



HAL
open science

Recherche & Conception Centrées sur l'Humain pour une Mobilité Inclusive. Parties A & B

Bako Rajaonah

► **To cite this version:**

Bako Rajaonah. Recherche & Conception Centrées sur l'Humain pour une Mobilité Inclusive. Parties A & B. 2022. hal-03710960

HAL Id: hal-03710960

<https://hal.science/hal-03710960>

Preprint submitted on 1 Jul 2022

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.

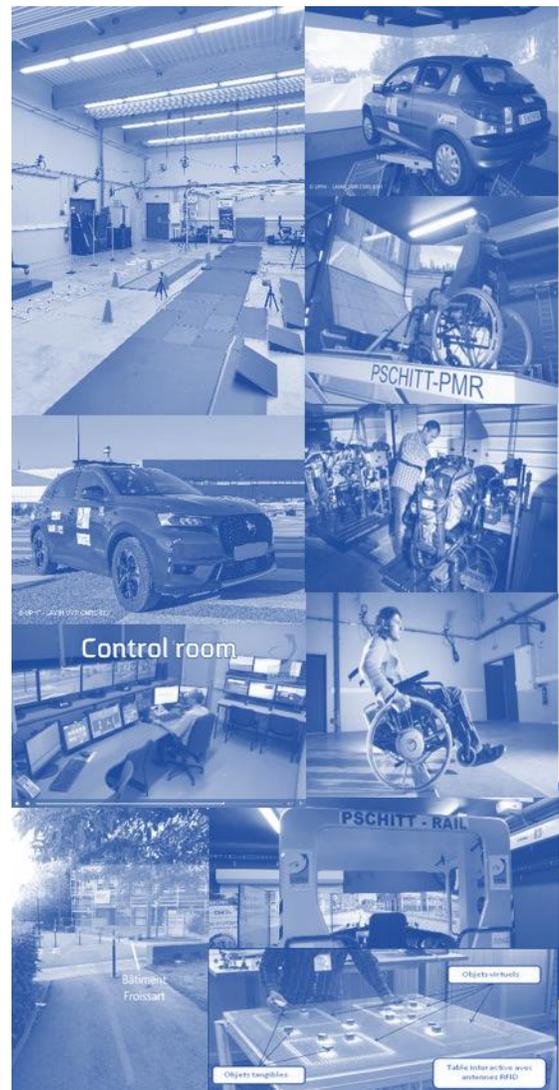
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Recherche & Conception Centrées sur l'Humain pour une Mobilité Inclusive

Document produit
par Dr Bako
Rajaonah

Sous la direction de
Prof. Emilie Simoneau

Département SHV
Sciences de l'Humain et du Vivant
LAMIH, UMR CNRS 8201, UPHF



Plan

INTRODUCTION GENERALE

TABLE DES MATIERES DES PARTIES A ET B

RECHERCHE & CONCEPTION CENTREES SUR L'HUMAIN POUR UNE MOBILITE INCLUSIVE. PARTIE A - PLATEFORMES, TECHNOLOGIES ET PROJETS (juin 2022)

A.1 Les plateformes et simulateurs au LAMIH

A.1.1 Quelques définitions

A.1.2 Exemples de simulateurs au LAMIH

A.2 Les technologies dédiées à la mobilité et au maintien de la mobilité

A.2.1 Quelques définitions

A.2.2 Les technologies

A.3 Réalités virtuelle, augmentée et mixte

A.3.1 Quelques définitions

A.3.2 Les interfaces comportementales

A.3.3 Quelques applications au LAMIH

A.4 Tables interactives

RECHERCHE & CONCEPTION CENTREES SUR L'HUMAIN POUR UNE MOBILITE INCLUSIVE. PARTIE B - APPROCHES DE RECHERCHE & CONCEPTION CENTREES SUR L'HUMAIN (juin 2022)

B.1 Généralités

B.1.1 Concepts

B.1.2 Principes généraux

B.2 Approche centrée sur les facteurs humains

B.2.1 Définitions

B.2.2 Facteurs humains couramment considérés

B.3 Approche de conception centrée sur les utilisateurs

B.3.1 Définitions

B.3.2 Les variables dans l'approche centrée utilisateurs

TABLE DES MATIERES DES PARTIES C ET D

RECHERCHE & CONCEPTION CENTREES SUR L'HUMAIN POUR UNE MOBILITE INCLUSIVE. PARTIE C - METHODES & TECHNIQUES (juin 2023)

C.1 Ethiques

C.1.1 Ethique de la recherche et du chercheur

C.1.2 La procédure à suivre dans la recherche impliquant la personne humaine (RIPH)

C.1.3. La propriété intellectuelle

C.2 Démarche Scientifique

C.2.1 Hypothèses et exploration

C.2.2 Recherche qualitative

C.2.3 Recherche quantitative

C.3. Méthodes et designs de recherche

C.3.1 Méthodes de recueil de données

C.3.2 Les designs de recherche

C.3.3 Plan de gestion des données

RECHERCHE & CONCEPTION CENTREES SUR L'HUMAIN POUR UNE MOBILITE INCLUSIVE. PARTIE D - RESTITUTION DES RESULTATS DE RECHERCHE (juin 2023)

D.1 Diffusion et valorisation des résultats de recherche

D.2 Ressources pour l'écriture

CONCLUSION

Introduction générale

Ce document est destiné aux futur-e-s candidat-e-s à la recherche de l'Université Polytechnique Hauts-de-France (UPHF)¹ – qu'ils-elles soient de l'Institut Sociétés et Humanités, de l'INSA Hauts-de-France, des écoles d'art de Valenciennes et de Cambrai ou encore de l'IUT –, aux doctorant-e-s du LAMIH (Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique industrielle et Humaines)², à ceux-elles qui souhaitent appliquer une démarche centrée sur l'humain (*human-centric* ou *human-centred*) à leurs travaux de recherche et/ou de conception.

Cette démarche est plus que jamais essentielle à l'ère de l'Industrie 5.0. En effet, l'industrie industrielle 4.0 a été focalisée sur la digitalisation de l'industrie afin d'accroître l'efficacité et la flexibilité de la production ; mais les institutions stratégiques entendent maintenant que l'Industrie 5.0 centre la production de biens et de services sur l'humain – incluant le travailleur/opérateur interagissant avec une machine ou un robot industriel – et la société, avec une attention particulière à la soutenabilité et à la résilience^{3,4}.



Figure 1 Selon l'Union Européenne, les trois piliers de l'Industrie 5.0 pour mieux servir la société. Source: European Commission, 2021, *Industry 5.0* (p. 13). <https://doi.org/10.2777/308407>

Concrètement, il s'agit pour les étudiant-e-s d'aujourd'hui qui seront les innovateurs et innovatrices de demain de commencer à imaginer les recherches à mener et les technologies à inventer en visant le bien-être (*welfare*) des individus, de la société, de la planète, dans les futurs proche et lointain⁵.

¹ Université Polytechnique Hauts-de-France : <https://www.uphf.fr/> (lien vérifié le 20/06/2022)

² LAMIH UMR CNRS 8201, Université Polytechnique Hauts-de-France : <https://www.uphf.fr/lamih> (lien vérifié le 20/06/2022)

³ European Commission (2021). *Industry 5.0. Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*.

Luxembourg : Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/308407> (lien vérifié le 17/05/2022)

⁴ Pour ces concepts de soutenabilité et de résilience, voir le rapport long du groupe de travail MakeSEnS d'Inria, Berthoud et al. : <https://hal.inria.fr/hal-02340948/> (lien vérifié le 19/05/2022)

⁵ Cette idée n'est pas nouvelle, elle a été par exemple suggérée par Hans Jonas (1974). Technologie et responsabilité. Pour une nouvelle éthique. *Esprit*, 438 (9), 163-184. <https://www.jstor.org/stable/24262949>

Le présent document a principalement pour objectif d'initier les étudiant-e-s à la démarche centrée sur l'humain en recherche & conception, à travers deux approches, à savoir l'approche centrée sur les facteurs humains et l'approche centrée utilisateurs. Si les thèmes de la mobilité et du handicap sont souvent évoqués car ils font l'objet de nombreux travaux au LAMIH, les approches décrites s'appliquent bien entendu à d'autres domaines.



Figure 2 LAMIH CISIT. Source : Google Maps, accédé le 07/12/2021

Le LAMIH² est une unité mixte de recherche entre l'UPHF et le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Le laboratoire – labellisé CARNOT ARTS⁶ – est structuré en quatre départements (*Automatique, Mécanique, Informatique et SHV*) et un axe transversal, *Mobilité Humaine et Handicap* (MH2).

Tous sont fortement engagés dans les domaines du transport et de la mobilité. Il s'agit d'une mobilité inclusive dans la mesure où les utilisateurs finaux des systèmes technologiques étudiés ou conçus incluent des populations diversifiées telles que les personnes handicapées, les conducteurs de train/tram, les personnes âgées, les jeunes adultes, les sportifs et sportives, les

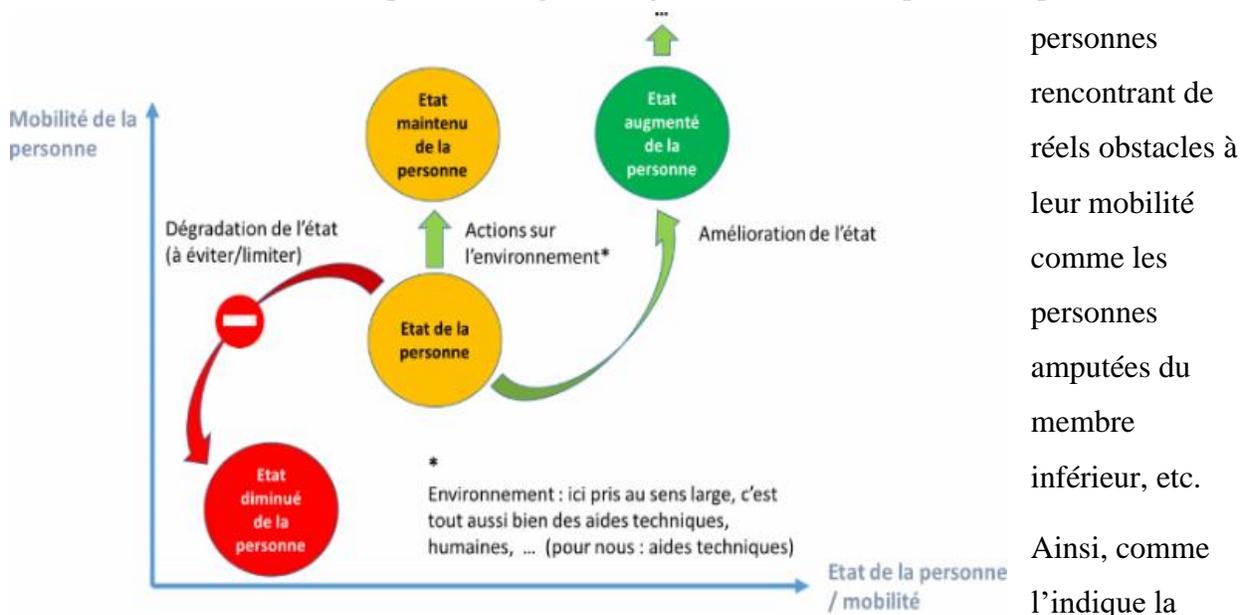


Figure 3 Illustration des objectifs de l'Axe Mobilité humaine et handicap

⁶ <https://www.instituts-carnot.eu/fr/institut-carnot/arts> (lien vérifié le 17/05/2022)

Figure 3, l'axe MH2⁷ a pour objectifs de limiter la dégradation de la personne vis-à-vis de la mobilité, rendre son environnement plus favorable à sa mobilité et lui proposer des aides techniques adaptées à son état et, enfin, améliorer l'état de la personne concernant ses capacités de mobilité. Une attention particulière est portée à la chute de la personne âgée, tous les travaux du laboratoire sur ce thème s'inscrivent dans l'axe MH2 et sont soutenus par PRIMOH le pôle de recherche et d'innovation en mobilité et handicap de la Région Hauts-de-France⁸.

Quant au département Science de l'Humain et du Vivant⁹ (SHV), il est mobilisé autour du double challenge scientifique et sociétal de favoriser le maintien et l'amélioration de la mobilité – « facteur essentiel de bien-être et d'insertion sociale » – en s'appuyant sur trois axes de recherches : la conception et la validation de dispositifs biomécaniques innovants ; la détermination de marqueurs de la dégradation précoce de la mobilité ainsi que la compréhension des mécanismes sous-jacents ; le transfert des connaissances et compétences vers des applications cliniques ou de terrain. On peut noter la diversité des populations ciblées par les objets de recherche en haut à gauche de la Figure 4 illustrant l'approche méthodologique de SHV.

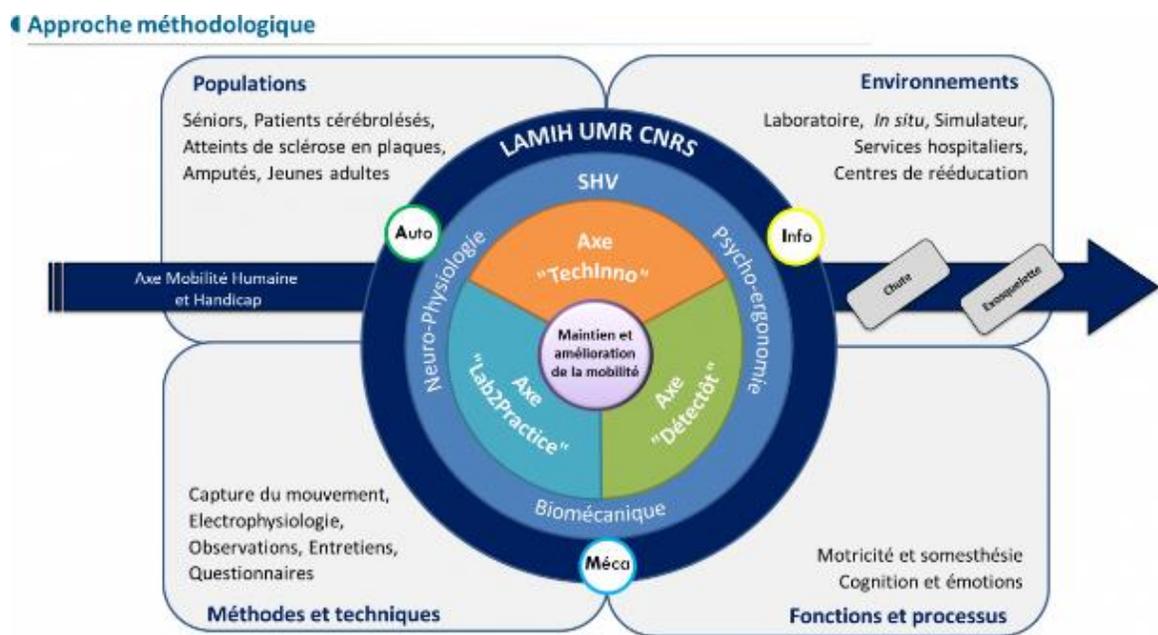


Figure 4 L'approche méthodologique du département SHV. Source : <http://www.uphf.fr/LAMIH/fr/themes-de-recherche-shv> (lien vérifié le 03/05/2022)

⁷ MH2 : <https://www.uphf.fr/lamih/presentation/axe-mh2/presentation> (lien vérifié le 20/06/2022)

⁸ www.primoh.fr (id.)

⁹ <https://www.uphf.fr/lamih/departements/sciences-lhomme-vivant-shv> (id.)

Les thèmes de la mobilité et du handicap concernent également le département Informatique¹⁰ avec la création d'applications dédiées à la mobilité et à des systèmes d'aide personnalisée à la personne handicapée, et le département Automatique¹¹ avec ses travaux sur la conduite automatisée, sur le fauteuil roulant et sur la chute de la personne âgée. Il est à souligner que **les quatre départements du LAMIH contribuent aux travaux sur la chute.**

Ces multiples exemples illustrent l'implication du LAMIH dans la recherche et la conception sur la mobilité inclusive. Cette stratégie de bien-être pour tous est aussi bien entendu partagée par l'UPHF, **université durable et inclusive**¹², dans la mesure où la mobilité ainsi que l'ingénierie pour la santé, le handicap et la *silver* autonomie sont parmi ses axes identitaires. Rappelons que la santé et le bien-être pour tous sont un des 17

objectifs de développement durable des Nations Unies (objectif 3), tandis que les villes et communautés durables incluant les transports sûrs, accessibles et viables constituent l'objectif

11. L'UPHF – porteuse avec l'Association Technopôle du Valenciennois de l'Institut des Mobilités et des Transports Durables (IMTD)¹³

– est la grande alliée du technopôle des mobilités innovantes et durables Transalley¹⁴, lequel fédère entreprises, chercheurs et pouvoirs publics et abrite la piste Gyrovia d'expérimentation et de démonstration (Figure 5). La piste – instrumentée et équipée, entre autres, de parcours pour les fauteuils roulants – est ouverte aux démonstrateurs du LAMIH. Le laboratoire fait ainsi partie d'un « écosystème » articulé autour de la mobilité, par ailleurs, membre de la Fédération de Recherche du CNRS 'Transports Terrestres & Mobilité' (FR 3733)¹⁵ ; nombre de ses plateformes et équipements sont dédiés à la recherche et la conception autour de la mobilité.



Figure 5 Piste Gyrovia. Source : <https://www.transalley.com/transalley/presentation/gyrovia> (lien vérifié le 03/05/2022)

¹⁰ <https://www.uphf.fr/lamih/departements/informatique-0> (lien vérifié le 20/06/2022)

¹¹ <https://www.uphf.fr/lamih/departements/automatique> (id.)

¹² <https://www.uphf.fr/universite/decouvrir-luniversite/universite-durable-inclusive> (id.)

¹³ <https://imtd.fr/le-concept/> (lien vérifié le 03/05/2022)

¹⁴ <http://www.transalley.com/transalley/presentation/technopole-transalley> (id.)

¹⁵ www.frttm.fr/ (id.)



Ce document est organisé en quatre grandes parties. La première partie A décrit les équipements du LAMIH qui sont ou peuvent être des instruments ou des objets de recherche et/ou de conception sur la mobilité et le handicap : le chapitre A.1 sur les plateformes et simulateurs ; le chapitre A.2 sur des technologies conçues pour la mobilité ou le maintien de la mobilité ; les derniers chapitres sur les tables interactives et sur la technologie de réalité virtuelle indispensable aux simulateurs.

La partie B est consacrée à deux approches centrées sur l'humain : après des généralités et la définition de concepts (§ B.1), le chapitre B.2 décrit l'approche centrée sur les facteurs humains et le chapitre B.3 l'approche centrée sur les utilisateurs. Le chapitre B.2 comprend un tableau des facteurs humains usuellement étudiés, le chapitre B.3 un tableau des variables usuelles des évaluations dans l'approche centrée utilisateurs. Ces deux tableaux s'appliquent aux travaux sur la mobilité et le handicap, mais pas seulement.

Les parties C et D initient les étudiant-e-s à la recherche. Le chapitre C.1 sur les éthiques débute par l'introduction à l'éthique de la recherche et du chercheur, explique la procédure à suivre pour les recherches impliquant la personne humaine, puis décrit les différentes facettes de la propriété intellectuelle. Le chapitre C.2 explique la démarche scientifique, décrit la recherche qualitative, puis la recherche quantitative. Le chapitre C.3 décrit les méthodes et techniques de recueil de données des approches centrées sur l'humain et explique le plan de gestion des données. La partie D est consacrée à la restitution des résultats de recherche : la diffusion et la valorisation des résultats (§ D1) et la rédaction (§ D.2).

Remerciements

Un grand merci pour leurs précisions à Thierry Poulain, Philippe Simon, Gérald Conreur, Christophe Gillet, Frédéric Vanderhaegen, Sylvain Crémoux, Jimmy Lauber, Philippe Pudlo, Thierry-Marie Guerra, Christophe Kolski, Frédéric Robache, Sondès Chaabane, Mathias Blandeau, Rémy Hubaut, Damien Trentesaux, Valentin Ruiz, Jérôme Floris, René Mandiau, Yohan Guérier, Kathia Marcia de Oliveira, Sébastien Paganelli, Laura Wallard, Adriel Ngo, Katia Florek

Table des Matières des Parties A et B

Recherche & Conception Centrées sur l’Humain pour la Mobilité Inclusive. Partie A – Plateformes, Technologies et Projets	7
A.1 Les plateformes et simulateurs	9
A.1.1 Définitions	9
A.1.2 Exemples de simulateurs du LAMIH	9
A.1.2.a Simulateur de trafic aérien	9
A.1.2.b Plateforme PSCHITT	10
A.1.2.b.i PSCHITT-Colibri	11
A.1.2.b.ii PSCHITT-PMR	12
A.1.2.b.iii PSCHITT-RAIL	14
A.1.2.b.iv PSCHITT-Pedestrian	15
A.1.2.c Plateforme d’analyse de la motricité humaine	16
A.1.2.d MissRail® et InnoRail	17
A.1.2.e Simulateur SHERPA	18
A.1.2.f DS7 Démonstrateur de Véhicule Automatisé Coopérant	21
A.1.2.g Plateforme ITM	22
A.1.2.h Simulateur de rue pour piétons (SRP)	23
A.2 Les technologies dédiées à la mobilité et au maintien de la mobilité	25
A.2.1 Quelques définitions	25
Dispositifs médicaux	25
Robotique de services	27
Robotique de transport	28
A.2.2 Les technologies	30
A.2.2.a Personnalisation de l’aide aux personnes à mobilité réduite en fauteuil roulant	30
A.2.2.b MotoBOTTE	31
A.2.2.c Prothèse du membre inférieur	32
A.2.2.d Exosquelette	34
A.2.2.e Bras robotisé pour fauteuil roulant motorisé	34
A.2.2.f Système embarqué pour la personnalisation du risque de chute	35
A.2.2.g Outil d’aide à la mobilité pour les jeunes personnes en situation de handicap de l’agglomération de Valenciennes	36
A.2.2.h Système d’aide à la mobilité pour les personnes présentant une déficience intellectuelle	37
A.2.2.i Application dédiée à la mobilité des personnes âgées	37
A.3 Tables interactives	39
A.4 Réalité virtuelle, réalité augmentée et réalité mixte	40
A.4.1 Quelques définitions	40
A.4.1.a Réalité virtuelle	40
A.4.1.b Réalité augmentée et réalité mixte	41
A.4.2 Les interfaces comportementales	43
Recherche & Conception Centrées sur l’Humain pour la Mobilité Inclusive. Partie B - Approches de Recherche & Conception Centrées sur l’Humain	46
B.1 Introduction	46
B.2 Approche centrée facteurs humains	51
B.2.1 Définitions	51
B.2.2 Exemples de facteurs humains	52
B.3 Approche de conception centrée utilisateurs	64
B.3.1 Définitions	64
B.3.2 Les variables dans l’approche de conception centrée utilisateurs	67

Recherche & Conception Centrées sur l'Humain pour la Mobilité Inclusive. Partie A – Plateformes, Technologies et Projets



Figure 6 Source: <https://www.univ-valenciennes.fr/LAMIH/fr/plateforme-danalyse-de-la-motricite-humaine> (lien vérifié 03/05/2022)

La partie A est consacrée à la technologie : les simulateurs ; les dispositifs médicaux robotiques ; les technologies dédiées à la recherche & conception sur la mobilité mais qui ne sont pas des dispositifs médicaux au sens juridique du terme ; la réalité virtuelle et la réalité augmentée sous-tendant l'utilisation des simulateurs et des applications dédiées à la mobilité. La partie A est assez détaillée car le présent document est avant tout destiné aux étudiant-e-s de l'UPHF, il importe donc qu'il soit attractif et fasse germer en eux des idées de recherche et/ou conception axées sur la mobilité et le handicap reposant sur les équipements disponibles au LAMIH.

