-Lafleur J. et Griffiths, F. (2009). Les méthodes mixtes. Dans V. Ridde et C. Dagenais (dir.), Approches et pratiques en évaluation de programme (p. 123-141). Montréal, Canada : Presses de l’Université de Montréal.

Rubin, J. et Chisnell, D. (2008). Handbook of usability testing. How to plan, design and conduct effective tests. Indianapolis, CA : Wiley Publishing.

Sehili, M. A., Lecouteux, B., Vacher, M., Portet, F., Istrate, D., Dorizzi, B. et Boudy, J. (2012, novembre). Sound environment analysis in smart home. Communication présentée à l’International Joint Conference on Ambient Intelligence, Berlin/Heidelberg, Allemagne.

Thurston, W. E., Cove, L. et Meadows, L. M. (2008). Methodological congruence in complex and collaborative mixed method studies. Journal of Multiple Research Approaches, 2(1), 2-14.

Van Den Bossche, A., Campo, E., Duchier, J., Bougeois, E., Blanc Machado, M., Val, T., Vella, F. et Vigouroux, N. (2016, juillet). Multidimensional observation methodology for the elderly in an ambient digital environment. Communication présentée lors de l’International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP), Linz, Autriche.

Vella, F., Collignon, A, David, A., Chabbert, V. et Vigouroux, N., (2005). Pour une meilleure utilisabilité des pages web par des handicapés moteurs : modèle de Fitts et méthodes de conception centrée-utilisateur. IHM ‘05 Proceedings of the 17th Conference on l’Interaction Homme-Machine (p. 239-242), Toulouse, France.

Vigouroux N. et Gorce P. (2011). De l’usage des STIC à une plus grande autonomie : des recherches interdisciplinaires. Actes de la conférence ASSISTH 2011 Paris, 17-19 janvier, Paris, France : Banque nationale de France.