→ Il est important de signaler que ce qui est présenté ici ne constitue qu'une partie des plateformes et équipements utilisés au LAMIH ; plus précisément, ne sont mentionnés ici que ce qui fait l'objet de recherche ou de conception adoptant une approche centrée sur l'humain (centrée facteurs humains ou centrée utilisateurs).

La Figure 7 situe le travail dans le contexte de la recherche sur la mobilité au LAMIH, il part des structures physiques que sont les plateformes et équipements – parfois de grande échelle comme la plateforme PSCHITT-RAIL – pour aboutir à des évaluations incluant des infra-dimensions cognitives et émotionnelles des approches centrées sur l'humain (partie B).

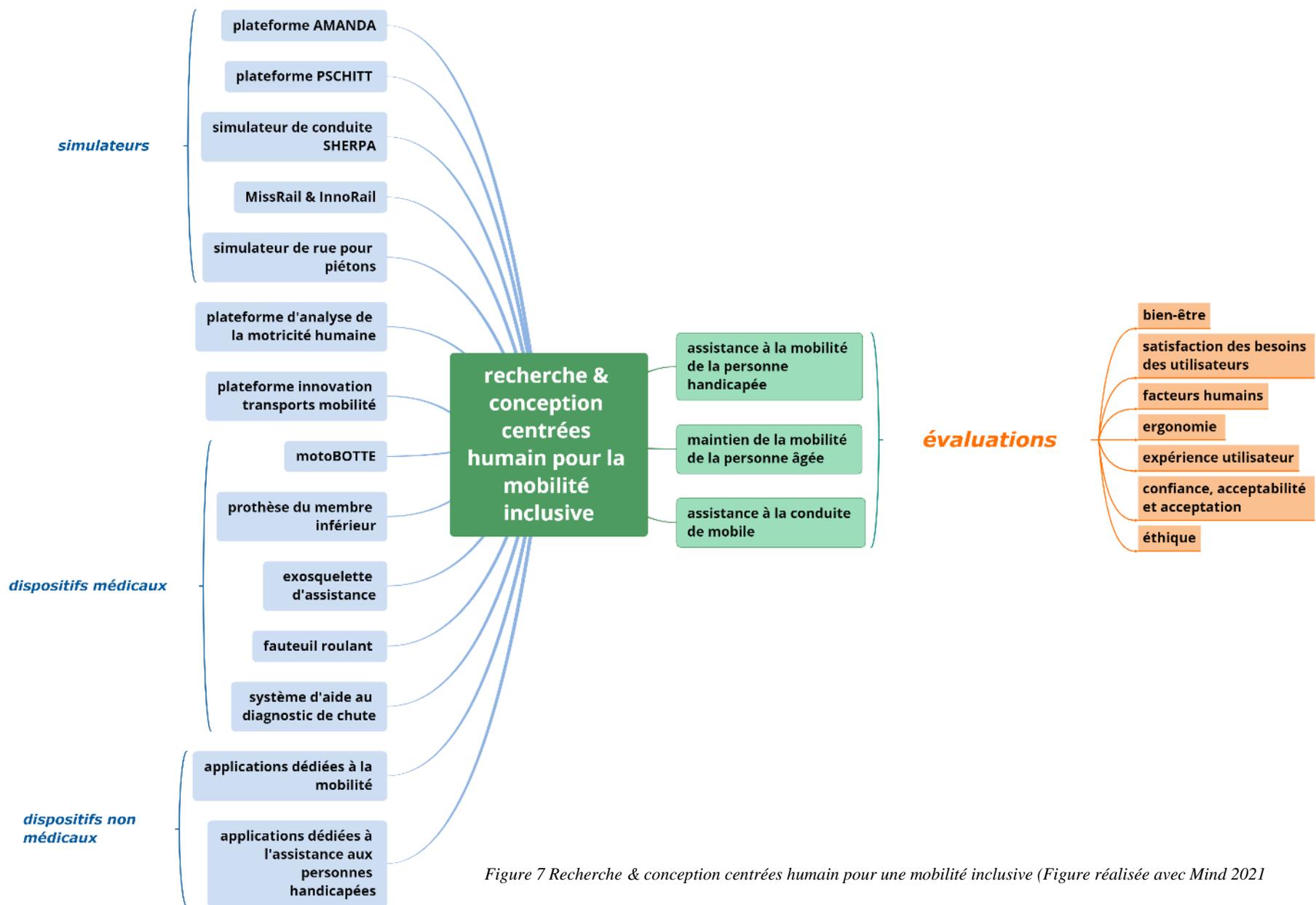


Figure 7 Recherche & conception centrées humain pour une mobilité inclusive (Figure réalisée avec Mind 2021)

A.1 Les plateformes et simulateurs

A.1.1 Définitions

La recherche sur les activités humaines s'appuie souvent sur l'utilisation de simulateur, c'est-à-dire d'un appareil ou système qui génère/reproduit une imitation d'un environnement opérationnel ou d'un processus réel sur une période de temps^{16, p. 510}. Les simulateurs permettent d'étudier expérimentalement le comportement de l'humain dans des situations contrôlées à dynamique temps réel mais complètement contrôlées et sans danger pour les « sujets » humains (e.g., § A.1.2.b *Plateforme PSCHITT*). Ils peuvent aussi être utilisés à des fins de formation (e.g., § A.1.2.a *Simulateur de trafic aérien* et § A.1.2.c *MissRail et InnoRail*), d'évaluation de la conception d'un système ou de test/validation d'un prototype (e.g., § A.1.2.d *Simulateur SHERPA*).

A.1.2 Exemples de simulateurs du LAMIH

Les simulateurs sont abondamment utilisés dans la recherche au LAMIH, souvent dans le cadre la conception de nouveaux systèmes d'assistance (par ex. aides à la conduite automobile) mais aussi en recherche fondamentale (par ex. pour comprendre, modéliser un processus biomécanique ou cognitif). Les descriptions des simulateurs incluent les projets associés et quelques publications. Ce document concernant principalement le transport et la mobilité, ne seront cités que des projets s'y référant.

A.1.2.a Simulateur de trafic aérien

La plateforme dite « AMANDA » (Figure 8) a été au cœur de nombreux projets autres que le projet **AMANDA** (Automation & MAN-machine Delegation of Action) et sa forme actuelle est le fruit de développements successifs par le professeur Serge Debernard, l'ingénieur automatique Thierry Poulain ainsi que les doctorants. Il est à noter que ce simulateur est encore utilisé en tant que moyen pédagogique à l'INSA Hauts-de-France.

¹⁶ Roberts A.P.J, Stanton N.A., Plant K.L., Fay D.T., Pope K.A. (2020). You say it is physical, I say it is functional; let us call the whole thing off! Simulation: an application divided by lack of common language. *Theoretical Issues in Ergonomics*. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2019.1683913>

Le projet AMANDA a été décliné en trois versions, toutes ayant fait l'objet de conventions entre LAMIH et le Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne (CENA devenu DTI-SDER depuis). Les outils d'aide étudiés étaient destinés aux contrôleurs aériens en France – pour une explication détaillée de leurs activités, voir la communication de David Annebicque au cours de son doctorat¹⁷. Les outils d'aide ont été conçus dans le but d'**assister le contrôleur aérien**



Figure 8 Simulateur AMANDA. Source : © François JANNIN/CNRS Photothèque, https://images.cnrs.fr/photo/20060001_1032 (lien vérifié le 03/05/2022)

au niveau décisionnel : résolution de conflit, délégation de tâche, assistance à la coopération sous la forme d'un espace de travail commun, etc.

- Frédéric Vanderhaegen, Igor Crevits, Serge Debernard, Patrick Millot (1994). Human-machine cooperation: Toward an activity regulation assistance for different air traffic control levels. *International Journal of Human-Computer Interaction*. <https://doi.org/10.1080/10447319409526084>
- Marie-Pierre Pacaux-Lemoine, Serge Debernard (2002). A common work space to support the air traffic control. *Control Engineering Practice*. [https://doi.org/10.1016/S0967-0661\(01\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0967-0661(01)00060-0)
- Serge Debernard, Benoît Guiost, Thierry Poulain, Igor Crévits, David Annebicque, Patrick Millot (2009). Integrating human factors in the design of intelligent systems: An example in air traffic control. *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*. <https://doi.org/10.1504/IJISTA.2009.026088>

A.1.2.b Plateforme PSCHITT

Cofinancée par l'Union Européenne avec le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER), par l'État et la Région Hauts-de-France, la Plateforme de Simulation Collaborative, Hybride, Intermodale en Transport Terrestres PSCHITT est un support expérimental pour les recherches menées dans le cadre du transport et de la mobilité¹⁸ (Figure 9).

¹⁷ David Annebicque, Igor Crevits, Debernard Serge, Benoît Guiost, Patrick Millot. Application d'une méthodologie d'aide à la décision multicritère dans le cadre du contrôle du trafic aérien, coopération sur plusieurs secteurs. Journées Doctorales Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes Dynamiques (JDMACS 2007), juillet 2007, Reims, France, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02112928>

¹⁸ <https://www.uphf.fr/lamih/plateformes/plateformes/pschitt> (lien vérifié le 20/06/2022)



Figure 9 Plateforme PSCHITT. Source : <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/PSCHITT> (lien vérifié le 20/06/2022)

Multimodale, cette plateforme composée d'un hexapode mobile Rexroth permet, grâce à un système de cabines interchangeables, de simuler différents modes de transport. Les ingénieurs automaticiens Thierry Poulain et Gérald Conreur sont les co-responsables techniques de la plateforme PSCHITT, ils en assurent la conception et l'exploitation, à savoir qu'ils assurent la mise en œuvre des moyens d'essai, la planification et la réalisation des évolutions techniques de la plateforme ainsi que la

gestion du calendrier des projets ; ils participent également aux projets de recherche.

A.1.2.b.i PSCHITT-Colibri

PSCHITT-Colibri (Figure 10) a été développé dans le cadre du projet **SIEGES-COLIBRI** (2014-2018, 3.041€) financé par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) et Zodiac Aerospace (Safran Seats). L'objectif de SIEGES-COLIBRI était de développer les sièges passagers du futur répondant à de nouvelles attentes dimensionnelles et fonctionnelles.



Figure 10 PSCHITT-Colibri. Source : https://www.uphf.fr/LAMIH/sites/fr.LAMIH/files/pdf/General/lamih_news_-_decembre_2020_web.pdf (lien vérifié le 03/05/2022)

Les compétences du LAMIH en matière d'automatique, de mathématique, de biomécanique et d'ergonomie ont permis de

développer le simulateur et d'**étudier la stabilité en siège d'avion des personnes à mobilité réduite**.

La plateforme PSCHITT a été équipée pour le projet de deux rangées de sièges d'avion, d'un système de capture de mouvement et de capteurs de mesures physiologiques ; la dynamique du mouvement a été restituée lors de la simulation des phases de vol et d'atterrissage^{19,20}. Une démonstration vidéo de PSCHITT-Colibri est disponible²¹.

¹⁹ <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/Colibri> (lien vérifié le 03/05/2022)

²⁰ <https://www.ic-arts.eu/sieges-colibri-les-sieges-passagers-du-futur/> (id.)

²¹ https://www.uphf.fr/LAMIH/sites/fr.LAMIH/files/video_colibri_1080p_aac.mp4 (id.)

- Victoria Spartacus, Christophe Gillet, Sébastien Paganelli, Dany Gagnon, Philippe Pudlo (2018). Influences of aircraft seat adaptations on wheelchair user perceptions when transferring into and out of the seat: A pilot study. *Modelling, Measurement and Control C*. https://doi.org/10.18280/mmc_c.790411
- Victoria Spartacus, Mathias Blandeau, Ciska Molenaar, François Gabrielli, Dany Gagnon, Philippe Pudlo (2019). On-board lived experience of manual wheelchair users: Aircraft seat satisfaction level and potential solutions to improve comfort and accessibility. *International Journal for Studies on Children, Women, Elderly and Disabled People*. https://www.ijcwed.com/wp-content/uploads/2019/05/PiCCWED7_204-New.pdf

A.1.2.b.ii PSCHITT-PMR

PSCHITT-PMR (Figure 11) est un support d'étude et d'amélioration de la mobilité et de la sécurité des personnes à mobilité réduite (PMR) ; la plateforme permet de réaliser des études expérimentales sophistiquées avec cette population, avec un retour haptique accordé au contexte (déplacement, pente, montée, dévers) et un calcul en temps réel des caractéristiques cinématiques du fauteuil. Elle est équipée d'un banc à rouleaux pour fauteuil roulant et de six écrans assurant une vue à 180° en horizontal et 60° en vertical²². PSCHITT-PMR a fait l'objet de deux projets à ce jour : QBA-FRM et CapaCITIES.



Figure 11 PSCHITT-PMR. Source : <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/PSCHITT-PMR> (lien vérifié le 03/05/2022)

◆ Le projet **QBA-FRM** (Quantification Biomécanique de la locomotion pour l'Accessibilité aux utilisateurs de Fauteuil Roulant Manuel) – principalement financé par CARNOTS-ARTS et par ELSAT2020 (Union Européenne avec le Fonds européen de développement régional, l'Etat et la Région Hauts de France) et dans une collaboration avec l'Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak – avait pour but de construire un indice de coût biomécanique et de le quantifier dans diverses situations environnementales et pour divers profils de personnes PMR. L'utilisation de PSCHITT-PMR permet de mesurer au niveau de l'épaule et du rachis des paramètres telles que la cinématique articulaire des personnes à mobilité réduite lorsqu'elles manient leur fauteuil, les tensions musculaires, les contraintes articulaires, etc.²³ L'objectif *in fine* sera de pouvoir **réduire**

²² <https://www.uphf.fr/lamih/plateformes/plateformes/pschitt-pmr> (lien vérifié le 20/06/2022)

²³ <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/quantification-biomecanique-de-la-locomotion-pour-laccessibilite-aux-utilisateurs-de-fauteuil> (id.)

les problèmes d'accessibilité des personnes se déplaçant en fauteuil roulant manuel, également de réduire les troubles musculo-squelettiques dont elles souffrent en raison des efforts qu'elles doivent fournir dans les endroits difficiles d'accès pour leur fauteuil.

◆ Le projet ANR **CapaCITIES**²⁴ (Quantifier le coût biomécanique des déplacements urbains en fauteuil roulant pour l'accessibilité des villes de demain) est une suite du travail réalisé dans QBA-FRM, les objectifs sont donc en partie les mêmes, le but ultime étant de **proposer des chemins personnalisés au meilleur coût à l'usager du fauteuil roulant manuel** (Figure 12). Le projet implique aussi l'Institution Nationale des Invalides/Centre d'Etude et de Recherche sur l'Appareillage des Handicapés (coordinateur), l'Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak, l'Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires et l'INI/CERAH Institution Nationale des Invalides / Centre d'Etudes et de Recherche sur l'Appareillage des Handicapés.

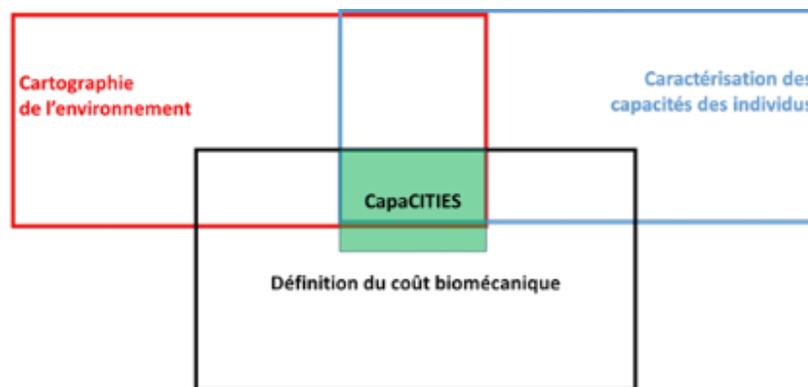


Figure 12 Le projet ANR CapaCITIES. Source : <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/quantifier-le-cout-biomecanique-des-deplacements-urbains-en-fauteuil-roulant-pour-laccessibilite-des> (lien vérifié le 03/05/2022)

- Ouazna Oukacha, Chouki Sentouh, Philippe Pudlo (2020). Minimizing the user's effort during wheelchair propulsion using an optimal control problem. In: *Proceedings of the 17th International Conference on Informatics in Control Automation and Robotics ICINCO 2020*. <https://www.insticc.org/node/TechnicalProgram/icinco/2020>
- Toufik Bentaleb, Viet Thuan Nguyen, Chouki Sentouh, Gérald Conreur, Thierry Poulain, Philippe Pudlo (2020). A real-time multi-objective predictive control strategy for wheelchair ergometer platform. In: *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, <https://doi-org.ezproxy.uphf.fr/10.1109/SMC.2019.8914220>

²⁴ <https://anr.fr/Projet-ANR-19-CE19-0007> (lien vérifié le 03/05/2022)

A.1.2.b.iii PSCHITT-RAIL



Figure 13 PSCHITT-Rail. Source : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01854846> (lien vérifié le 03/05/2022)

PSCHITT-Rail²⁵ (Figure 13) permet les études expérimentales sur la conduite de tram et de train. L'équipement est constitué d'une cabine intégrant cinq écrans assurant une vue à 225° de caméras, un système audio 6.1 et la suite logicielle de simulation de conduite ferroviaire OKSimRail (OKTAL) produisant une parfaite immersion sonore et visuelle dans un

environnement intégrant de véritables composants de train/tram comme le pupitre Citadis Dialis Alstom (Figure 14). Vidéo : https://youtu.be/JZ8z2riP7TA?list=PL0_LcVVv_aN3GoOpcQEAELLRj-vdPHODs (lien vérifié le 03/05/2022)



Figure 14 Pupitre de PSCHITT-RAIL

◆ Le projet **ECOVIGIDRIV** (ECONomic & VIGILant rail DRIVing - Conduite ferroviaire économique et vigilante, 2013-2017, 3.800k€) – en partenariat avec ALSTOM St Ouen, l'Institut de Recherche Technologique Railenium et les sociétés HAPTION et SAVIMEX, principalement financé par le fonds unique interministériel (FUI) – a été le premier à bénéficier de la plateforme; le but était d'étudier de nouveaux modes d'interaction humain-machine facilitant la perception de l'opérateur de son environnement et de son propre état attentionnel et permettant de minimiser les

²⁵ <https://www.uphf.fr/lamih/plateformes/plateformes/pschitt-rail> (lien vérifié le 20/06/2022)

ressources cognitives²⁶. Les expérimentations ont impliqué des conducteurs réels, sans danger aucun pour eux. Vidéo : https://www.youtube.com/watch?v=_9BjV6P13kI (lien vérifié le 03/05/2022).

- Salvatore La Delfa, Simon Enjalbert, Philippe Polet, Frédéric Vanderhaegen (2016). Eco-driving command for tram-driver system. *IFAC PapersOnLine*. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.616>
- Denis Miglianico, Luc Moyart, Mathieu Mouchel (2018). From Task Analysis to Innovation. In: Neville A. Stanton (ed), *Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Human Factors in Transportation. Advances in Intelligent Systems and Computing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_99

◆ Le lot de travail WP08 **Cyber Security** – du projet X2rail-1 du programme **Shift2Rail** (Horizon 2020, Grant Agreement No: 730640), précisément dans le Programme Innovation 2 (IP2) dont le challenge porte sur les systèmes avancés de gestion et de contrôle du trafic ferroviaire – avait pour objectif d’atteindre le niveau optimal de protection contre toute menace significative pour les systèmes de signalisation et de télécommunication de la manière la plus économique possible. Un des partenaires de IP2 est Railenium²⁷ ; le LAMIH et rHesus-Consulting ont apporté leur expertise des facteurs humains.

- Patrick Millot, Mathieu Mouchel, Christopher Paglia (2018). The human operator as the ultimate barrier to cyberattacks. In: *Proceedings of the 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*, May 2018, St Petersburg, Russia. <https://doi.org/10.1109/ICPHYS.2018.8390774>

A.1.2.b.iv PSCHITT-Pedestrian

L’analyse de la marche et du mouvement en général est à la base de nombreux travaux des membres du département SHV – biomécaniciens pour la plupart, elle est une des « spécialités » du laboratoire. L’objectif de l’analyse est de **caractériser et évaluer la locomotion**, éventuellement la comparer à un modèle de marche. PSCHITT-Pedestrian (Figure 15) qui

²⁶ <http://www.univ-valenciennes.fr/LAMIH/fr/conduite-ferroviaire-economique-et-vigilante> (lien vérifié le 03/05/2022)

²⁷ https://projects.shift2rail.org/s2r_ip2_n.aspx?p=X2RAIL-1 (id.)

complète depuis 2021 la plateforme PSCHITT vient enrichir les structures d'analyse de la marche du LAMIH.

Il s'agit d'un tapis roulant instrumenté double-bande permettant une analyse de la locomotion grâce à 4 plateformes de force par bande, les capteurs de force étant placés uniformément sous l'ensemble moteur-rouleaux-tapis. À l'instar de PSCHITT-PMR, PSCHITT-Colibri et PSCHITT-RAIL, le tapis sera enchâssé dans une cabine afin de pouvoir étudier la marche (ou la course) en montée et en descente après l'installation de la cabine sur l'hexapode de PSCHITT (voir PSCHITT-Colibri, Figure 10). Mais PSCHITT-Pedestrian est aussi utilisable en mode statique, avec ou sans casque de réalité virtuelle.



Figure 15 Tapis de marche Treadmetrix® de PSCHITT-Pedestrian

- Marie Seeman, Laura Wallard, Valentin Ruiz, Christophe Gillet, Sébastien Leteneur, Emilie Simoneau (2022). Is treadmill walking biomechanically comparable to overground walking? A systematic review. *Gait & Posture*. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.11.009>

A.1.2.c Plateforme d'analyse de la motricité humaine

Les techniques de recueil et d'analyse des données de marche animés par l'ingénieur biomécanicien Christophe Gillet, par ailleurs responsable de la plateforme d'analyse de la motricité humaine, seront les mêmes avec et sans PSCHITT-Pedestrian, la différence étant que le tapis roulant permet de se passer d'une piste de marche de grande longueur. Il s'agit de données relatives aux variables spatio-temporelles (longueur de foulée, durée du cycle de marche, etc.), aux variables cinématiques (le mouvement des segments corporels les uns par rapport aux autres grâce aux marqueurs anatomiques réfléchissants et des caméras infrarouges du système optoélectronique d'analyse du mouvement VICON) et cinétiques (forces de réaction au sol, moments et puissances articulaires), à l'activité électrique du système neuromusculaire, etc. Ces activités se font dans une grande salle d'une superficie de 225 m², équipée de 2 systèmes de capture de mouvement, complétée par 6 plateformes de force (KISTLER) réparties au milieu de la salle. Cette salle est également équipée d'une piste de marche de 5m dont les pressions

plantaires sont mesurées sur 3.60 m. Les objectifs des recherches menées avec de l'analyse de la locomotion sont multiples : modélisation ; diagnostic ; compréhension de la marche pathologique et des stratégies de compensation ; programme personnalisé de rééducation et de suivi des personnes déficientes du membre inférieur ; analyse des activités sportives ; analyse du mouvement dans une perspective ergonomique (c'est le cas des projets avec Décathlon et Auchan).

- Sébastien Leteneur, Emilie Simoneau, Christophe Gillet, Yoann Dessery, Franck Barbier (2013). Trunk's natural inclination influences

stance limb kinetics, but not body kinematics, during gait initiation in able men. *PloS one*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055256>



Figure 16 Plateforme d'analyse de la motricité humaine du LAMIH

A.1.2.d MissRail® et InnoRail

La plateforme MissRail® est un outil pour la recherche et la formation ferroviaires développé à l'UPHF. Multi-utilisateur, multimodale et multifonction, la plateforme est à l'origine un démonstrateur de faisabilité de formation à distance proposé dans le cadre du projet IDEFI uTOP Ferroviaire²⁸ financé par l'ANR dans le cadre des Programmes d'investissements d'avenir. Ce



Figure 17 Simulation avec MissRail® de scénarios accidentogènes de collision potentielle entre un véhicule automobile et un tramway. Source: <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/plateforme-multiutilisateur-multimodale-et-multifonction-de-simulation-pour-la-recherche-et-la> (lien vérifié le 03/05/2022)

²⁸ <https://youtu.be/uZ9vRhqXOjY> (lien vérifié le 03/05/2022)

simulateur portatif (plusieurs configurations possibles : câblée, sans fil, portable, fixe) est composé architecturalement d'un module de conception d'infrastructures ferroviaires dans un contexte urbain, un module de conception d'itinéraires, un module de simulation de cabines de conduite et un module de simulation de postes de contrôle-commande²⁹ (Figure 17). InnoRail est la nouvelle version de cette plateforme enrichie d'un casque immersif (Figure 18).



Figure 18 InnoRail. Source : <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/plateforme-multiutilisateur-multimodale-et-multifonction-de-simulation-pour-la-recherche-et-la> (lien vérifié le 03/05/2022)

- Frédéric Vanderhaegen, Philippe Richard (2014). MissRail: A Platform Dedicated to Training and Research in Railway Systems. In: Stephanidis C. (eds) *Posters' Extended Abstracts. HCI 2014. Communications in Computer and Information Science*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07854-0_95
- Frédéric Vanderhaegen (2021). Pedagogical learning supports based on human–systems inclusion applied to rail flow control. *Cognition, Technology & Work*. <https://doi.org/10.1007/s10111-019-00602-2>

A.1.2.e Simulateur SHERPA

Le Simulateur Hybride d'étude et de Recherche SHERPA³⁰ (Figure 19, Figure 20) est utilisé pour le développement et le prototypage de systèmes coopératifs d'aide à la conduite dans le cadre de la conduite automatisée.

²⁹ <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/plateforme-multiutilisateur-multimodale-et-multifonction-de-simulation-pour-la-recherche-et-la> (lien vérifié le 03/05/2022)

³⁰ <https://www.uphf.fr/lamih/plateformes/plateformes/sherpa> (lien vérifié le 20/06/2022)

SHERPA est constitué d'une base mobile 6 axes Bosch Rexroth, un champ visuel frontal de 240° et trois écrans miniatures installés dans les rétroviseurs, une cabine complètement instrumentée, un environnement logiciel permettant de construire sur mesure la base de données visuelles et l'environnement de conduite.



Figure 19 Simulateur SHERPA-LAMIH. Source : <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/SHERPA> (lien vérifié le 20/06/2022)



Figure 20 Salle de suivi d'expérimentation. Source : © François JANNIN/CNRS Photothèque, https://images.cnrs.fr/photo/20060001_1039 (lien vérifié le 03/05/2022)

L'ingénieur automatique Jérôme Floris est le responsable technique de la plateforme SHERPA, il assure avec l'ingénieur automatique Philippe Simon la mise en œuvre des moyens d'essai, la planification et la réalisation des évolutions techniques du simulateur, la gestion du calendrier des projets. Tous deux sont systématiquement impliqués dans les projets de recherche incluant

l'utilisation de SHERPA³¹.

➔ L'objectif de l'utilisation de SHERPA est de contribuer à développer non pas un véhicule autonome mais une conduite automatisée coopérative conservant l'humain dans la boucle de contrôle du véhicule et de supervision de la conduite (le véhicule autonome est un « véhicule connecté qui, une fois programmé, se déplace sur la voie publique de façon automatique, sans intervention de ses utilisateurs³² »)

³¹ Remarque : l'hexapode du simulateur SHERPA changent en 2022, de même le véhicule pour une Peugeot 208

³² <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=RhE2PCuv8YO9V743LsL3yd2zup93I6QTVIOrDQLksWk=> (texte 111 sur 128) (lien vérifié le 03/05/2022)

Le simulateur SHERPA-LAMIH a contribué à la réalisation de très nombreux projets avec de véritables conducteurs ; seul un aperçu de ces projets est évoqué ici, mais les exemples indiquent l'implication forte du LAMIH – particulièrement le département Automatique – dans le développement de la conduite automatisée.

Le LAMIH a participé à deux projets financés par le programme national de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (PREDIT). Le projet **PREDIT ARCOS** (Action de Recherche pour une Conduite Sécurisée) avait réuni 58 partenaires de recherche & conception afin de travailler sur la gestion des distances entre véhicules, la prévention des collisions, la prévention des sorties de route ou de voie, l'alerte des véhicules en amont d'incidents ou d'accidents. Le LAMIH avait quant à lui focalisé sa contribution sur la conception et l'évaluation d'un système de régulation de l'inter-distance auto-adaptatif (*auto adaptive cruise control system*), notamment en étudiant des facteurs humains comme la **confiance** dans le système.

•Bako Rajaonah, Nicolas Tricot, Françoise Anceaux, Patrick Millot (2008). The role of intervening variables in driver-ACC cooperation. *International Journal of Human-Computer Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.09.002>

Le LAMIH a également utilisé le simulateur au cours de sa participation au projet **PREDIT SARI AJISE**. SARI avait pour objectif la surveillance automatisée de la route pour l'information des conducteurs et des gestionnaires et son thème transversal AJISE concernait les **acceptabilités juridique, individuelle, sociale et économique des solutions techniques conçues**.

•Jean-Michel Auberlet, Marie-Pierre Pacaux-Lemoine, Françoise Anceaux, Patrick Plainchault, Florence Rosey (2010). The impact of perceptual treatments on lateral control: A study using fixed-base and motion-base driving simulators. *Accident Analysis & Prevention*. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.07.017>

Le projet **CoCoVeA** (Coopération Conducteur-Véhicule Automatisé)³³ financé par l'ANR (892k€, 2013-2017) et réunissant dans son Consortium, outre le LAMIH qui pilote le projet (coordinateur : Prof. J.-C. Popieul), le groupe PSA, Continental AG, Valeo, Akka Technologies, SpirOps, l'équipe IMARA de l'INRIA, le laboratoire COMETE UMR 1075 INSERM de l'Université Caen Normandie. L'objectif de CoCoVeA était de **développer une architecture coopérative entre le/la conducteur/conductrice et les systèmes d'assistance pour la conduite automatisée**, d'implémenter

³³ <https://anr.fr/Projet-ANR-13-TDMO-0005> (lien vérifié le 03/05/2022)

cette architecture sur des démonstrateurs et de produire des recommandations pour les conducteurs et les équipementiers. Ici encore, les facteurs humains sont centraux.

- Mohamed Amir Benloucif, Chouki Sentouh, Jérôme Floris, Philippe Simon, Jean-Christophe Popieul (2019). Online adaptation of the level of haptic authority in a lane keeping system considering the driver's state. *Transportation research part F. Traffic psychology and behaviour*. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.08.013>.

Le projet **CoCoVeIA** (Coopération Conducteur-Véhicule Intelligent Autonome)³⁴ financé par l'ANR (735k€, 2019-2023) piloté par le LAMIH également (coordinateur : Prof. J.-C. Popieul) a pour partenaires le groupe PSA, CAF Continental, SpirOps, DAV SA (Valeo) et COMETE UMR 1075 INSERM. L'objectif principal est d'intégrer au système développé dans le cadre de CoCoVeIA des capacités d'auto-apprentissage, lui donnant la faculté d'analyser et comprendre les actions du conducteur durant les phases de conduite partagée et manuelle. L'approche proposée consiste à permettre au système d'apprendre à exécuter le mieux possible des manœuvres bien définies, modélisées au préalable de façon déterministe (pour le respect des règles de circulation et de la sécurité) dans un contexte de conduite partagée avec le conducteur. In fine, cela favorisera la construction de la confiance du conducteur ainsi que son acceptabilité du système.

- Gabriele Perozzi, Jagat Jyoti Rath, Chouki Sentouh, Jérôme Floris, Jean-Christophe Popieul (2021). Lateral shared sliding mode control for lane-keeping assist system in steer-by-wire vehicles: Theory and experiments. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*. <https://doi.org/10.1109/TIV.2021.3097352>
- Majda Fouka, Chouki Sentouh, Jean-Christophe Popieul (2021). Quasi-LPV interconnected observer design for full vehicle dynamics estimation with hardware experiments. *IEEE/ASME Transaction on Mechatronics*. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2021.3074743>.

A.1.2.f DS7 Démonstrateur de Véhicule Automatisé Coopérant

Le LAMIH dispose à présent d'un démonstrateur de Véhicule Automatisé Coopérant (Figure 21) destiné à éprouver sur route réelle les systèmes d'assistance étudiés sur SHERPA, dans un premier temps sur la piste Gyrovia (Figure 5). Ce démonstrateur a été développé dans le cadre du

³⁴<https://anr.fr/Projet-ANR-19-CE22-0009> (lien vérifié le 20/06/2022)

projet ELSAT2020 et cofinancé par l'Union Européenne de Développement Régional, par l'Etat et par la Région Hauts-de-France.



Figure 21 Démonstrateur de Véhicule Automatisé Coopérant du LAMIH. Source : <https://www.uphf.fr/lamih/plateformes/plateformes/ds7> (lien vérifié le 20/06/2022)

A.1.2.g Plateforme ITM

L'actuelle Plateforme Innovation Transport & Mobilité³⁵ – dont le responsable opérationnel est l'ingénieur automaticien Sébastien Paganelli – comprend trois segments d'activités :

'Motorisation et vecteurs énergétiques',
'Caractérisation des chaînes de traction automobiles' et 'Automobiles et aides à la mobilité'. C'est dans le cadre de ce dernier segment que la plateforme est dotée, entre autres équipements, d'un véhicule Citroën C1 entièrement automatisé et instrumenté permettant de **s'attaquer aux problématiques du véhicule autonome** (Figure 22).



Figure 22 Véhicule automatisé et instrumenté de la plateforme ITM. Source : <https://www.uphf.fr/lamih/plateformes/plateformes/itm> (page accédée le 20/06/2022)

³⁵ <https://www.uphf.fr/lamih/plateformes/plateformes/itm> (lien vérifié le 20/06/2022)

Le projet **VOLHAND** (VOLant pour personne âgée et/ou HANDicapée)³⁶ – soutenu par l’Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre de son appel à projets VTT (Véhicule pour les Transports Terrestres) 2009 et labellisé par le pôle de compétitivité i-Trans de la Région Nord-Pas de Calais – est un projet associé à l’actuelle plateforme ITM. VOLHAND avait pour objectif de **développer une nouvelle génération de direction assistée électrique tenant compte des caractéristiques des conducteurs à mobilité réduite**. Le projet a regroupé six partenaires parmi lesquels le CHRU de Lille et la Fondation HOPALE³⁷. Une maquette automobile a été réalisée pour les expérimentations (Figure 23).



Figure 23 Maquette automobile pour analyser le geste de tourner le volant . Source : Mémoire de thèse de Jessica Schiro, 2013, p. 79, <https://www.theses.fr/171568540>

- VOLHAND 1 : plateforme d'expérimentation biomécanique permettant d'étudier le geste de tourner le volant ;
- VOLHAND : simulateur de direction assistée électrique permettant d'étudier des assistances (lois de commande).

- Jessica Schiro, Pierre Loslever, François Gabrielli, Philippe Pudlo (2014). Inter and intra-individual differences in steering wheel hand positions during a simulated driving task. *Ergonomics*. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.978899>
- Pierre Loslever, Jessica Schiro, François Gabrielli, Philippe Pudlo (2021). Introducing coordination in hand position analysis during a steering wheel-based tracking task using fuzzy sets. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2021.1983886>

A.1.2.h Simulateur de rue pour piétons (SRP)

Ce simulateur a été développé dans le cadre du projet **SEVAP** Seniors en Ville À Pied financé par la Fondation Sécurité Routière (FSR) (124k€, 2010-2013) et piloté par le LAMIH (SHV).

L’objectif de SEVAP était de contribuer à l’étude **biomécanique et psychophysiologique du comportement de traversée de routes en milieu urbain chez le piéton âgé**.

³⁶ https://anr.fr/Project-ANR-09-VPTT-0014_handicapee (lien vérifié le 20/06/2022)

³⁷ Fondation Hopale : www.fondation-hopale.org (lien vérifié le 03/05/2022)

La plateforme du simulateur – d’une surface d’environ 80m² – comprend 5 écrans de deux mètres de hauteur sur lesquels sont projetées des images animées ou fixes, dix caméras infrarouges pour l’enregistrement en trois dimensions des mouvements du participant, deux plateformes de force aux niveaux de la « route » et du « trottoir ». Le participant est sécurisé grâce à un système de harnais sur rail.



Figure 24 Le simulateur SRP. Source : Mémoire de thèse de Julie Delzenne, 2013, UPHF, p. 147, <http://www.theses.fr/2013VALE0031>

- Janick Naveteur, Julie Delzenne, Pascal Sockeel, Eric Watelain, Marie-Agnès Dupuy (2013). Crosswalk time estimation and time perception: An experimental study among older female pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.08.014>
- Julie Delzenne, Aurore Bourrelly, Cyril Garnier, Janick Naveteur, Eric Watelain (2014). How do healthy older pedestrians walk when they cross the street? *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. <https://doi.org/10.1080/10255842.2014.931165>

A.2 Les technologies dédiées à la mobilité et au maintien de la mobilité

A.2.1 Quelques définitions

Dispositifs médicaux

Article L5211-1 du Code (français) de la santé publique, Version en vigueur depuis le 22 avril 2022³⁸

-On entend par **dispositif médical** : tout instrument, appareil, équipement, logiciel, implant, réactif, matière ou autre article, destiné par le fabricant à être utilisé, seul ou en association, chez l'homme pour l'une ou plusieurs des fins médicales mentionnées ci-après et dont l'action principale voulue dans ou sur le corps humain n'est pas obtenue par des moyens pharmacologiques ou immunologiques ni par métabolisme, mais dont la fonction peut être assistée par de tels moyens :

1° Diagnostic, prévention, contrôle, prédiction, pronostic, traitement ou atténuation d'une maladie ;

2° Diagnostic, contrôle, traitement, atténuation d'une blessure ou d'un handicap ou compensation de ceux-ci ;

3° Investigation, remplacement ou modification d'une structure ou fonction anatomique ou d'un processus ou état physiologique ou pathologique ;

4° Communication d'informations au moyen d'un examen in vitro d'échantillons provenant du corps humain, y compris les dons d'organes, de sang et de tissus.

Sont réputés être des dispositifs médicaux :

-les dispositifs destinés à la maîtrise de la conception ou à l'assistance à celle-ci ;

-les produits spécifiquement destinés au nettoyage, à la désinfection ou à la stérilisation des dispositifs médicaux, de leurs accessoires et des groupes de produits n'ayant pas de destination médicale dont la liste figure à l'annexe XVI du règlement (UE) 2017/745 précité.

-On entend par **accessoire de dispositif médical** : tout article qui, sans être lui-même un dispositif médical, est destiné par son fabricant à être utilisé avec un dispositif médical donné, ou avec plusieurs d'entre eux, pour permettre une utilisation de ce dispositif médical conforme à sa destination, ou pour contribuer spécifiquement et directement à la fonction médicale du dispositif médical selon sa destination.

Avant même de concrétiser une idée de dispositif médical, les chercheurs et ingénieurs doivent penser aux exigences essentielles : [Arrêté du 15 mars 2010 fixant les conditions de mise en œuvre des exigences essentielles applicables aux dispositifs médicaux](#), pris en application de l'article R. 5211-24 du code de la santé publique (Dernière mise à jour des données de ce texte : 11 octobre 2019) : Exigences essentielles de santé et de sécurité applicables aux dispositifs médicaux³⁹ (extraits) (version en vigueur au 23 mai 2022).

³⁸ Article L5211-1 : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000045630295/2022-04-22/ (accédé le 20/05/2022)

³⁹ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000021974462/> (accédé le 23/05/2022)

1. Les dispositifs doivent être conçus et fabriqués de telle manière que, lorsqu'ils sont utilisés conformément à leur destination et dans les conditions prévues à cette fin, leur utilisation ne compromette pas l'état clinique et la sécurité des patients ni la sécurité et la santé des utilisateurs ou, le cas échéant, d'autres personnes, sous réserve que les risques éventuels liés à leur utilisation constituent des risques acceptables au regard du bienfait apporté au patient et compatibles avec un niveau élevé de protection de la santé et de la sécurité.
2. Les solutions choisies par le fabricant dans la conception et la construction des dispositifs doivent être conformes aux principes d'intégration de la sécurité, compte tenu de l'état de la technique généralement reconnu.
3. Les dispositifs doivent atteindre les performances qui leur sont assignées par le fabricant et être conçus, fabriqués et conditionnés de manière à être aptes à remplir une ou plusieurs des fonctions visées à l'article R. 5211-1 du code de la santé publique, telles que spécifiées par le fabricant.
4. Les caractéristiques et les performances visées aux points 1, 2 et 3 du présent article ne doivent pas être altérées au point de compromettre l'état clinique et la sécurité des patients et, le cas échéant, d'autres personnes pendant la durée de vie des dispositifs prévue par les indications du fabricant lorsque les dispositifs sont soumis aux contraintes pouvant survenir dans les conditions normales d'utilisation.
5. Les dispositifs doivent être conçus, fabriqués et conditionnés de façon que leurs caractéristiques et leurs performances en vue de leur utilisation prévue ne soient pas altérées au cours du stockage et du transport effectué conformément aux instructions et aux informations fournies par le fabricant.
6. Tout effet secondaire et indésirable doit constituer un risque acceptable au regard des performances du dispositif.
- 6 bis. La démonstration de la conformité aux exigences essentielles doit inclure une évaluation clinique conformément à l'article R. 5211-36.
-
10. Dispositifs ayant une fonction de mesurage.
 10. 1. Les dispositifs ayant une fonction de mesurage doivent être conçus et fabriqués de manière à fournir une exactitude et une constance de mesurage suffisantes, dans des limites d'exactitude appropriées compte tenu de leur destination. Les limites d'exactitude sont indiquées par le fabricant.
 10. 2. L'échelle de mesure, de contrôle et d'affichage doit être conçue suivant des principes ergonomiques, compte tenu de la destination du dispositif.
 10. 3. Les mesures effectuées par les dispositifs ayant une fonction de mesurage doivent être exprimées en unités légales en conformité avec les dispositions du décret n° 61-501 du 3 mai 1961 modifié relatif aux unités de mesure et au contrôle des instruments de mesure.

Ainsi, les dispositifs médicaux ne peuvent pas être mis sur le marché ou mis en service s'ils ne sont pas conformes aux exigences essentielles de sécurité et de santé⁴⁰. Le **marquage CE**⁴¹ certifie que le dispositif est conforme à la législation européenne et peut être mis sur le marché. S'appuyer sur la certification ISO 13485 (Dispositifs médicaux – Système de management de la qualité – Exigences à des fins réglementaires) facilite l'apposition du marquage CE. Quant à la norme internationale ISO 13485:2016, elle « spécifie les exigences d'un système de management de la qualité pouvant être utilisé par un organisme impliqué dans une ou plusieurs étapes du cycle de vie d'un dispositif médical »⁴².



Figure 25
Marquage CE.
Source :
https://ec.europa.eu/growth/ingle-market/ce-marking_en

Le présent document mentionne la question de la certification car celle-ci se pense dès la conception du dispositif et concerne aussi, en conséquence, les chercheur-e-s et ingénieur-e-s des laboratoires universitaires.



Par ailleurs, il existe une façon de classifier certaines catégories de dispositifs médicaux, notamment dans le cas du LAMIH, il s'agit de la robotique de services. Nous nous référons pour cela à l'ouvrage de la juriste Nathalie Nevejans⁴³ : **les robots sont des « machines matérielles présentant des capacités de mouvement et d'action et intégrant des capacités plus ou moins développées d'acquisition et d'interprétation de données, de décision et de planification »** (page 98). Nevejans distingue trois secteurs d'application de la robotique civile : la robotique de production, la robotique chirurgicale et les secteurs de la robotique civile en cours de déploiement ; **le LAMIH est concerné par la robotique de services et la robotique de transport** (Nevejans situe les deux dans la robotique civile en cours de déploiement).

Robotique de services

Le dénominateur commun aux robots de services est l'aide apportée au niveau individuel. Cette catégorie est constituée par (i) la robotique d'assistance à la personne – à destination médicale ou non médicale, (ii) la robotique personnelle des services (e.g., robot aspirateur), (iii) la robotique

⁴⁰https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000030428662/ (lien vérifié le 03/05/2022)

⁴¹<https://certification.afnor.org/qualite/dispositifs-medicaux> (id.)

⁴²<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:13485:ed-3:v1:fr> (id.)

⁴³Nathalie Nevejans (2017). *Traité de droit et d'éthique de la robotique civile*. Bordeaux : LEH Édition

professionnelle de services (e.g., robotique agricole) et (iv) la robotique éducative, de loisir et de compagnie (e.g., les petits robots humanoïdes destinés à l’amusement). Le LAMIH est concerné par la robotique d’assistance à la personne à destination médicale : d’une part, les **robots de réhabilitation**, c’est-à-dire la robotique d’aide aux exercices de réhabilitation de personnes ayant subi un traumatisme, recouvrant des dispositifs de sollicitation mécanique de différentes parties du corps et pouvant consister en des robots d’assistance à la marche ou à la rééducation de l’équilibre (Nevejans, 2017, pp. 218-219) ; d’autre part, les **robots de substitution** incluant les prothèses robotisées et les exosquelettes.

Robotique de transport

Le LAMIH participe à la recherche et de la conception dans le secteur de la robotique de transport à travers les travaux sur les véhicules à divers degrés d’automatisation, le degré le plus élevé correspondant à la voiture autonome qui se déplace sans le secours d’un conducteur³², ce qui en fait un robot complet intégré avec le plus haut niveau d’automatisation, à savoir le niveau 5 si l’on prend

la classification de l’OICA (Figure 26).

Il apparait clairement que la prise en compte des facteurs humains et de l’ergonomie est primordiale dans la conception de

la conduite automatisée et SHERPA permet justement d’analyser l’activité de conduite avec des ADAS et de mesurer leurs impacts sur le conducteur/la conductrice en termes de facteurs

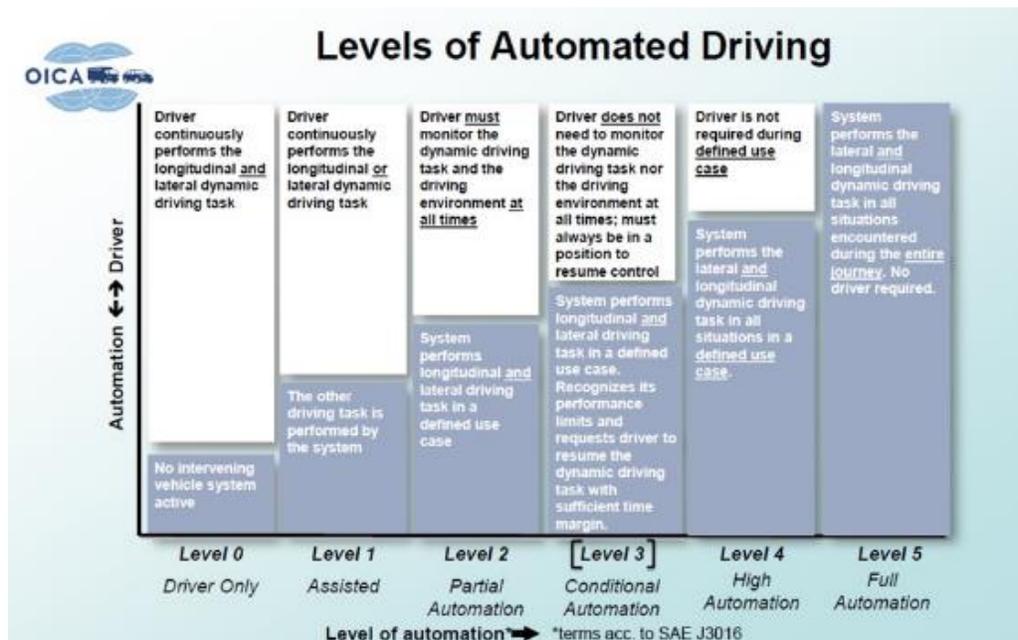


Figure 26 Les niveaux d’automatisation de la conduite selon l’Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles. Source : <https://www.oica.net/wp-content/uploads/WP-29-162-20-OICA-automated-driving.pdf> (lien vérifié le 03/05/2022)

humains (vigilance, ressources attentionnelles, réactivité, confiance, etc.). Le LAMIH a ainsi participé au projet **AutoConduct**^{44,45} ; le projet avait pour objectif de circonscrire les besoins et attentes du conducteur afin de concevoir une nouvelle stratégie de coopération humain-machine adaptée à l'état du conducteur dans le cas d'automatisation du véhicule de niveau 3, voire de niveau 4. Ce projet entre dans le cadre du groupe de travail « Facteurs Humains » mis en place dans le cadre du plan NFI (Nouvelle France Industrielle) consacré au véhicule autonome pour lequel une des problématiques cruciales est l'acceptabilité des conducteurs/conductrices.

Rappelons que l'actuelle plateforme ITM dédiée au transport et à la mobilité est aussi concernée par la robotique de transport (voir § A.1.2.e).

La robotique de transport concerne principalement le département Automatique mais il faut citer le département Informatique qui a contribué au niveau logiciel à la conception de la navette Navya – électrique et autonome sans conducteur – destinée au transport de personnes (Figure 27).



Figure 27 Démonstration du véhicule Navya sur le campus du Mont Houy.
Source : <https://www.uphf.fr/CRISS/luniversite-et-navya-etendent-leur-cooperation> (lien vérifié le 03/05/2022)

⁴⁴ <https://autoconduct.fr/accueil/> (lien vérifié 03/05/2022)

⁴⁵ Coeugnet S., Mars F., Bueno M., Sentouh C., Popieul J.-C., Koustanai A., Pauzié A., Tattegrain H. (2021) A User-Centered Approach to Adapt the Human-Machine Cooperation Strategy in Autonomous Driving. In: Black N.L., Neumann W.P., Noy I. (eds), *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)*, Lecture Notes in Networks and Systems, vol 221. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_73

A.2.2 Les technologies

Ce chapitre aborde les technologies à travers les projets. Il est plutôt hétérogène car il inclut tant des dispositifs de santé - ou qui pourraient l'être - que des applications liées à la mobilité. Le chapitre montre la forte implication du LAMIH dans la recherche et la conception visant à contribuer au bien-être de tous à tout âge.

A.2.2.a Personnalisation de l'aide aux personnes à mobilité réduite en fauteuil roulant

◆ Le projet ANR **CapaCITIES**²⁴ (§A.1.2.b) du département Automatique vise à définir les coûts biomécaniques attribuables aux situations environnementales et qui pourraient être implémentés dans les futurs algorithmes de sélection de chemin optimal, et ce, afin de proposer des parcours individualisés aux usagers.

◆ Le projet **PA-PMR** (Personnalisation de l'Assistance pour Personnes à Mobilité Réduite) associant les départements SHV et Automatique en partenariat avec le CHU de Lille et la Fondation Hopale et financé par la Région Hauts-de-France vise à développer un nouveau système d'assistance pour fauteuil roulant manuel ayant la capacité de s'adapter aux déficiences évolutives des personnes à mobilité réduite (PMR) ; ce type de système d'aide repose sur la détection de l'intention de l'utilisateur dans son désir de se mouvoir et devrait ainsi pouvoir offrir le bon compromis entre exercice physique et confort⁴⁶.



Figure 28 Test de l'assistance personnalisée dans le projet PA-PMR. Source : <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/personnalisation-de-lassistance-pour-personnes-mobilite-reduite> (accédé le 31/05/2022)

⁴⁶<https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/personnalisation-de-lassistance-pour-personnes-mobilite-reduite> (lien vérifié le 03/05/2022)

◆ Même si ses résultats peuvent être utilisés pour la personnalisation des systèmes d'aide aux personnes à mobilité réduite, le projet international **AutoM-PMR** – du département Automatique en partenariat avec l'Institut Technologique de Sonora au Mexique et financé par ECOS-Nord n° M17M02 – est avant tout de la recherche fondamentale. Plus précisément, l'objectif premier de AutoM-PMR est de **développer des outils méthodologiques d'observation et de commande intégrant des modèles de comportement humain pour des situations variées.**

- Guoxi Feng, Thierry Marie Guerra, Sami Mohammad, Lucian Busoni (2018). Observer-Based Assistive Control Design Under Time-Varying Sampling for Power-Assisted Wheelchairs. *IFAC-PapersOnLine*. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.06.253>
- Guoxi Feng, Thierry Marie Guerra, Lucian Busoni, Anh-Tu Nguyen, Sami Mohammad (2021). Robust observer-based tracking control under actuator constraints for power-assisted wheelchairs. *Control Engineering Practice*. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2020.104716>
- Alberto Ortiz, Thierry-Marie Guerra, Victor Estrada-Manzo, Jimmy Lauber (2021). Choosing an Adequate Convex Structure for Controller and Observer Gains in Takagi-Sugeno Control Systems. *IFAC-PapersOnLine*. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.035>

A.2.2.b MotoBOTTE

MotoBOTTE est un projet multidisciplinaire (SHV, Automatique, Informatique) d'Action de Recherche Incitative (ARI) financé par le LAMIH. A partir d'un ergomètre⁴⁷ breveté⁴⁸ conçu au LAMIH, le projet vise à **développer un ergomètre motorisé piloté par interface cerveau-machine dans le but de décrypter l'intention motrice cérébrale et l'action musculaire correspondante** pour piloter la motorisation en fonction du type de rééducation configurée et de paramètres inconnus liés à l'effort fourni par le patient, à estimer et à compenser en temps réel. MotoBOTTE (Figure 29) est, en conséquence un robot de réhabilitation



Figure 29 Le robot de réhabilitation MotoBOTTE. Source : Juan Carlos Arceo Luzanilla. *Assistive Motor Reeducation via Brain Computer Interface for Neurological Deficiencies*, p. 25. Université Polytechnique Hauts-de-France ; Institut national des sciences appliquées Hauts-de-France, 2021.

⁴⁷Un ergomètre est un appareil permettant de mesurer le travail (<https://www.cnrtl.fr/definition/ergomètre>), ici, pour quantifier la force exercée sur l'articulation de la cheville (voir le brevet ci-dessous⁴⁸)

⁴⁸ <https://uspto.report/patent/grant/10,835,173>

selon la définition de la juriste Nevejans⁴³ ; il peut être un dispositif de santé s'il répond aux critères de normes et de sécurité que cela implique selon Arrêté du 15 mars 2010 fixant les conditions de mise en œuvre des exigences essentielles applicables aux dispositifs médicaux Code de la santé publique (voir § A.2.1).

- Juan Arceo, Jimmy Lauber, Emilie Simoneau-Buessinger, Sylvain Cremoux (2018). *Nonlinear Convex Control for Robotic Assistive Therapy via LMIs. Workshop on Assistance and Service Robotics in a Human Environment: From Personal Mobility Aids to Rehabilitation-Oriented Robotics in the International Conference on Intelligent Robots 2018 (IROS 2018)*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01911178>
- Juan Carlos Arceo, Jimmy Lauber, Lucien Robinault, Sebastien Paganelli, Mads Jochumsen, Imran Khan Niazi, Emilie Simoneau, Sylvain Cremoux (2019) Modeling and Control of Rehabilitation Robotic Device: motoBOTTE. In: Masia L., Micera S., Akay M., Pons J. (eds) *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation III. ICNR 2018. Biosystems & Biorobotics, vol. 21*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01845-0_110

A.2.2.c Prothèse du membre inférieur

La prothèse du membre inférieur est prescrite par un médecin pour remplacer tout ou partie d'un membre inférieur et c'est l'orthoprothésiste qui effectue les ajustements et supervise la fabrication sur mesure de la prothèse et son usage par le patient (Figure 30). La prothèse peut être robotisée, par exemple, les prothèses myoélectriques : les capteurs implantés dans le corps du patient détectent les signaux électriques du muscle⁴⁹. Dans ce sous-chapitre, le travail est axé sur la prothèse classique. Quoiqu'il en soit, comme le souligne la Fondation HOPALE³⁷, **l'appareillage d'une prothèse prend en compte le projet de vie du patient et l'implique dans sa prise en charge**, c'est donc une démarche



Figure 30 Appareillage d'une prothèse du membre inférieur.
Source : www.fondation-hopale.org/Programmes/Appareillage-Aide-Technique/Membres-inferieurs (lien vérifié le 03/05/2022)

⁴⁹ Nathalie Nevejans (2018). La robotisation de l'homme au regard du droit. *Journal international de bioéthique et d'éthique des sciences*. <https://doi.org/10.3917/jibes.293.0031>

explicitement centrée sur l'humain dans la mesure où elle a pour but d'adapter la technologie à l'utilisateur-utilisatrice final-e. Voir *Partie B - Approches de recherche & conception centrées sur l'humain*.

Les travaux au LAMIH portent sur l'analyse de la locomotion de la personne amputée dans le but de **quantifier l'évolution des paramètres biomécaniques durant la rééducation et le suivi de la personne après l'amputation, caractériser les stratégies compensatoires, évaluer les besoins prothétiques**. Ces travaux contribuent à l'offre d'une aide concrète aux cliniciens afin que chaque prothèse soit adaptée à chaque patient.

◆ Le projet **RASTAF-ARI**⁵⁰ de Rééducation ASsistée par la Technologie pour l'Amélioration Fonctionnelle des Amputés par les Réglages Initiaux de la prothèse – Action de Recherche Incitative vise à **recueillir des mesures biomécaniques en position orthostatique et à la marche afin de proposer des paramètres biomécaniques qui permettront aux équipes cliniques de personnaliser les réglages de la prothèse provisoire**.

◆ Le projet **GRAAL** (Gait Rehabilitation Analysis for Amputee Locomotion)⁵¹, principalement financé par la Région dans le cadre du programme « Chercheurs – Citoyens », vise à étudier la locomotion des personnes amputées du membre inférieur. Il s'agit de faire un **suivi longitudinal des personnes amputées afin de détecter au plus tôt la dégradation de la marche de la jambe non amputée**. Le but est d'apporter les informations nécessaires à l'équipe rééducative afin de mieux prendre en charge le patient pour limiter la dégradation de la jambe résiduelle et d'améliorer la réalisation des prothèses.

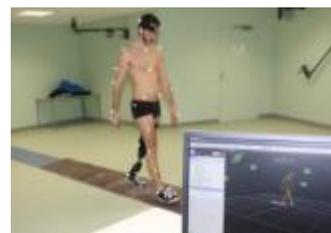


Figure 31
Source: <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/analyse-de-la-marche-lors-de-la-reeducation-pour-lamelioration-de-la-mobilite-des-personnes-amputees> (lien vérifié le 03/05/2022)

◆ Le projet **STRAAL** (2019-2022), financé par l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie à travers une thèse CIFRE, fait suite au projet GRAAL. L'objectif est de **quantifier**

⁵⁰<https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/reeducation-assistee-par-la-technologie-pour-lamelioration-fonctionnelle-des-amputes-par-les> (lien vérifié le 03/05/2022)

⁵¹<https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/analyse-de-la-marche-lors-de-la-reeducation-pour-lamelioration-de-la-mobilite-des-personnes-amputees> (id.)

l'évolution d'une cohorte de personnes amputées transfémorales lors de la marche sur sol plat et en situations contraignantes de vie courante telles que la marche rapide et la marche en dévers⁵².

- Jennifer Bassement, Christophe Gillet, Anis Toumi, Jean-Michel Triquet, Romain Wolniewicz, Franck Barbier, Emilie Simoneau-Buessinger (2017). Epidémiologie descriptive de la mobilité des personnes amputées de membre inférieur et intervention pour la réadaptation. In : *Actes du 17ème Congrès international de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives (ACAPS 217)*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03463362/>
- Émilie Simoneau-Buessinger, Jennifer M. Jakobi, Anis Toumi, Anne Mathys, Jennifer Bassement, Franck Barbier, Sébastien Leteneur (2019). Does Unilateral Lower Limb Amputation Influence Ankle Joint Torque in the Intact Leg? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.12.023>
- Anis Toumi, Émilie Simoneau-Buessinger, Jennifer Bassement, Franck Barbier, Christophe Gillet, Paul Allard, Sébastien Leteneur (2021). Standing posture and balance modalities in unilateral transfemoral and transtibial amputees. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.05.009>

A.2.2.d Exosquelette

Le projet **RehabByExo** – financé par l'Institut Carnot ARTS – vise à « développer un exosquelette destiné à la recherche clinique pour la rééducation du patient hémiplegique sévère dans l'optique de lui faire récupérer des capacités fonctionnelles pour la marche »⁵³.

- Gaëtan Courtois, Jason Chevie, Antoine Dequidt, Xavier Bonnet, Philippe Pudlo (2021). Design of a rehabilitation exoskeleton with impedance control: First experiments. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*. SCITEPRESS – Science and Technology Publications, Lda. <https://dx.doi.org/10.5220/0010580004690476>

A.2.2.e Bras robotisé pour fauteuil roulant motorisé

L'assistance à la personne à mobilité réduite en fauteuil roulant peut être sophistiquée par l'addition au fauteuil d'un bras robotisé destiné aux personnes handicapées à mobilité réduite, c'est le cas du bras robotisé JACO®⁵⁴.

⁵²<https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/modalites-motrices-developpees-lors-de-la-locomotion-usuelle-chez-des-patients-amputes-du-membre> (lien vérifié le 03/05/2022)

⁵³ <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/developpement-dun-exosquelette-specialise-pour-la-reeducation-du-patient-hemiplegique-severe-dans-0> (id.)

⁵⁴ <https://assistive.kinovarobotics.com/fr/produit/bras-robotise-jaco> (accédé le 23/05/2022)

Les départements SHV et Automatique, en collaboration avec le Département du Nord et Ergo-Diffusion, apporteront leurs expertises dans l'analyse de l'utilisation du bras Jaco®, notamment afin **comprendre les possibilités de mouvement du bras robotisé dans sa conception actuelle et améliorer l'ergonomie des fauteuils roulants motorisés**. Ce PROJET correspond à un objectif de recherche transversal au sein du LAMIH et entre pleinement dans le cadre de l'axe transversal MH2, avec le challenge Orthèse robotisée, avec une approche de recherche complètement centrée utilisateurs.



Figure 32 Le bras robotisé JACO. Source :
Source
<https://assistive.kinovarobotics.com/product/jaco-robotic-arm> (accédé le 02/06/2022)

A.2.2.f Système embarqué pour la personnalisation du risque de chute

Le projet **SERICH**⁵⁵ principalement financé par la Région et impliquant les départements Automatique et SHV ainsi que le CHRU de Lille et le CH de Valenciennes a pour objectif de **développer un dispositif embarqué sur la personne à mobilité réduite et/ou vieillissante, basé sur des capteurs intelligents et associé à un système d'analyse de la marche** à destination du praticien hospitalier.

Le projet SERICH tient compte de l'acceptabilité de la technologie par la personne, cette dernière est impliquée dans le processus de conception du système, les praticiens hospitaliers aussi : il s'agit donc d'une conception centrée sur l'humain (voir § *Partie B*). Une demande de dépôt de brevet via la SATT Nord et un projet de start-up – MediWAT^{56, 57} – ont émergé du projet SERICH ; par ailleurs, il est un des lauréats de la 7^{ème} édition de l'appel à projets Silver Surfer dont l'ambition est d'inciter à proposer des innovations dans le secteur de la Silver économie⁵⁸.



Figure 33 Premier lauréat du concours Start-up in Motion 2018. Source : <https://medi-wat.com> (lien vérifié le 03/05/2022)

⁵⁵ <https://www.univ-valenciennes.fr/LAMIH/fr/systeme-embarque-pour-la-personnalisation-du-risque-de-chute-chez-les-pmr> (lien vérifié le 03/05/2022)

⁵⁶ <https://medi-wat.com/#about> (id.)

⁵⁷ www.transalley.com/images/presse/Fiche_MEDIWAT.pdf (id.)

⁵⁸ <https://www.eurasante.com/appel-a-projet/silver-surfer-7-0/> (id.)

A.2.2.g Outil d'aide à la mobilité pour les jeunes personnes en situation de handicap de l'agglomération de Valenciennes

Le projet **ValMobile**⁵⁹ est financé par le troisième volet du programme d'investissements d'avenir, le département du Nord et l'I-SITE Université Lille Nord-Europe. L'Union Départementale des Associations de Parents d'Enfants Inadaptés (UDAPEI) est un des partenaires du projet. L'objectif du projet est de développer une application informatique (à installer sur smartphone, fauteuil roulant, etc.) proposant une **aide au déplacement des personnes handicapées de 13 à 30 ans** ; la démarche adoptée est explicitement la conception centrée utilisateurs finaux (Figure 34) s'appuyant sur une analyse préalable des besoins des utilisateurs et des tests d'évaluation (Figure 35).

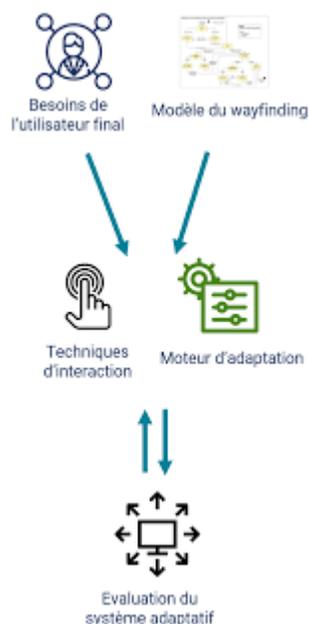


Figure 34 Démarche centrée utilisateur du projet ValMobile.
Source : Lakehal (2019)



Figure 35 Participante portant des lunettes de réalité augmentée durant le parcours d'un test d'évaluation.
Source : Lakehal (2019)

•Aymen Lakehal (2019). Contribution à la conception centrée utilisateur et à l'évaluation d'un système interactif aidant la mobilité de personnes en situation de déficience intellectuelle. 31e conférence sur l'Interaction Homme-Machine IHM'19. http://iihm.imag.fr/IHM19/IHM-2019/C_ResumesEtendus/1_RencontresDoctorales/dc08-lakehal.pdf

⁵⁹ <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/valmobile> (lien vérifié le 03/05/2022)

•Aymen Lakehal, Sophie Lepreux, Christos Efstratiou, Christophe Kolski, Pavlos Nicolaou (2020). Investigating smartphones and AR glasses for pedestrian navigation and their effects in spatial knowledge acquisition. In: *Proceedings of the 22nd International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI'20 Extended Abstracts*. <https://doi.org/10.1145/3406324.3410722>

•Laurie Letalle, Aymen Lakehal, Hursula Mengue-Topio, Johann Saint-Mars, Christophe Kolski, Sophie Lepreux, Françoise Anceaux (2020). Ontology for mobility of people with intellectual disability: Building a basis of definitions for the development of navigation aid systems. In: Krömker H. (eds), *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. Automated Driving and In-Vehicle Experience Design. HCII 2020, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12212. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50523-3_23

A.2.2.h Système d'aide à la mobilité pour les personnes présentant une déficience intellectuelle

Le projet **SAMDI**, principalement financé par la Région (400 k€, 2020-2024), implique le département Informatique, PSITEC EA 4072, l'UDAPEI, les associations APEI de Valenciennes et de Denain ainsi que Urban Labs Technologies. SAMDI vise à développer **des solutions interactives et adaptatives d'aide à la mobilité pour les personnes présentant une déficience intellectuelle**, et ce, afin de favoriser le développement de leur autonomie en navigation⁶⁰. La démarche adoptée est également la conception centrée utilisateurs s'appuyant sur analyse préalable des besoins de l'utilisateur final, de ses difficultés et de ses stratégies ; de plus, c'est une démarche de co-création incluant aussi les aidants (voir § B.3.1).

A.2.2.i Application dédiée à la mobilité des personnes âgées

Le projet **PartEnS** - PARTir ENsemble Seniors – répond à un appel à projets 'Chercheurs – Citoyens' de la Région Hauts-de-France (59 k€, 2016-2018) et a pour partenaires les laboratoires LAMIH (Informatique, SHV), SCALab UMR CNRS 9193 et CRISTAL UMR CNRS 9189, les associations Générations & Cultures et KDOVIE et, enfin, le Pass Senior de la Ville de Lille (Pass Lille & moi depuis 2019). Le projet repose sur le constat que nombre de séniors renoncent à partir en vacances car ils sont seuls ; ainsi, l'objectif est de **concevoir un dispositif socio-**

⁶⁰ <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/systeme-daide-la-mobilite-pour-les-personnes-presentant-une-deficience-intellectuelle> (lien vérifié le 03/05/2022)

informatique facilitant la mise en relation de personnes âgées isolées ayant des intérêts similaires⁶¹.

- Gérald Delelis, Janick Naveteur, Pascal Antoine, Yann Secq (2017). « Partir Ensemble Séniors » (PartEnS) : une plate-forme de repérage d'affinités et d'appariement pour promouvoir les vacances des séniors. In : *Actes du 10ème Congrès International de Psychologie Sociale Appliquée (CIPSA)*. <https://lilloa.univ-lille.fr/handle/20.500.12210/58064>
- Janick Naveteur, Pascal Antoine, Yann Secq, Emmanuelle Adam, Gérald Delelis, Maxime Morge, Emmanuelle Grislin-Le Strugeon, Antoine Nongaillard (2018). Partir Ensemble Séniors (PartEnS) : un projet interdisciplinaire centré utilisateur pour des vacances partagées. In : *Actes de ERGO'IA 2018. Conception et usages : comment réussir l'intégration pluridisciplinaire dans la conception centrée utilisateur, et pour quelles retombées ?* <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01882593/document>.

⁶¹ <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/partir-ensemble-seniors> (id.)

A.3 Tables interactives

L'utilisation de tables interactives est une des expertises du département Informatique, et ce, dans des domaines d'application variés parmi lesquels le transport et le handicap⁶². En

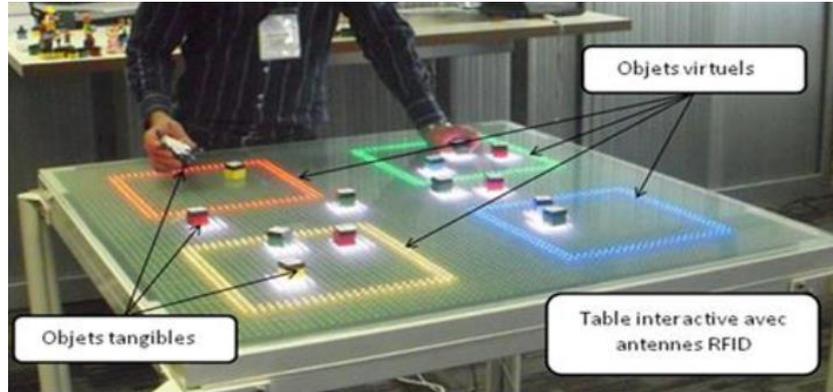


Figure 36 La table TangiSense. Source : Lepreux et al. (2017). *Journal d'Interaction Personne-Système AFIHM*. <https://dx.doi.org/10.46298/jips.3902>

attestent, par exemple, les projets ANR **TTT** (Table d'interaction avec des objets Tangibles et Traçables)⁶³ et **IMAGIT** (Environnement multi-acteurs multi-tables interactives à objets tangibles et virtuels)⁶⁴, ce dernier piloté par le LAMIH. Une table interactive (*tabletop*) est une table munie d'un plateau composé d'une surface tactile dotée d'un écran large⁶⁵. Kubicki et al. (2012)⁶⁶ en distinguent trois types principaux : les tables à interface tactile permettant d'interagir avec des objets virtuels ; les tables à interface tangible ne permettant d'interagir qu'avec des objets tangibles ; les tables à interface mixte permettant d'interagir avec des objets virtuels et des objets tangibles.

- Sébastien Kubicki, Yoann Lebrun, Sophie Lepreux, Emmanuel Adam, Christophe Kolski, René Mandiau (2009). Exploitation de la technologie RFID associée à une table interactive avec objets tangibles et traçables. Application à la gestion de trafic routier. *Génie logiciel*, 91, 41-45.
- Sophie Lepreux, Julien Castet, Nadine Couture, Emmanuel Dubois, Christophe Kolski et al. (2016). Interaction Tangible sur Table, définitions et modèles. *Journal d'Interaction Personne-Système*. <https://doi.org/10.46298/jips.2182>
- Yoann Lebrun, Nicolas Vispi, Sophie Lepreux, Sondès Chaabane, Christophe Kolski (2020). Simuler les futures conditions de travail sur table interactive RFID avec objets tangibles : perspectives dans le domaine hospitalier. In : *Actes de la 10ème Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH2020*.
- Walid Merrad, Alexis Héloir, Christophe Kolski, Gloria Mark, Antonio Krüger (2020). Towards monitoring patients with Alzheimer's disease activity using distributed tangible tabletops and dual reality. In : *Proceedings of the 2020 IEEE 33rd International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*. <https://doi.org/10.1109/CBMS49503.2020.00034>

⁶² <https://www.uphf.fr/table-interactive-rfid> (lien vérifié 03/05/2022)

⁶³ <https://anr.fr/Projet-ANR-07-TLOG-0023> (id.)

⁶⁴ <https://anr.fr/Projet-ANR-10-CORD-0017> (id.)

⁶⁵ Chaboissier J. (2011). *Interactions simultanées de plusieurs utilisateurs avec une table interactive*. Université Paris Sud-Paris XI. NNT : 2011PA112335. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00672516>

⁶⁶ Kubicki S., Borgiel K., Lepreux S., Wolff M., Kolski C. (2012). Réflexions autour des tables interactives : expérience utilisateur, utilisabilité, évaluation. *Le travail humain*. <https://doi.org/10.3917/th.753.0229>

A.4 Réalité virtuelle, réalité augmentée et réalité mixte

Quelques mots sur la réalité virtuelle concluent cette Partie A sur les plateformes, technologies et projets. En effet, l'utilisation des simulateurs impliquent souvent la réalité virtuelle et une approche centrée sur l'humain doit considérer les utilisateurs dans la conception des interactions cognitives et sensorimotrices avec le monde virtuel.

A.4.1 Quelques définitions

La réalité est le caractère de ce qui est réel, de ce qui existe effectivement⁶⁷. Dans le domaine de la réalité virtuelle, la virtualité est le « caractère de ce qui est virtuel, en référence à l'impression de réalité produite par une simulation informatique du monde réel⁶⁸ ».

A.4.1.a Réalité virtuelle

La réalité virtuelle (RV) est « un **domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales** en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles, et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudonaturelle⁶⁹ » (Fuchs, 2018⁷⁰, p.). La RV a pour finalité de **permettre à une ou plusieurs personne-s des activités sensorimotrices et cognitives dans un environnement artificiel créé numériquement** (Burkhardt & Coquillart, 2006⁷¹ ; Fuchs, 2018) ; la RV va « permettre de s'extraire de la réalité physique pour **changer virtuellement de temps, de lieu et (ou) d'interaction** ».

- Les interfaces comportementales (Figure 40) sont les interfaces matérielles entre le monde réel et la RV (par exemple, un visiocasque ou un joystick).
- Deux conditions, **interaction et immersion**, doivent être réalisées, même modestement, pour, que l'on puisse parler de système basé sur les techniques de RV⁷⁰.
- Il s'agit ici d'**interactions cognitives et sensorimotrices** avec l'environnement virtuel, selon la boucle perception-décision-action (PDA) comme dans le monde réel. L'interaction en temps réel

⁶⁷ <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/realite/66836> (lien vérifié le 03/05/2022)

⁶⁸ https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8350713 (*Plus vrai que nature : vocabulaire de la réalité virtuelle*)

⁶⁹ Immersion naturelle, i.e., la plus naturelle et la plus crédible possible (id.)

⁷⁰ Fuchs P. (2018). *Théorie de la réalité virtuelle. Les véritables usages*. Paris : Presses des Mines - Transvalor

⁷¹ Burkhardt J.-M., Coquillart S. (coord) (2006). *Le traité de la réalité virtuelle. Volume 2. L'interfaçage, l'immersion et l'interaction en environnement virtuel*. Paris : École des Mines de Paris

est une difficulté, la perception de temps réel par le sujet correspond à la perception d'absence de décalage temporel (latence) entre son action sur l'environnement virtuel et la réponse sensorielle de l'environnement. Une incohérence sensori-motrice est définie comme une « contrainte inhérente à la technologie, que l'utilisateur ressent dans le déroulement de l'interaction avec un environnement virtuel, et qui contribue à perturber son comportement sensorimoteur »⁷². Il n'y a pas que des incohérences visuo-motrices : par exemple, marcher sur un tapis roulant n'est pas se déplacer réellement, ce qui peut entraîner une incohérence entre i/ la vue et la proprioception (incohérence visuo-vestibulaire⁷³) et ii/ la vue et la posture (incohérence visuo-posturale).

- L'**immersion** - en partie subjective - est la **sensation d'être physiquement plongé dans un environnement virtuel en trois dimensions**. L'immersion ne peut pas être considérée sous l'angle visuel seul, même si la vision est prépondérante ; elle peut aussi être auditive, proprioceptive, cognitive.
- La **présence** - conséquence psychologique de l'immersion – est le **sentiment d'être dans un monde virtuel bien que le corps soit dans le monde réel**⁷⁴.
- Il s'ensuit que d'après les définitions adoptées dans ce document, immersion (comme sensation) et présence (comme sentiment) ne peuvent être mesurées qu'à partir des ressentis exprimés de la personne (par exemple, avec des questionnaires ou des entretiens).

A.4.1.b Réalité augmentée et réalité mixte

Lorsqu'on parle de réalité augmentée (RA), c'est la **perception de la réalité qui est augmentée par la superposition d'éléments** afin de mieux observer le monde réel : (i) en documentant la réalité, par exemple, par ajout d'information pour augmenter la compréhension de la réalité ou (ii) en augmentant la visibilité de la réalité, par exemple, par surlignage d'un contour (Fuchs, 2018). Les travaux de Guo et al. (2019)⁷⁵ sont un exemple d'utilisation de la réalité augmentée pour

⁷² https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26542472 (*Plus vrai que nature : vocabulaire de la réalité virtuelle*)

⁷³ Le système vestibulaire est un système sensoriel, il est constitué par l'oreille interne et contribue à l'équilibre et à la perception du mouvement : https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26557565

⁷⁴ https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26505091

⁷⁵ Guo C., Sentouh C., Popieul J.-C., Haué J.-B., Langlois S., Loeillet J.-J., Soualmi B., That T.N. (2019). *Transportation Research Part F*. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.04.006>

améliorer la compréhension de la scène visuelle par le conducteur automobile grâce à un affichage tête haute⁷⁶ (Figure 37).



Figure 37 Etude de la réalité augmentée sur le pare-brise à affichage tête haute du simulateur de conduite de la plateforme Dr SiHMI (IRT SystemX). Source : Guo et al. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.04.006>

La réalité mixte (RM) est une technologie combinant RA et RV : **des entités virtuelles sont ajoutées à la scène réelle**, soit en incrustation (*overlay*) par-devant les entités réelles, sans occulter ces dernières, soit en intégrant les entités virtuelles avec les objets réels (Fuchs, 2018).



Figure 38 Utilisation de la réalité mixte pour découvrir l'histoire du Mont Saint-Michel . Source : <https://inculture.microsoft.com/arts/le-mont-saint-michel-realite-mixte/> (lien vérifié le 05/05/2022)

Il est à noter que **ni la RA ni la RM ne changent la proprioception de la personne**, celle-ci restant toujours corporellement immergée dans le monde réel (Fuchs, 2018, p. 180).

⁷⁶ Affichage tête haute : « système d'affichage qui projette des informations sur le pare-brise d'un véhicule, dans la partie inférieure du champ de vision du conducteur, ce qui permet ainsi à ce dernier de les visualiser sans quitter la route des yeux » (*Le virage est amorcé : vocabulaire de l'aide à la conduite* : https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8391957)

A.4.2 Les interfaces comportementales

Les interfaces comportementales sont des interfaces matérielles conçues pour exploiter un comportement humain, naturel dans l'environnement virtuel⁷⁷.

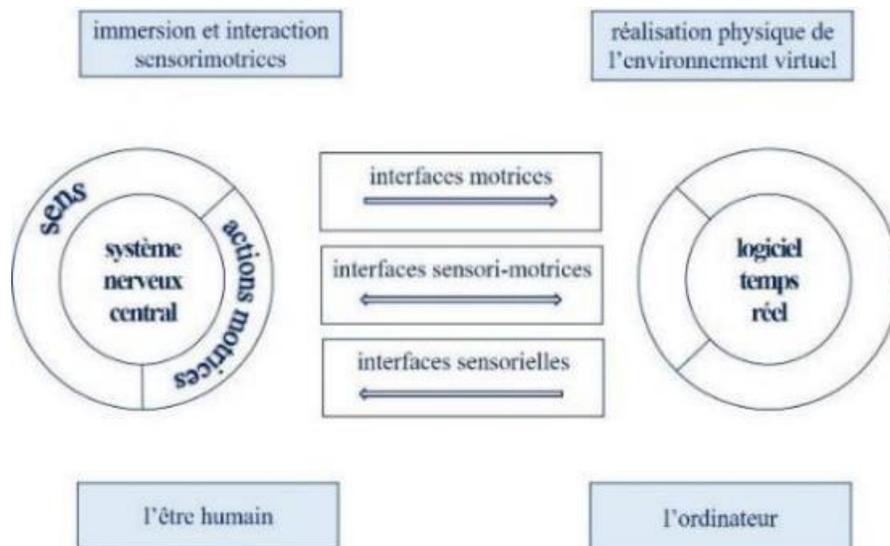


Figure 39 Niveau sensorimoteur de l'immersion et de l'interaction : centralité des interfaces comportementales (d'après Fuchs, 2018, p. 26)

Les **interfaces sensorielles** transmettent les stimuli sensoriels⁷⁸ de l'ordinateur vers la personne ; plus le nombre de sens simulés en environnement virtuel est élevé, plus le sentiment d'immersion de la personne est grand⁷⁹. Les **interfaces motrices** décèlent les mouvements de la personne et transmettent ses réponses motrices à l'ordinateur, elles permettent donc à la personne d'agir sur les objets de l'environnement virtuel⁸⁰. Les **interfaces sensori-motrices** transmettent (i) les réponses motrices de la personne à l'ordinateur et (ii) les stimuli sensoriels de l'ordinateur à la personne, elles intègrent donc les fonctions des interfaces sensorielles et celles des interfaces motrices⁸¹. La Figure 40 présente un panorama non exhaustif d'interfaces comportementales

⁷⁷ https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8359368 (*Plus vrai que nature : vocabulaire de la réalité virtuelle*)

⁷⁸ Les sens humains : i/ l'extéroception (i.e., perception de l'environnement extérieur au corps) et ii/ la somesthésie incluant la proprioception (i.e., position du corps par rapport à l'environnement extérieur), la kinesthésie (i.e., mouvement du corps et de ses membres par rapport à l'environnement) et l'interoception (perception à l'intérieur du corps) ; en RV, l'haptique comprend le toucher et la proprioception musculo-tendineuse (voir Fuchs, 2018, Chapitre 2)

⁷⁹ https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8359346

⁸⁰ https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8359347

⁸¹ https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8357862

catégorisées d'après le Chapitre 4 de Fuchs (2018), le deuxième volume du *Traité de la réalité virtuelle et le vocabulaire en ligne de la réalité virtuelle*⁸².

Quelques références du LAMIH sur des travaux utilisant la réalité virtuelle :

- Hault-Dubrulle Audrey, Robache Frédéric, Pacaux Marie-Pierre, Morvan Hervé. (2011). Determination of pre-impact occupant postures and analysis of consequences on injury outcome. Part I: A driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.07.012>
- Mohammed Elsaeh, Philippe Pudlo, Mohamed Djemai, Mohamed Bouri, André Thevenon, Isabelle Heymann (2017). The effects of haptic-virtual reality game therapy on brain-motor coordination for children with hemiplegia: A pilot study. In: *Proceedings of the 2017 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*.
<https://doi.org/10.1109/ICVR.2017.8007472>
- Benloucif Mohamed Amir, Sentouh Chouki, Floris Jérôme, Simon Philippe, Boverie Serge, Popieul J.-C. (2016). Cooperation between the driver and an automated driving system taking into account the driver's state. *Driving Simulation & Virtual Reality Conference & Exhibition DSC 2016 Europe^{VR}*. <https://hal-uphf.archives-ouvertes.fr/hal-03417156>
- Azzedine Aissaoui, Abdelkrim Ouafi, Philippe Pudlo, Christophe Gillet, Zine-Eddine Baarir, Abdlemalik Taleb-Ahmed (2018). Designing a camera placement assistance system for human motion capture based on a guided genetic algorithm. *Virtual Reality*.
<https://doi.org/10.1007/s10055-017-0310-7>
- Alexis Héloir, Fabrizio Nunnari, Myroslav Bachynskyi (2019). Ergonomics for the design of multimodal interfaces. *The Handbook of Multimodal-Multisensor Interfaces: Language Processing, Software, Commercialization, and Emerging Directions*. NY: ACM Books.
<https://doi.org/10.1145/3233795.3233804>
- Raissa Pokam, Serge Debernard, Christine Chauvin, Sabine Langlois (2019). Principles of transparency for autonomous vehicles: First results of an experiment with an augmented reality human-machine interface. *Cognition, Technology & Work*. <https://doi.org/10.1007/s10111-019-00552-9>
- Lakehal Aymen, Lepreux Sophie, Letalle Laurie, Kolski Christophe (2021). From wayfinding model to future context-based adaptation of HCI in urban mobility for pedestrians with active navigation needs. *International Journal of Human-Computer Interaction*.
<https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1860546>
- Viet Thuan Nguyen, Toufik Bentaleb, Chouki Sentouh, Philippe Pudlo, Jean-Christophe Popieul (2019). On a complete dynamical model of manual wheelchair for virtual reality simulation platform. In: *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*. <https://doi.org/10.1109/SMC.2019.8913960>
- Damien Trentesaux, Theodor Borangiu, Paulo Leitão, Jose-Fernando Jimenez, Jairo R. Montoya-Torres (eds) (2021). Service oriented, holonic and multi-agent manufacturing systems for industry of the future. *Proceedings of SOHOMA LATIN AMERICA 2021*, Bogota, Colombia, January 27-28, 2021

⁸² www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/vocabulaire-realite-virtuelle.aspx

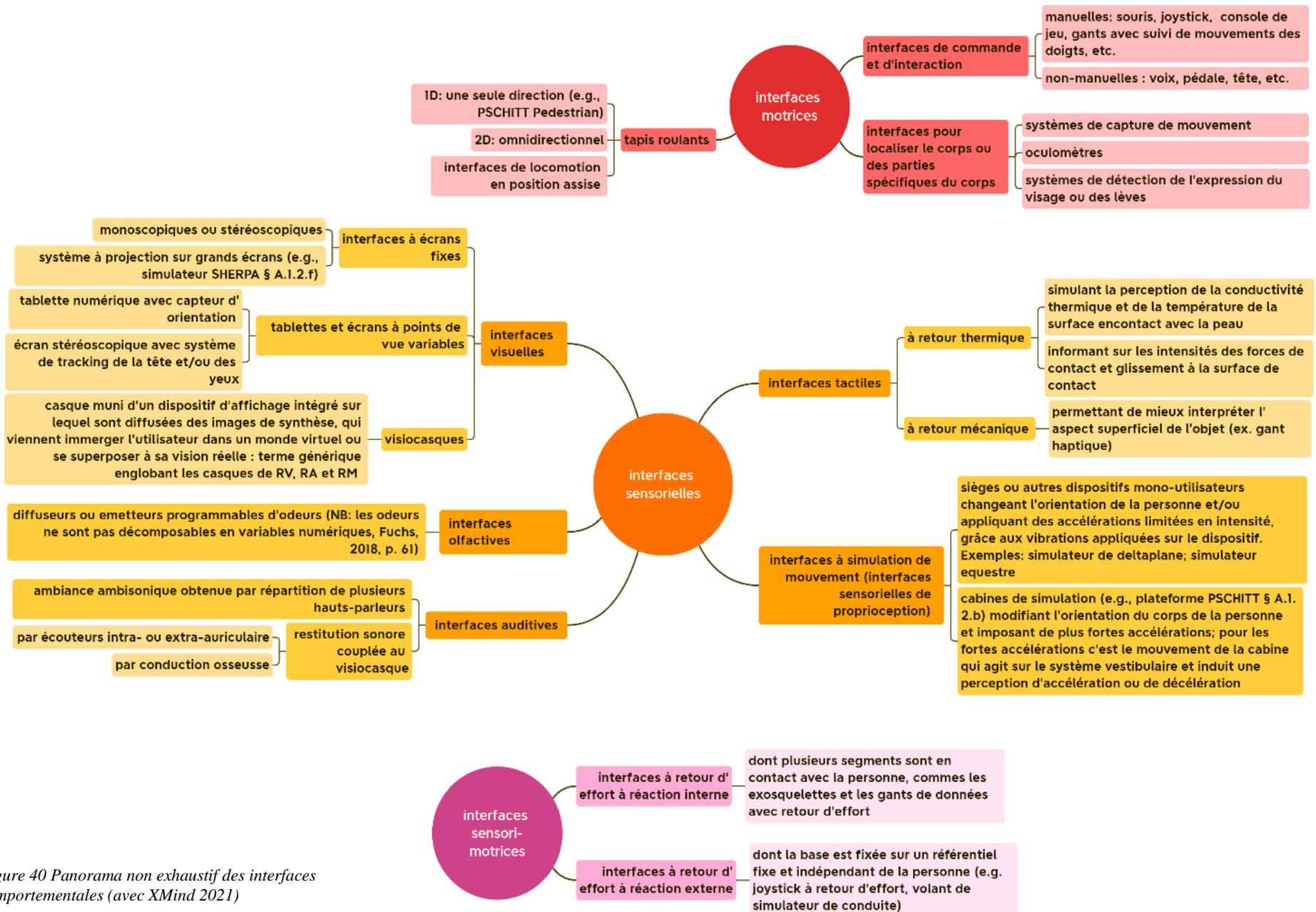


Figure 40 Panorama non exhaustif des interfaces comportementales (avec XMind 2021)

Recherche & Conception Centrées sur l'Humain pour la Mobilité Inclusive. Partie B - Approches de Recherche & Conception Centrées sur l'Humain

La Partie B présente deux approches centrées sur l'humain pouvant être appliquées à la recherche et/ou la conception relatives à la mobilité et/ou le handicap, mais pas seulement.

B.1 Introduction

Nous considérons dans ce document la conception dite centrée sur l'humain (*human-centred* en anglais britannique, *human-centered* en anglais américain) comme une manière de tenir compte du caractère humain de la finalité des technologies, elles doivent servir les humains, être utiles à tous. Il s'agit donc de l'humain dans son individualité et sa socialité (Figure 41), mais aussi dans son environnement naturel (Figure 42) qu'on ne peut plus ignorer à l'ère de l'Industrie 5.0 (voir aussi le principe responsabilité du philosophe Hans Jonas qui observait que nous ne pouvions plus faire de la technologie pour la technologie en détruisant la nature, que nous devons tenir compte de celle-ci afin de la préserver pour les générations futures⁵).

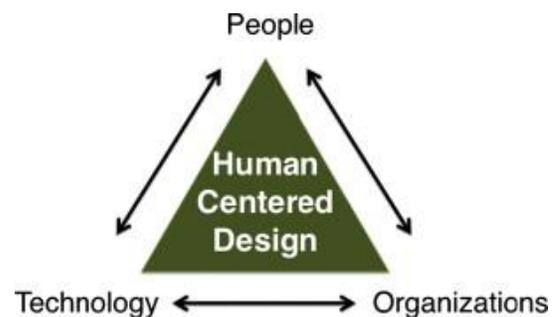


Figure 41 Une perspective de la conception industrielle et d'ingénierie centrée sur l'humain. Source : Boy G.A. (2014). From automation to tangible interactive objects. *Annual Reviews in Control*. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2014.03.001>

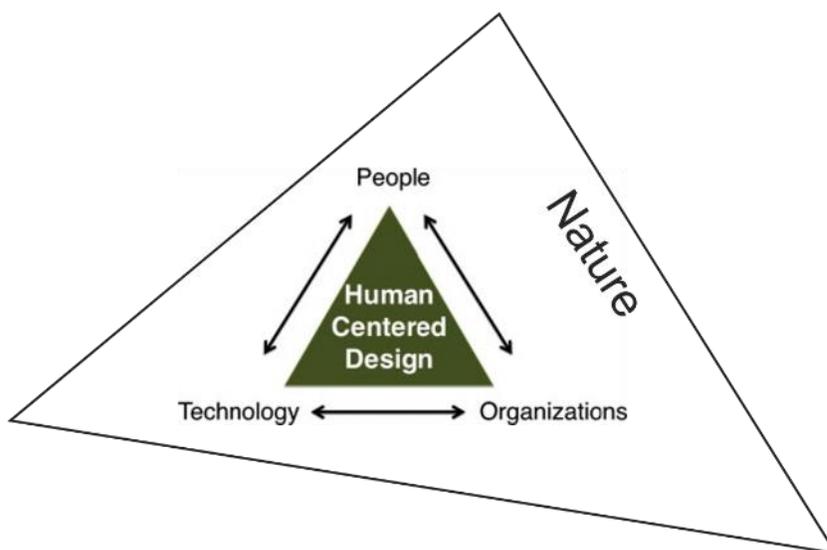


Figure 42 Le modèle TOP de Guy Boy inséré dans l'environnement naturel de l'humain

Le présent document distingue deux approches de conception centrées sur l'humain: i/ l'**approche centrée facteurs humains** plutôt concernée par les systèmes humain-machine (SHM : système humain machine/*human-machine system*) dans les environnements dynamiques (i.e., qui évoluent indépendamment de l'action de l'humain : voir la particularité des situations dynamiques concernant les systèmes humain-machine^{83,84}) et ii/ l'**approche centrée utilisateurs** (*user-centred*) à l'origine appliquée à l'*human-computer interaction*⁸⁵, i.e., interaction entre l'humain et l'ordinateur. Dans ce document, le terme IHM fait référence aussi bien aux interactions entre l'humain et les systèmes basés sur l'informatique telles les nouvelles technologies d'information et de communication (NTIC) qu'aux interfaces entre l'humain et les machines et autres artefacts, mais sans les confondre : les utilisateurs interagissent avec les artefacts via des interfaces, ces dernières sont les moyens des interactions⁸⁶ (Figure 44). Quant à la différence entre interaction et



Figure 43 Figure SHM... Source : pixabay.com



Figure 44... et IHM. Source : pixabay.com

coopération, la coopération est une forme particulière d'interaction impliquant (i) des agents autonomes interagissant dans une situation dynamique que l'humain ne contrôle que partiellement et (ii) des fonctions pouvant être réparties entre ces agents (voir Hoc, 2000a⁸³, 2000b⁸⁷) .

Les deux approches sont opposées à la vision techno-centrée appliquée seule, quand l'artéfact est conçu par les ingénieurs et techniciens ayant les compétences techniques requises puis évalué par d'autres experts pour contrôler les résultats (essai de fonctionnement, essai de performance, etc.), l'utilisateur n'étant pris en compte à aucun moment du cycle de conception. Or, **la priorité est de**

⁸³ Hoc J.-M. (2000a). La relation homme-machine en situation dynamique. *Revue d'Intelligence Artificielles*, 14(1), 55-71

⁸⁴ Anceaux F., Pelayo S. (2021). Situations dynamiques. In : Brangier É., Valléry G. (dir) (2021). *Ergonomie : 150 notions clés* (pp. 491-493. Malakoff, France : Dunod. Par ailleurs, cet ouvrage sur l'ergonomie – disponible à la bibliothèque universitaire de l'UPHF (site mont Houy) – est fondamental pour quiconque est intéressé-e par la conception centrée sur l'humain mais s'y connaît peu

⁸⁵ Norman D.A., Draper S.W. (eds) (1986). *User centered system design. New perspectives on human-computer interaction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates

⁸⁶ Beaudouin-Lafon M. (2004). Designing interaction, not interfaces. *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces AVI'04*. <https://doi.org/10.1145/989863.989865>

⁸⁷ Hoc J.-M. (2000b). From human-machine interaction to human-machine cooperation. *Ergonomics*. <https://doi.org/10.1080/001401300409044>

Un projet de conception ‘centré sur l’humain’ émane d’une **demande sociétale**, d’un besoin⁹⁰ latent ou exprimé au sein d’une population (par exemple, personnes handicapées, professionnels de santé, opérateurs de machine) et la boucle de conception inclut nécessairement, d’une façon ou d’une autre, cette population. Un principe fondamental de la conception centrée sur l’humain est l’**‘analyse des besoins’** qui permettra de **comprendre les réels besoins de la population ciblée, ses attentes et le contexte d’utilisation**⁹¹ afin de concevoir un produit ou un service qui lui sera véritablement approprié et qu’elle perçoit comme réellement utile. L’analyse des besoins concerne également les autres parties prenantes. Ainsi dans le projet **ParkinsonCom**⁹² – piloté par le département Informatique, financé par le programme **Interreg France-Wallonie-Vlaanderen** (1600 k€, 2020-2022) et dédié à la conception d’un logiciel d’aide à la communication des personnes atteintes de la maladie de Parkinson, les utilisateurs sont ces personnes, leurs proches et le personnel soignant qui communiquent avec elles ; mais la maladie de Parkinson est un problème sociétal : les malades parkinsoniens sont pris en charge par les hôpitaux, accompagnés par les organisations sociales dédiées, etc. Il s’ensuit que toutes ces entités sont aussi parties prenantes dans la conception du logiciel : le Centre hospitalier universitaire de Lille, l’association France Parkinson, l’Association Parkinson (Namur, Belgique) et la ligue flamande De Vlaamse Parkinson Liga sont ainsi partenaires du projet ParkinsonCom au même titre que les académies (LAMIH UMR CNRS 8201 - UPHF, Université de Mons, Universitair Ziekenhuis Brussel) et l’entreprise qui développe le logiciel. De façon générale, les projets impliquant l’axe MH2 associent systématiquement des partenaires sociaux clés comme la Fondation Hopale, l’Union Départementale des Associations de Parents d’Enfants Inadaptés et des centres hospitaliers (e.g., projets **STRAAL**⁵², **RehabByExo**⁵³, **ValMobile**⁵⁹).



Figure 46 Source : <http://www.fondation-hopale.org/>

Un autre principe fondamental de la conception centrée sur l’humain est le **développement itératif** : les évaluations répétées de l’utilisabilité de l’artéfact, de l’impact de facteurs propres à l’opérateur sur la performance du système humain-machine ou encore la satisfaction de

⁹⁰ “Un besoin, au sens large, est une configuration de caractéristiques psychologiques et physiques qui est ressentie comme un manque ou une tension”. Source : Brangier É., Valléry G. (2021). *Ergonomie : 150 mots clés* (p. 142). Malakoff, France : Dunod

⁹¹ Le ‘contexte d’utilisation’ est défini par la norme ISO 9241-210:2019 comme la combinaison d’utilisateurs, d’objectifs et de tâches, de ressources et d’environnement, l’environnement incluant l’environnement technique, physique, social, culturel et organisationnel (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:fr>, accédé le 09/06/2022)

⁹² <https://www.interreg-fwvl.eu/fr/parkinsoncom> (lien vérifié le 04/05/2022)

l'utilisateur et des autres parties prenantes font partie du processus de conception en plus des essais techniques. L'objectif est de **s'assurer que les exigences définies après l'analyse des besoins sont respectées** : les retours sur les phases d'évaluation et de tests d'utilisabilité permettent de modifier ou améliorer les points non satisfaisants. Évaluations et tests sont réalisés à partir de plans, de maquettes, de prototypes, de scénarios, etc. et plusieurs techniques sont possibles pour recueillir les informations fournies par les évaluateurs et/ou testeurs (les techniques de recueil de données des évaluations sont un des objets de § C. *Méthodes & techniques*).

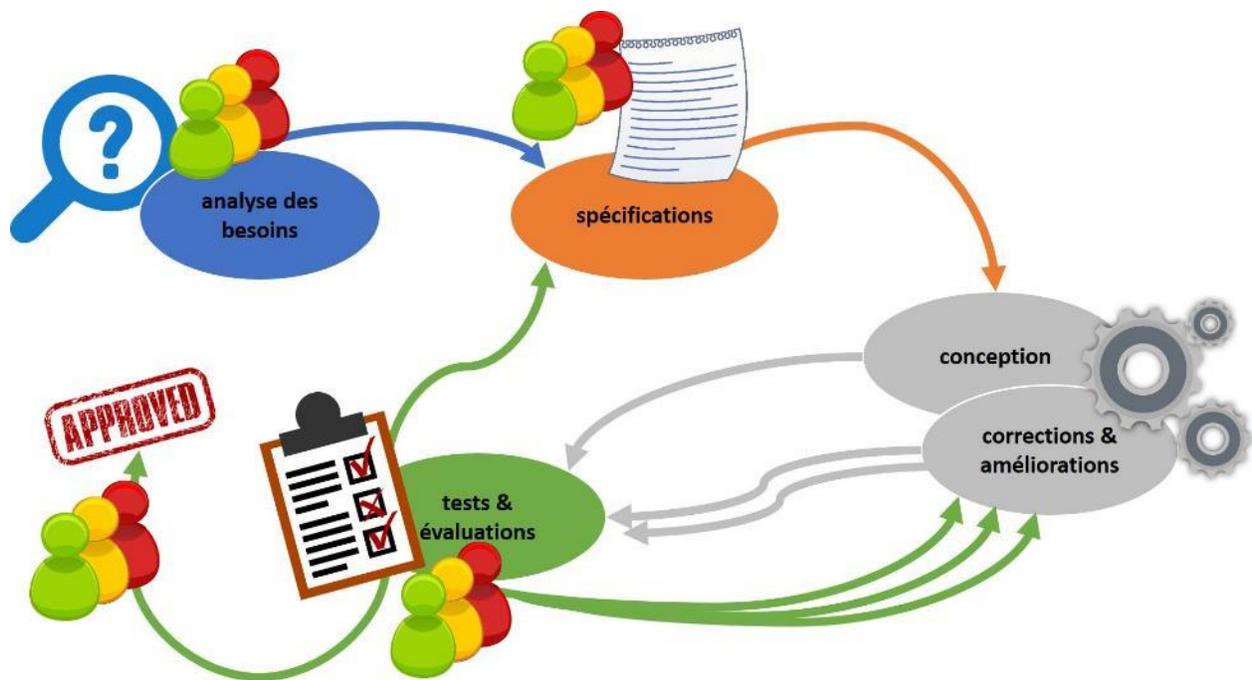


Figure 47 Principe de la conception centrée sur l'humain, les parties prenantes sont (presque) à tous les niveaux du processus de conception (Source des images : pixabay.com)

B.2 Approche centrée facteurs humains

B.2.1 Définitions

Dès 1958, Morehouse a prôné une philosophie des facteurs humains croisant les sciences de l'ingénieur et les sciences de la vie afin de mieux comprendre le triptyque humain-machine-environnement et assurer une utilisation optimale des capacités de l'humain et de la machine pour, in fine, la meilleure efficacité du système humain-machine⁹³. Falzon (2004)⁹⁴ rappelle la définition de l'Ergonomie (*Ergonomics*) selon l'International Ergonomics Association (IEA)⁹⁵: « l'ergonomie (ou *Human Factors*, toujours au pluriel) est la **discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système**, et la profession qui applique principes théoriques, données et méthodes en vue d'optimiser le bien-être des personnes et la performance globale des systèmes » (p.19).

L'approche centrée sur les facteurs humains dans la conception des interactions de l'opérateur avec les robots industriels est particulièrement appropriée à la vision européenne de l'Industrie 5.0 (Figure 1).

Dans le présent document, les facteurs humains sont considérés dans le cadre de toutes les situations dynamiques⁹⁶ de systèmes humain et machine (e.g., conduite automobile) où se côtoient des dynamiques évoluant indépendamment les unes des autres. Il est à remarquer que l'activité du personnel médical et paramédical qui supervise le processus patient est un cas de gestion de situation dynamique⁹⁷. Par ailleurs, nous ne considérons ici que l'ergonomie cognitive (e.g., "*it's all in the mind*", Hollnagel, 1997⁹⁸). La définition proposée est alors ceci : un facteur humain est une **variable « interne » caractéristique de l'humain (l'opérateur, l'utilisateur, etc.) contribuant à expliquer son comportement et la performance globale du système humain-machine**^{99,100}. Le chercheur/la chercheuse pourra mesurer, soit l'impact d'un facteur humain - e.g., l'effet du degré de vigilance du conducteur sur sa capacité à réagir à l'apparition d'un zébu

⁹³ Laurence E. Morehouse (1958). A human factors philosophy. *Human Factors*. <https://doi.org/10.1177/001872085800100101>

⁹⁴ Falzon F. (2004). Préface. In : Pierre Falzon (dir), *Ergonomie* (pp. 11-13). Paris : Presses Universitaires de France

⁹⁵ International Ergonomics Association : <https://iea.cc/what-is-ergonomics/> (accédé le 14/06/2022)

⁹⁶ Hoc J.-M. La gestion de situation dynamique (2004). In : Falzon P. (dir) *Ergonomie* (pp. 515-530). Paris : PUF

⁹⁷ Chaudet H., Anceaux F., Beuscart M.C., Pelayo S., Pellegrin L. (2013). Facteurs humains et ergonomie en informatique médicale. In : Venot A., (coor), *Informatique médicale, e-Santé* (pp. 494-520). Paris : Springer. https://doi.org/10.1007/978-2-8178-0338-8_19

⁹⁸ Hollnagel E. (1997). Cognitive ergonomics: it's all in the mind. *Ergonomics*. <https://doi.org/10.1080/001401397187685>

⁹⁹ Variable : élément qui peut prendre des valeurs différentes à l'intérieur d'un ensemble, d'un système, d'une relation (<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/variable/81108>)

¹⁰⁰ Facteur : <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/facteur>

au détour d'un virage, soit l'effet de l'activité, de l'interaction ou de la coopération sur une caractéristique humaine – e.g., l'effet de l'interaction entre un robot social et une personne âgée hospitalisée à domicile sur le bien-être de cette personne.

Les projets **CoCoVeA**³³ et **CoCoVeIA**³⁴ du département Automatique sont des projets typiques pour lesquels la considération des facteurs humains est essentielle pour le financeur (ici, l'ANR) et les industriels partenaires (e.g., le groupe PSA).

B.2.2 Exemples de facteurs humains

Le Tableau 1 présente les facteurs humains couramment pris en compte dans la conception et les évaluations des systèmes humain-machine. La liste n'est évidemment pas exhaustive. Une définition succincte de chaque facteur est proposée, dans la mesure du possible, une définition opérationnelle pour poser au mieux les hypothèses de recherche mais aussi pour faciliter la création d'un outil de mesure de la variable en l'absence d'outils préexistants ou pour adapter des outils existants. Il est donc important de souligner que ces définitions sont à voir comme des hypothèses de travail et non comme des vérités indiscutables. Il est précisé que les définitions fournies dans ce document sont toutes référencées, le plus souvent textuellement citées (il n'est pas question ici de les discuter), les références seront par ailleurs utiles à l'étudiant-e qui souhaite approfondir des concepts

Les techniques de recueil de données relatives à ces variables sont décrites dans § *C.3 Méthodes & Techniques*.

Tableau 1 Bref panorama des facteurs humains (par ordre alphabétique)

Facteurs humains	Définitions	Références
<p>Acceptabilité Acceptation</p> <p>Plusieurs définitions, définitions opérationnelles, l'essentiel est de préciser la définition adoptée afin de mesurer la variable correctement</p>	<p>- L'acceptation (<i>acceptance</i>) est le degré auquel on a l'intention d'utiliser un système et, lorsqu'il est disponible, de l'intégrer dans son activité (ex. de conduite automobile) (Adell et al., 2014)</p> <p>Selon Schade et Schlag (2003) :</p> <p>-L'acceptabilité (<i>acceptability</i>) est un jugement prospectif sur des mesures (ou des systèmes) à introduire dans le futur ; dite acceptabilité a priori par Pianelli et al.¹⁰¹</p> <p>-L'acceptation (<i>acceptance</i>) renvoie aux attitudes et réactions comportementales après introduction des mesures (ou des systèmes) ; dite acceptabilité a posteriori par Pianelli et al.</p> <p>-L'acceptabilité est le degré d'intégration¹⁰² et d'appropriation¹⁰³ d'un objet dans un contexte d'usage (Barcenilla & Bastien, 2009)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un article LAMIH SHV sur l'acceptabilité d'un système : Rajaonah et al. (2013)¹⁰⁴ • Un article LAMIH Automatique sur l'interacceptabilité : Crévits & Lemoine (2010)¹⁰⁵ <p>Mesures par questionnaire, entretien</p>	<p>Adell E., Várhelyi A., Nilsson L. (2014). The Definition of acceptance and acceptability. In: M. A. Reagan, T. Horberry, A. Stevens (eds), <i>Driver Acceptance of New Technology</i> (Chapter 2). Boca Raton, FL: CRC Press.</p> <p>Schade, J., & Schlag, B. (2003). Acceptability of urban transport pricing strategies. <i>Transportation Research Part F</i>. https://doi.org/10.1016/S1369-8478(02)00046-3</p> <p>Barcenilla J., Bastien J. M. C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? <i>Le travail humain</i>. https://doi.org/10.3917/th.724.0311</p> <p>Bobillier-Chaumon M. E., Dubois M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? <i>Le travail humain</i>. https://doi.org/10.3917/th.724.0355</p>
<p>Acceptabilité sociale <i>a priori</i></p>	<p>Valeur que l'individu accorde à l'objet technologique, cette valeur se rapportant à (i) la satisfaction de ses besoins et motivations plus (ii) la conformité de l'utilisation de l'objet aux normes du groupe d'appartenance. En conséquence, 2 mesures au minimum pour déterminer l'acceptabilité sociale : l'opinion de la personne et la norme au sein de son groupe d'appartenance</p> <p>Mesures par enquête, entretien, questionnaire</p>	<p>Lefevre R., Bordel S., Guingouain G., Somat A., Testé B. (2008). Sentiment de contrôle et acceptabilité sociale a priori des aides à la conduite. <i>Le travail humain</i>. https://doi.org/10.3917/th.712.0097</p>

¹⁰¹ Pianelli C., Saad F., Abric J.-C. 2007. Social representations and acceptability of LAVIA (French ISA system). *Proceedings of the 14th World Congress on ITS*, 9-13 October 2007, Beijing, Peoples' Republic of China

¹⁰² Intégration : renvoie à la manière dont le système s'insère dans les activités de l'utilisateur et comment il contribue à transformer ces activités (Barcenilla & Bastien, 2009)

¹⁰³ Appropriation : renvoie à la manière dont la personne investit personnellement le système et dans quelle mesure celui-ci est en adéquation avec ses valeurs personnelles et culturelles (id.)

¹⁰⁴ Rajaonah B., Ravenel J.-B., Castelli J.C., Osmont A., Cabrol P., Le Fur G. (2013). Acceptabilité des scanners de sûreté dans les aéroports français. *Workshop Interdisciplinaire sur la Sécurité Globale - WISG2013*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01253532>

¹⁰⁵ Crévits I., Lemoine M.-P. (2010). Interacceptabilité dans SARI. Présenté à *PRAC2010 : Prévention des Risques et Aides à la Conduite*. http://prac2010.free.fr/lib/pres/pres_29.pdf

<p>Attention ou processus attentionnels</p>	<p>L'attention est la capacité de se concentrer sur une activité pendant une durée importante¹⁰⁶</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Attention soutenue</u> ou maintenue : renvoie à la capacité de traiter une activité pendant une durée importante - <u>Attention sélective</u> ou focalisée : renvoie à la capacité de se focaliser sur un message en éliminant les autres messages simultanés non pertinents ; fonctionne comme un filtre sélectif - <u>Attention partagée</u> (ou divisée) : renvoie à la capacité de gérer plusieurs tâches simultanément (concurrence cognitive) <p>Selon certains auteurs (e.g., Kahneman, 1973), nous disposons d'un « réservoir » de <u>ressources attentionnelles</u> à capacité limitée ; cependant, les ressources sont de natures variées et leur mobilisation dépend de la tâche, des modalités perceptives mises en jeu, etc.¹⁰⁷</p> <p>Selon Kahneman (2012)¹⁰⁸, la pensée fonctionne à deux vitesses : le 'système 1' opère automatiquement et rapidement, avec peu ou pas d'effort attentionnel ; le 'système 2' alloue volontairement des ressources attentionnelles à la réalisation d'activité (attention volontaire)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un article de recherche expérimentale LAMIH SHV et LAMIH Informatique sur l'effet Stroop : Miller et al. (2016)¹⁰⁹ • Un article LAMIH Automatique sur une analyse de l'attention et de l'émotion à partir de la fréquence cardiaque : Bendjoudi et al. (2021)¹¹⁰ 	<p>Kahneman D. (1973). <i>Attention and effort</i>. London: Prentice Hall</p> <p>Maquestiaux F. (2017). <i>Psychologie de l'attention</i> 2^e édition. Louvain-la-Neuve, Belgique : De Boeck Supérieur</p> <p>Leplat J. (2005). Les automatismes dans l'activité : pour une réhabilitation et un bon usage. <i>Activités</i>. https://doi.org/10.4000/activites.1797.</p>
<p>Automatismes vs. processus contrôlés</p>	<p>Shiffrin & Schneider (1984)¹¹¹ considèrent que les processus cognitifs sont contrôlés à deux niveaux :</p> <ol style="list-style-type: none"> (i) <u>niveau conscient et contrôlé</u>, nécessitant un contrôle attentionnel (ii) <u>niveau automatique routinier</u>, sans contrôle attentionnel et quasiment sans limite de parallélisme 	 <p>Figure 48 Source: https://editions.flammariion.com/systeme-1-systeme-2/9782081307827 (lien vérifié le 05/05/2022)</p>

¹⁰⁶ Charron C., Dumet N. Guéguen N. Lieury A., Rusinek S. (2020). Les 500 mots de la psychologie. Malakoff, France : Dunod

¹⁰⁷ Wickens C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*. <https://doi.org/10.1518%2F001872008X288394>

¹⁰⁸ Kahneman D. (2012). *Système 1/Système 2. Les deux vitesses de la pensée*. Paris : Flammarion

¹⁰⁹ Miller H. C., Kubicki S., Caffier D., Kolski C., Naveteur J. (2016). The Stroop and reverse Stroop effects as measured by an interactive tabletop. *International Journal of Human-Computer Interaction*. <https://doi.org/10.1080/10447318.2016.1150642>

¹¹⁰ Bendjoudi I., Hamad D., Vanderhaegen F., Dornaika F. (2020). In: *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference*. Copyright© ESREL2020-PSAM15 Organizers. Published by Research Publishing, Singapore

¹¹¹ Shiffrin R. M., Schneider, W. (1984). Automatic and controlled processing revisited. *Psychological Review*. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.91.2.269>

	<p>Les automatismes dans une activité - qui renvoient donc à des composantes de cette activité requérant peu de contrôle conscient et peu de ressources attentionnelles - sont mis en œuvre par le 'système 1'</p> <p>Les automatismes sont parfois synonymes de routines (i.e., séquences stéréotypées d'actions acquises par la pratique (voir Montmollin M. (dir) (1995). <i>Vocabulaire de l'ergonomie</i>. Toulouse : Octarès)</p> <p>La conduite automobile a des composantes fortement automatisées (donner du sens au champ visuel, changer de vitesse, freiner, maintenir le véhicule dans la voie) ; toutefois, les accidents de la route résultant, par exemple, de l'utilisation d'un mobile ou de la recherche d'une station de radio simultanément à la conduite montrent que la conduite automobile en elle-même est une activité qui requiert de mobiliser les ressources attentionnelles</p> <p>« Tout apprentissage part d'un fonctionnement basé sur les connaissances pour finir par un fonctionnement basé sur les habitudes et les routines. L'expert se caractérise par la plus grande disponibilité de ces routines qui lui permet de travailler plus vite, et de résister à une plus grande charge de travail » (Amalberti, 2013¹¹²)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Référence à propos d'attention, mémoire de travail et données neurophysiologiques : Fanuel L., Jarjat G., Labaronne M., Hot P., Tillmann B., Portrat S., Plancher G. (2021). Attention et maintien en mémoire de travail : une revue des données neurophysiologiques. <i>Revue de neuropsychologie</i>. https://doi.org/10.1684/nrp.2021.0681 • Des tests assez simples à réaliser permettent d'étudier les processus attentionnels : tâche de Stroop (automatismes, attention sélective) ; paradigme de la double tâche (attention partagée) ; tests de barrage (stratégie d'exploration visuelle) 		
<p>Biais cognitif & Heuristique Biais émotionnel ou heuristique de l'affect</p>	<p>Heuristique : <u>stratégie de raccourci mental/cognitif dans les activités de jugement ou de prise de décision</u>, reposant sur un minimum d'information et de ressources cognitives. Les heuristiques sont le plus souvent utiles mais elles peuvent parfois conduire à des erreurs de jugement, elles sont alors considérées comme des biais. Biais et heuristiques sont quasi automatiques, ils sont le fruit du 'système 1' de pensée selon Kahneman (2012), système opérant très rapidement, avec peu ou pas de contrôle attentionnel et de contrôle conscient</p> <p><u>Heuristique de disponibilité</u> conduit à juger ou décider à partir des informations immédiatement disponibles en mémoire (plus récentes ou souvent répétées, etc.).</p> <p><u>Biais de confirmation</u> : consiste à sélectionner ou interpréter l'information de façon à confirmer une idée préconçue ou une hypothèse et minimiser ou nier l'information qui montrerait que l'idée est fausse</p>	<p>Finucane M. L., Alhakami A., Slovic P., Johnson S. M. (2000). The affect heuristic in judgments of risks and benefits. <i>Journal of Behavioral Decision Making</i>, 13(1), 1-17</p> <p>Kahneman D. (2012). <i>Système 1/Système 2. Les deux vitesses de la pensée</i>. Paris : Flammarion</p>

¹¹² Amalberti R. (2013). *Piloter la sécurité. Théories et pratiques sur compromis et arbitrages nécessaires*. Paris: Springer-Verlag France.

	<p><u>Biais d'optimisme (ou optimisme comparatif)</u> : tendance à croire que, comparativement à un groupe de référence, on a plus de chance de vivre un événement positif et moins de chance de vivre un événement négatif.</p> <p><u>Heuristique de l'affect</u> : jugements et décisions sont directement guidés par des sentiments de préférence ou d'aversion (<i>feelings of liking and disliking</i>) avec peu de délibération ou de raisonnement</p>	
Bien-être	Le bien-être subjectif est formellement défini par l'OCDE comme un plutôt bon état mental de la personne incluant une évaluation plutôt positive de sa vie ainsi que des réactions affectives plutôt positives à ses expériences (notre traduction)	https://www.oecd.org/fr/wise/mesurer-bien-etre-et-progres.htm
	L'OCDE a publié un guide de la mesure du bien-être subjectif	https://www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-guidelines-on-measuring-subjective-well-being_9789264191655-en
<p>Charge mentale (ou cognitive), charge de travail, ressources cognitives</p> <p>Ces concepts sont controversés mais ils sont opérationnels pour proposer des explications partielles du comportement de l'humain utilisant ou interagissant avec une machine/technologie</p>	<p><u>Charge mentale ou charge cognitive</u> : effort mental (pour mieux saisir le concept, faire le parallèle avec l'effort physique) nécessaire à la réalisation d'une activité donnée et qui dépend de l'activité, du niveau d'expertise de la personne, des stratégies adoptées pour réaliser l'activité, de la quantité et la complexité des informations à traiter, de la présence d'interférences dans la situation. La charge mentale peut être évaluée de plusieurs manières¹¹³: en l'inférant à partir du temps dévolu à une tâche ; en interrogeant le sujet après réalisation de la tâche (e.g., questionnaire NASA-TLX¹¹⁴ ; par des mesures physiologiques¹¹⁵).</p> <p>La charge mentale ne doit pas être confondue avec la <u>charge de travail</u>, cette dernière implique de considérer le degré de mobilisation (physique, cognitive, psychique) de l'individu lors d'une activité en fonction du niveau d'exigence (contrainte) associé (objectifs, résultats attendus, qualité à obtenir, etc.)</p> <p>Quant aux <u>ressources cognitives</u>, elles pourraient être assimilées à une forme d'énergie mentale disponible pour un individu donné pour une tâche donnée à un instant donné ; elles sont associées aux ressources attentionnelles</p> <p>Selon le <u>modèle des ressources multiples</u>¹⁰⁷, la mobilisation des ressources cognitives dépend de ce que les tâches sont réalisables en série ou en parallèle, de</p>	<p>De Montmollin M. (dir) (1995). <i>Vocabulaire de l'ergonomie</i>. Toulouse : Octarès</p> <p>Tricot A., Chanquoy L. (1996). La charge mentale, "vertu dormitive" ou concept opérationnel. <i>Psychologie Française</i>, 41(4), 313-318</p> <p>Barouillet P. (1996). Ressources, capacité cognitives et mémoire de travail : postulat, métaphores et modèles. <i>Psychologie Française</i>, 41(4), 319-338</p> <p>Falzon P., Sauvagnac C. (2004). Charge de travail et stress. In : P. Falzon (dir), <i>Ergonomie</i> (chapitre 11). Paris : PUF</p> <p>Cegarra J., Chevalier A. (2008). The use of Tholos software for combining measures of mental workload: Toward theoretical and methodological improvements. <i>Behavior</i></p>

¹¹³ Larue J. (2002). La charge mentale de travail. Cahiers de l'INSEP. https://www.persee.fr/doc/insep_1241-0691_2002_num_33_1_1689 (lien vérifié 03/05/2022)

¹¹⁴ Cegarra J., Morgado N. (2009). Etude des propriétés de la version francophone de NASA-TLX. In : B. Cahour, F. Anceaux, A. Giboin (eds), *Actes du 5^{ème} Colloque De Psychologie Ergonomique EPIQUE 2009* (pp. 233-239). Nice, 28-30 septembre

¹¹⁵ Hancock et al. (2021). Mental workload. In: G. Salvendy and W. Karwowski (eds) (2021). *Handbook of human factors and ergonomics 5th Edition*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons

	l'étape de la réalisation de la tâche (perception, cognition, réponse), des modalités perceptives, et encore d'autres dimensions (voir aussi Cegarra & Chevalier, 2008)	<i>Research Methods</i> . https://doi.org/10.3758/BRM.40.4.988
Compétences	« Ensembles stabilisés de savoirs et de savoir-faire, de conduites types, de procédures standard, de types de raisonnement, que l'on peut mettre en œuvre dans des apprentissages nouveaux et qui sédimentent et structurent les acquis de l'histoire professionnelle : elles permettent l'anticipation des phénomènes, l'implicite dans les instructions, la variabilité dans la tâche »	Définition de Montmollin cité par Rogalski J., Marquié J.-C. (2004). Evolution des compétences et des performances. In : Hoc J.-M., Darses F. (dir), <i>Psychologie ergonomique : tendances actuelles</i> (Chapitre 7). Paris : PUF
Compromis cognitif	Activité de supervision interne de la cognition : réglage dynamique de la mobilisation cognitive pour atteindre/maintenir un niveau satisfaisant de performance	Amalberti R. (1996). La conduite de systèmes à risques. Paris : PUF Amalberti R. (2001). La maîtrise des situations dynamiques. <i>Psychologie française</i> , 46(2), 107-118
Confiance, biais de complaisance	La confiance peut être considérée sous l'angle d'une relation tripartite au sein de laquelle A attend de B qu'il fasse ou soit X (Hardin, 2001). La confiance peut donc être définie en termes de degré d'attente de l'agent A envers B (une personne, un groupe de personnes, une organisation institutionnelle, une technologie, une machine, un système humain-machine, etc.) pour réaliser ce que A attend de B. Il est à noter que l'OCDE a publié un guide de la mesure de la confiance (interpersonnelle, institutionnelle, etc.) Le biais de complaisance (<i>automation-induced complacency</i>) dans le domaine des systèmes humain-machine s'observe lorsque l'opérateur tend à être surdépendant de la machine, ce qui peut être dû à un excès de confiance dans la machine • Un article LAMIH SHV sur la confiance : Rajaonah et al. (2006) ¹¹⁶	Bandura A. (2007). <i>Auto-efficacité. Le sentiment d'efficacité personnelle</i> . Bruxelles : Editions De Boeck Université Hardin R. (2001). Conceptions and explanations of trust. In: K.S. Cook (ed), <i>Trust in society</i> (pp. 3-39). New York, NY: Russel Sage Foundation https://www.oecd-ilibrary.org/governance/oecd-guidelines-on-measuring-trust_9789264278219-en Lee J. D., Moray N. (1994). Trust, self-confidence, and operators' adaptation to automation. <i>International Journal of Human-Computer Studies</i> . https://doi.org/10.1006/ijhc.1994.1007
Confiance en soi, auto-efficacité	La confiance en soi est le degré de croyance en ses propres capacités pour réaliser un objectif donné. Dans le domaine des systèmes humain-machine, elle renvoie à l'anticipation de sa propre performance en cas de contrôle « en manuel » L'auto-efficacité perçue concerne les évaluations par l'individu de ses aptitudes personnelles tandis que l'estime de soi concerne les évaluations par l'individu de sa valeur personnelle	Parasuraman R., Riley V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. <i>Human Factors</i> . https://doi.org/10.1518/001872097778543886

¹¹⁶ Rajaonah B., Anceaux F., Vienne F. (2006). Trust and the use of adaptive cruise control: A study of a cut-in situation. *Cognition, Technology & Work*. <https://doi.org/10.1007/s10111-006-0030-3>

	Une mesure de la confiance en soi par entretien ou questionnaire pourrait intégrer toutes ces dimensions	
Conscience de la situation (<i>situation awareness</i>)	<p>Selon Endsley, la conscience de la situation (CS) pour un opérateur signifie qu'il/elle sait ce qui se passe autour de lui/elle pour un objectif donné à un moment donné ; c'est "un modèle mental internalisé de l'état actuel de l'environnement d'une personne"</p> <p>La CS a trois niveaux : perception des éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace, compréhension de leur sens et projection de leur statut dans le futur proche</p> <p>La qualité de la conscience de la situation est impactée par les capacités limitées de l'attention et de la mémoire de travail</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMIH Automatique sur la conscience de la situation : Millot (2015)¹¹⁷ 	<p>Endsley M. R. et al. (1998). A comparative analysis of SAGAT and SART for evaluations of situation awareness. In: <i>Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting</i>. https://doi.org/10.1177/154193129804200119</p> <p>Endsley M. R. (1995). Measurement of situation awareness in dynamic systems. <i>Human Factors</i>. https://doi.org/10.1518/001872095779049499</p> <p>Endsley M. R. (2021). Situation awareness. In G. Salvendy & W. Karwowski (eds), <i>Handbook of Human Factors and Ergonomics - Fifth Edition</i> (Chapter 17, pp. 434-455). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781119636113.ch17</p>
	<p>Deux méthodes souvent utilisées pour évaluer la conscience de la situation :</p> <p>(i) SAGAT (<i>situation awareness global assessment technique</i>), utilisée dans les études sur simulateur et basée sur des questions sur l'environnement, interrogeant les 3 niveaux de CS juste après interruption de la tâche en cours (gel de la simulation)</p> <p>(ii) SART (<i>situation awareness rating technique</i>)¹¹⁸ basée sur un questionnaire à 10 items d'autoévaluation des 3 niveaux de CS complété après chaque essai</p>	
Contrôle cognitif	<p>Le contrôle cognitif est défini par Hoc et Amalberti (2007) par un contrôle sur les activités cognitives, lequel contrôle en retour la situation externe</p> <p>Rasmussen (1983) distingue dans son modèle SRK trois catégories de comportements à chacune desquelles est rattaché une catégorie de performance, le niveau d'abstraction des activités (Rasmussen, 1976) et un coût cognitif, attentionnel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Performance basée sur les routines (skills-based behaviour) : performance sensori-motrice au cours d'action ou d'activité de 'bas niveau' se déroulant quasi sans contrôle conscient ; 	<p>Hoc J. M., Amalberti R. (2007). Cognitive control dynamics for reaching a satisficing performance in complex dynamic situations. <i>Journal of Cognitive Engineering and Decision Making</i>. https://doi.org/10.1177%2F155534340700100102</p> <p>Rasmussen J. (1976). Outlines of a hybrid model of the process plant operator. In: Sheridan T.B., Johansen G. (eds), <i>Monitoring behavior and supervisory control</i>. NATO Conference Series,</p>

¹¹⁷ Millot P. (2015). Situation Awareness: Is the glass half empty or half full? *Cognition, Technology & Work*. <https://doi.org/10.1007/s10111-015-0322-6>

¹¹⁸ SART : <https://ext.eurocontrol.int/ehp/?q=node/1608> (accès à la page le 24 mars 2022, à 12 :10)

	<ul style="list-style-type: none"> - Performance basée sur les règles de type Si-Alors (<i>rules-based behaviour</i>). La frontière entre ‘<i>skills-based</i>’ et ‘<i>rules-based</i>’ est ténue, elle dépend du niveau de formation de l’opérateur et de son attention ; - Performance basée sur les connaissances (<i>knowledge-based behaviour</i>) avec un coût cognitif élevé <p>Le contrôle cognitif s’exerce donc sur un continuum croissant des activités automatisées aux activités de haut niveau d’abstraction (e.g., planification)</p> <p>Le compromis cognitif est le réglage du contrôle cognitif, i.e., de l’allocation des ressources cognitives, pour obtenir une performance satisfaisante et une maîtrise (subjective) de la situation (« je contrôle ») compte tenu des contraintes externes environnementales et internes (métacognition)</p> <p>Des types d’erreurs humaines peuvent être associés à chacun de ces niveaux (voir Erreur humaine)</p>	<p>Vol. 1 (pp. 371-382). Boston, MA: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2523-9_31</p> <p>Rasmussen J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. <i>IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics</i>. https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160</p>
Coping	Se réfère aux efforts cognitifs et comportementaux de la personne pour faire face aux situations stressantes	Charron C., Dumet N. Guéguen N. Lieury A., Rusinek S. (2020). <i>Les 500 mots de la psychologie</i> . Malakoff, France : Dunod

<p>Émotions, sentiments</p>	<p>[1] Damasio A.R. (1999). <i>Le sentiment même de soi. Corps, émotions, conscience</i>. Paris : Editions Odile Jacob</p> <p>[2] Damasio A.R. (2021). <i>Sentir et savoir. Une nouvelle théorie de la conscience</i>. Paris : Editions Odile Jacob</p> <p>« Les émotions sont des ensembles compliqués de réponses chimiques et neuronales » ; et même si « l'apprentissage et la culture altèrent l'expression des émotions, elles sont des processus biologiquement déterminés qui dépendent de dispositifs cérébraux établis de façon innée » ; toutes les émotions utilisent le corps comme leur théâtre (milieu interne, système viscéral, vestibulaire et musculo-squelettique) [1]</p> <p>On peut distinguer les 6 émotions dites primaires, universelles (bonheur, tristesse, peur, colère, surprise, dégoût), les émotions dites secondaires, sociales (e.g., embarras, jalousie, culpabilité, orgueil) et les émotions d'arrière-plan (e.g., bien-être, malaise, calme, tension) [1]</p> <p>La fonction biologique des émotions est double : (i) production d'une réaction spécifique à la situation inductrice (e.g., s'enfuir) ; (ii) régulation interne de l'organisme afin qu'il puisse être prêt pour la réaction spécifique (e.g., en cas de réaction de fuite : augmentation du flux sanguin dans les artères des jambes pour apporter de l'oxygène et du glucose dans les muscles) [1]</p> <p>Les sentiments sont des configurations sensorielles [1], des perceptions interactives, des expériences mentales [2]. Tous les sentiments sont conscients [2]</p>	<p>RAISON SUPERIEURE Des programmes complexes, flexibles et personnalisés de réponse sont formulés dans des images conscientes et peuvent être exécutés sous la forme d'un comportement.</p> <p>CONSCIENCE</p> <p>SENTIMENTS Des configurations sensorielles signalant douleur, plaisir et émotions deviennent des images.</p> <p>EMOTIONS Des schémas de réponse stéréotypés et complexes qui comprennent des émotions secondaires, des émotions primaires et des émotions d'arrière-plan.</p> <p>REGULATION BIOLOGIQUE FONDAMENTALE Des schémas de réponse relativement simples, qui comprennent la régulation métabolique ; les réflexes, les rouages biologiques sous-jacents à ce qui va devenir douleur et plaisir ; les pulsions et les motivations.</p> <p><i>Figure 49 Niveaux de régulation biologique selon Damasio ([1], p. 63)</i></p>
	<p>Emotions, sentiments, conscience : les organismes équipés pour éprouver des émotions - c'est-à-dire avoir des sentiments - et équipés d'une conscience sont capables de savoir qu'ils ont des sentiments ; la conscience améliore la capacité de l'organisme à répondre de façon adaptée [1]</p> <p>Si on adopte les définitions de Damasio, il s'ensuit que le sentiment peut être subjectivement évalué à l'aide d'un questionnaire (avec une échelle numérique ou analogique visuelle) mais les émotions – lesquelles sont des « ensembles compliqués de réponses chimiques et neuronales » – ne peuvent pas l'être. On utilise d'autres outils, nécessairement en combinaison, pour inférer des émotions à partir : des expressions faciales, vocales, gestuelles et posturales ; de l'activité pupillaire ; de l'activité cardiaque ; l'activité respiratoire ; l'activité électrodermale ; l'activité musculaire ; etc.</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMI SHV sur l'initiation de la traversée de rue et les émotions : Caffier et al. (2016)¹¹⁹ •Un article LAMIH Informatique sur l'inférence de sentiment à partir de l'analyse de tweets par apprentissage profond : Mansouri et al. (2022)¹²⁰ •Un article LAMIH Automatique sur la reconnaissance d'émotion basée sur l'apprentissage profond : Bendjoudi et al. (2021)¹²¹ 	
Erreur humaine	<p>Le terme d'erreur pris au sens générique « couvre tous les cas où une séquence planifiée d'activités mentales ou physiques ne parvient pas à ses fins désirées, et quand ces échecs ne peuvent être attribués au hasard » (Reason, 1993).</p> <p>Reason catégorise les erreurs en s'adossant au modèle SRK de Rasmussen (1983) :</p> <p>(i) les erreurs dues à un défaut d'utilisation des connaissances : ces erreurs résultent de limitations de l'espace de travail, une confiance excessive, des biais de confirmation, des difficultés avec la causalité, des difficultés avec la complexité...</p> <p>(ii) les erreurs provenant de procédure inadaptée à la situation et aux contraintes : les lapsus (<i>rule-based mistakes</i>) dus à une mauvaise application de règles correctes ou à une application de règles erronées ;</p> <p>(iii) les erreurs résultant d'automatisme sensori-moteur inadapté au contexte : les ratés (<i>skills-based level of slips and lapses</i>) dus à l'inattention ou à une attention excessive</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMIH Automatique sur une piste d'étude de l'erreur humaine : Vanderhaegen et al. (2021)¹²² 	Reason J. (1993). <i>L'erreur humaine</i> . Paris : PUF
Fiabilité humaine	<p>« La position de l'ergonome, en tant que spécialiste, non pas de l'homme et de sa fiabilité, mais de la compréhension des systèmes au sein desquels l'homme agit, est pragmatique : il sait que les conditions de leur fiabilité ne peuvent aisément s'exprimer en termes de prescriptions et de normes généralisables. C'est pourquoi il se tournera une fois encore vers les méthodes d'analyse du travail pour y trouver les moyens de répondre aux questions qui lui sont posées en matière de fiabilité » (de Montmollin, page 135)</p> <p>-En termes de compromis cognitif entre objectifs conflictuels, pour atteindre une niveau de performance en gardant la maîtrise de la situation</p>	De Montmollin M. (dir) (1995). <i>Vocabulaire de l'ergonomie</i> . Toulouse : Octarès Vacher A., Darses F. (2021). Fiabilité humaine. In : Brangier É., Valléry G. (dir) (2021). <i>Ergonomie : 150 notions clés</i> (pp. 302-306). Malakoff, France: Dunod

¹¹⁹ Caffier D., Gillet C., Heurley L. P., Bourrelly A., Barbier F., Naveteur J. (2017). Initiation of forward gait with lateral occurrence of emotional stimuli: General findings and relevance for pedestrians crossing roads. *Experimental Brain Research*. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4838-7>

¹²⁰ Mansouri N., Soui M., Alhassan I., Abed M. (2022). TextBlob and BiLSTM for Sentiment analysis toward COVID-19 vaccines. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Data Science and Machine Learning Applications (CDMA)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CDMA54072.2022.00017>

¹²¹ Bendjoudi I., Vanderhaegen F., Hamad D., Dornaika F. (2021). Multi-label, multi-task CNN approach for context-based emotion recognition. *Information Fusion*. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.11.007>

¹²² Vanderhaegen F., Wolff M., Mollard R. (2021). Interface cœur-ordinateur : une piste pour l'étude des erreurs humaines ? In : *Actes de la Conférence ERGO'IA 2021*. <https://hal-phf.archives-ouvertes.fr/hal-03419357>

Homéostasie (voir Emotions et sentiments)	<p>« Le processus qui maintient les paramètres physiologiques d'un organisme vivant (température, fonctionnement des viscères, etc.) dans la fourchette la plus propice à son fonctionnement optimal et à sa survie ». L'allostasie fait référence aux mécanismes que l'organisme utilise lorsqu'il cherche à rétablir l'homéostasie.</p> <p>Les actions émotionnelles visent en général à soutenir l'homéostasie (e.g., pour faire face à une menace)</p> <p>Les sentiments sont les expériences mentales qui suivent et accompagnent divers états de l'homéostasie</p>	Damasio A.R. (2021). <i>Sentir et savoir. Une nouvelle théorie de la conscience</i> . Paris : Editions Odile Jacob
Mémoire et mémoires	<p>Définition « efficace » de l'INSERM : la mémoire est une fonction qui enregistre, conserve et restitue les informations pour interagir avec l'environnement ; la mémoire est constituée de systèmes interconnectés impliquant des réseaux neuronaux distincts</p> <p>On peut distinguer : la mémoire à long terme comprenant la mémoire sémantique du langage et des connaissances sur le monde et sur soi ainsi que la mémoire épisodique des moments personnellement vécus nous permettant de nous situer dans le temps et l'espace et de nous projeter dans le futur ; la mémoire procédurale implicite des savoir-faire, des habiletés motrices, perceptives et cognitives, des automatismes ; la mémoire perceptive qui permet de se rappeler des visages, des voix, des lieux ; et, enfin, la mémoire de travail du présent, sollicitée en permanence et fonctionnant comme une mémoire tampon</p> <p>La mémoire de travail est un système de maintien temporaire et de manipulation de l'information, nécessaire pour réaliser des activités complexes comme la compréhension, l'apprentissage, le raisonnement. Elle a une capacité limitée et c'est sa composante attentionnelle qui sélectionne, contrôle et coordonne les opérations de traitement</p> <p>De nombreuses expérimentations sur le fonctionnement de la mémoire dans Lieury A. (2021). <i>Psychologie de la mémoire. Histoire, théories, expériences</i>. Malakoff, France : Dunod</p>	<p>https://www.inserm.fr/dossier/memoire/</p> <p>Baddeley A. (2010). Working memory. <i>Current Biology</i>. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014</p> <p>Klein S.B (2015). What memory is. <i>WIRESS Cognitive Science</i>. https://doi.org/10.1002/wcs.1333</p> <p>Poos J. M., Jiskoot L. C., Papma J. M., van Swieten J. C., van den Berg E. (2018). Meta-analytic review of memory impairment in behavioral variant frontotemporal dementia. <i>Journal of the International Neuropsychological Society</i>. https://doi.org/10.1017/S1355617718000115</p> <p>Plateforme Loterre : https://skosmos.loterre.fr/P66/fr/</p>
Mode opératoire	Le mode opératoire est la façon de faire pour atteindre un certain but dans une situation donnée. Dépend de l'opérateur (formation, expérience, âge, etc.) et de l'environnement (évolution des technologies et des règles, outils disponibles, environnement social, etc.)	Sperandio J.-C. (2021). Mode opératoire. In : Brangier É., Valléry G. (dir) (2021). <i>Ergonomie : 150 notions clés</i> (pp. 366-369). Malakoff, France: Dunod
Perception du temps	Jugement temporel : le sens du temps rend compte de la capacité de percevoir avec précision la durée d'un événement ou d'un intervalle entre deux événements dans une gamme temporelle allant de quelques centaines de millisecondes à plusieurs secondes	Droit-Volet S. (2019). L'ère des temps psychologiques. <i>Journal of Interdisciplinary Methodologies and Issues in Science</i> . https://doi.org/10.18713/JIMIS-160419-7-8

	<p>Pression temporelle : la pression temporelle renvoie à une composante objectivable qui est le manque de temps pour réaliser une activité et une composante expérientielle, subjective, qui est le ressenti d’être pressé-e (en raison d’une perception de manque de temps)</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un article de recherche LAMIH SHV sur la pression temporelle et conduite automobile : Coeugnet et al. (2013)¹²³ 	<p>Coeugnet S., Charron C., Ribert-Van De Weerd C., Anceaux F., Naveteur J. (2011). La pression temporelle : un phénomène complexe qu’il est urgent d’étudier. <i>Le travail humain</i>. https://doi.org/10.3917/th.742.0157</p>
Référentiel commun	<p>« Représentation fonctionnelle commune aux [co-]opérateurs, qui oriente et contrôle l’activité que ceux-ci exécutent collectivement » (Leplat, 1991) et constitue la base de la coopération. Par exemple, le référentiel commun à l’ergonome, les informaticiens et les utilisateurs lors de la conception d’une interface utilisateur peut être un modèle de l’utilisateur de l’application qui fait l’objet de l’interface</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMIH Automatique sur le référentiel commun : Annebicque et al. (2008)¹²⁴ 	<p>Giboin A. (2021). Référentiel commun. In : Brangier É., Valléry G. (dir) (2021). <i>Ergonomie : 150 notions clés</i> (pp. 430-433). Malakoff, France : Dunod</p>
Stress	<p>Le stress peut être défini comme un « état dynamique traduisant un déséquilibre psychophysiologique entre les ressources estimées et les exigences perçues lors de situations contraignantes »</p>	<p>Falzon P., Sauvagnac C. (2004). Charge de travail et stress. In : P. Falzon (dir), <i>Ergonomie</i> (chapitre 11). Paris : PUF</p>
Troubles musculo-squelettiques (TMS)	<p>« L’expression ‘troubles musculo-squelettiques’ TMS regroupe ou un ensemble de maladies localisées au niveau ou autour des articulations : poignets, coudes épaules, rachis ou encore genoux » : https://travail-emploi.gouv.fr/sante-au-travail/prevention-des-risques-pour-la-sante-au-travail/article/troubles-musculo-squelettiques</p> <p>Les TMS sont des maladies professionnelles. Dans ce sens, ils affectent les humains au travail. Les TMS sont généralement les conséquences de l’activité du point de vue du schéma à 5 carrés en ergonomie. Mais comme le modèle des régulations nous indique que les conséquences de la veille sont les déterminants du lendemain, les travailleurs exprimant des TMS intègre cette dimension TMS dans leur activité et agissent en fonction. Dans ce sens, les TMS peuvent faire partie des facteurs humains (Rémy Hubaut, 10/02/2022, 15h22)</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMIH SHV sur le risque de TMS : Hubaut et al. (2022)¹²⁵ 	
Vigilance	<p>État de préparation de l’organisme à détecter et à répondre à des changements qui se produisent dans l’environnement à des intervalles de temps irréguliers</p> <p>La vigilance est liée à l’aspect d’intensité de l’attention</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMIH Automatique sur la vigilance : Popieul et al. (2003)¹²⁶ 	<p>Van Eslande P., Jaffard M., Fouquet K., Fournier J.-Y. (2009). <i>De la vigilance à l’attention</i>. Rapport INRETS N° 280. Marne la Vallée, France : IFSTTAR.</p>

¹²³ Coeugnet S., Naveteur J., Antoine P., Anceaux F. (2013). Time pressure and driving: Work, emotions and risks. *Transportation Research Part F*. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.05.002>

¹²⁴ Annebicque D., Debernard S., Poulain T., Crevits I. (2008). AMANDA V3: Toward a common workspace between Air Traffic Controllers. In: *Proceedings of the First International Conference on Advances in Computer-Human Interaction*. <https://doi.org/10.1109/ACHI.2008.47>

¹²⁵ Hubaut R., Guichard R., Greenfield J., Blandeau M. (2022). Validation of an Embedded Motion-Capture and EMG Setup for the Analysis of Musculoskeletal Disorder Risks during Manhole Cover Handling. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s22020436>

¹²⁶ Popieul J.-C., Simon P., Loslever P. (2003). Using driver's head movements evolution as a drowsiness indicator. In: *Proceedings of the IEEE IV2003 Intelligent Vehicles Symposium*. <https://doi.org/10.1109/IVS.2003.1212983>

B.3 Approche de conception centrée utilisateurs

B.3.1 Définitions

L'approche de conception centrée sur l'utilisateur est formellement définie par l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) comme une approche « ayant pour objectif d'améliorer l'utilisabilité des systèmes interactifs en se concentrant sur l'utilisation du système concerné, et en appliquant les connaissances et techniques existantes en matière de facteurs humains/d'ergonomie et d'utilisabilité »¹²⁷. Comme il est noté dans les 150 notions clés de l'ergonomie¹²⁸, « la notion de conception centrée utilisateurs¹²⁹ (CCU) recouvre différentes démarches - *design centré utilisateurs, conception centrée sur l'humain, user-centered design, interaction design, etc.* » - toutes ces démarches CCU ayant en commun : l'intégration des usagers dans les projets de conception, à différents degrés (voir Figure 50) ; une plus grande souplesse de certain types de projets, notamment quand des décisions techniques peuvent être remises en cause ; l'exploration et l'évaluation du système concerné via des maquettes, prototypes, simulations tout au long de la phase de conception ; une grande compréhension de l'utilisateur et des activités réelles dans laquelle il/elle interagira avec le système concerné ; l'anticipation des usages et des contextes d'utilisation.

Les chercheurs du département Informatique du LAMIH travaillant sur la conception et l'évaluation de systèmes

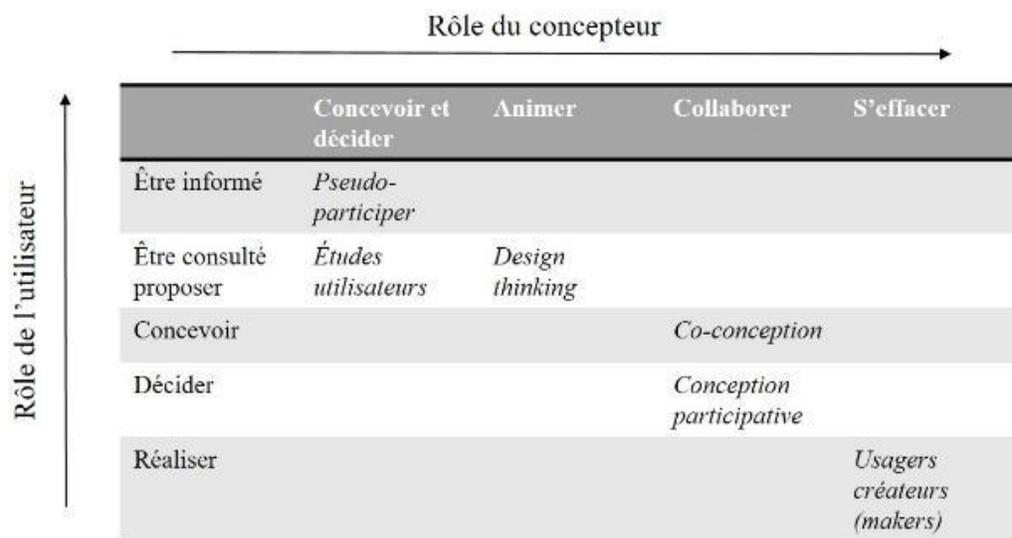


Figure 50 Les démarches centrées utilisateurs (d'après Safin, 2021¹²⁸, p. 186)

¹²⁷ ISO 9241-210:2019(fr). Ergonomie de l'interaction homme-système — Partie 210 : Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:77520:fr>

¹²⁸ Safin S. (2021). Conception centrée utilisateurs. In : Brangier É., Valléry G. (dir). *Ergonomie : 150 notions clés* (pp. 183-187). Malakoff, France : Dunod

¹²⁹ Conformément à l'écriture dans les 150 notions clés de l'ergonomie, la forme au pluriel (utilisateurs) est la plus souvent utilisée dans ce document

interactifs, adaptatifs et multimodaux¹⁰ appliquent systématiquement une approche de conception centrée utilisateurs (projets **ValMobile**⁵⁹, **SAMDI**⁶⁰, **ParkisonCom**⁹², **SGH-HANDI**¹³⁰). Ce type d'approche permet de travailler sur la personnalisation du système (voir : Kolski, 2011¹³¹, Bacha et al., 2011¹³², Gonçalves et al., 2018¹³³, Guerrier et al., 2021¹³⁴) et favorise son acceptation.

L'idée de **conception centrée sur l'utilisateur et son écosystème** est de tenir compte systématiquement de l'utilisateur-utilisatrice ET des parties prenantes de son environnement (Guffroy et al., 2017)¹³⁵; par exemple, dans le cas de la conception d'un dispositif interactif destiné à des personnes handicapées, il s'agit de tenir compte de la personne handicapée et des personnes qui interagissent avec elle (membres de la famille, personnel soignant, accompagnants, enseignants, etc.), certaines pouvant devenir des utilisatrices directes ou indirectes du dispositif, dans différents contextes.

L'idée de **conception universelle** vise à aller au-delà d'utilisateurs finaux particuliers, elle vise à faciliter tous les usages par des populations moins spécifiques avec l'esprit de d'abord prendre en compte les contraintes de la minorité d'une population avec l'idée que la majorité en bénéficiera, par exemple en intégrant systématiquement certaines des caractéristiques des personnes présentant les contraintes (motrices, sensorielles ou cognitives) les plus lourdes (Lespinet-Najib et al., 2017¹³⁶). On trouve la définition de l'ONU de la conception universelle dans la Convention relative aux droits des personnes handicapées et Protocole facultatif¹³⁷, page 5 : « conception de produits, d'équipements, de programmes et de services qui puissent être utilisés par tous, dans toute la mesure possible, sans nécessiter ni adaptation ni conception spéciale ».

¹³⁰ <https://www.uphf.fr/LAMIH/fr/serious-game-sg-de-sensibilisation-lintegration-la-prevention-de-la-desinsertion-professionnelle-et> (lien vérifié le 03/05/2022)

¹³¹ Kolski C. (ed) (2011). *Human-computer interactions in transport*. Wiley-ISTE

¹³² Bacha F., de Oliveira K., Abed M. (2011). Providing personalized information in transport systems: A Model Driven Architecture approach. In: *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Logistics*. <https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA.2011.5939442>

¹³³ Gonçalves T. G., de Oliveira K. M., Kolski C. (2018). Identifying HCI approaches to support CMMI-DEV for interactive system development. *Computer Standards & Interfaces*. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2017.12.003>

¹³⁴ Guerrier Y., Kolski C., Delcroix V. (2021). Vers une modélisation d'utilisateur avec paralysie cérébrale pour la conception de système interactif. In : *Actes de la 32e conférence francophone sur l'Interaction Humain-Machine (IHM'2021)*. NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/3451148.3458636>

¹³⁵ Guffroy M., Nadine V., Kolski C., Vella F., Teutsch P. (2017). From human-centered design to disabled user & ecosystem centered design in case of assistive interactive systems. *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development*. <https://doi.org/10.4018/IJSKD.2017100103>

¹³⁶ Lespinet-Najib V., Riche A., Chibaudel Q. (2017). Santé et handicap : d'une conception centrée « utilisateur » à la conception universelle. *Annales des Mines – Réalités industrielles*. <https://doi.org/10.3917/rindu1.172.0025>

¹³⁷ <https://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-f.pdf> (lien vérifié 03/05/2022)

L'approche universelle est donc plus inclusive, elle est basée sur 7 principes qui ont été définis par l'architecte Ronald Mace atteint de poliomyélite à l'âge de 9 ans¹³⁸. Ces principes sont souvent cités, par exemple, Orsoni (2019)¹³⁹ et Fofona-Sevestre (2009)¹⁴⁰ : utilisation égalitaire (conception utile et commercialisable auprès de personnes ayant différentes capacités) ; flexibilité d'utilisation (vaste gamme de préférences et de capacités individuelles); utilisation simple et intuitive (utilisation facile à comprendre, indépendamment de l'expérience, des connaissances, des compétences linguistiques ou du niveau de concentration au moment de l'utilisation) ; information perceptible (communication efficace de l'information nécessaire, quelles que soient les conditions ambiantes ou les capacités sensorielles de la personne) ; tolérance pour l'erreur (réduction au minimum des dangers et des conséquences adverses des accidents ou des actions involontaires) ; effort physique minimal (utilisation efficace et confortable, avec une fatigue minimale) ; dimensions et espace libre pour l'approche et l'utilisation (conception prévoyant une taille et un espace adéquats au moment de s'approcher, de saisir, de manipuler et d'utiliser, quelles que soient la taille, la posture et la mobilité de l'utilisateur).

→ Rappel : dans le présent document, l'approche facteurs humains est appliquée aux systèmes humain-machine dans les situations dynamiques et les facteurs humains sont des caractéristiques humaines. Dans l'approche centrée utilisateurs, les variables d'évaluation incluent en revanche aussi bien des facteurs humains que des variables caractérisant des dispositifs. Dans une approche de conception universelle, il s'y ajouterait des évaluations du caractère universel de l'objet incluant les environnements de son usage (infrastructures, bâtiments, moyens de partage de l'information, prise en compte des cultures, etc.) ; les 7 principes de Mace¹³⁹ pourraient alors être utilisés comme grille d'élaboration de métriques de la conception universelle (un thème de recherche intéressant pour des candidat-e-s à la recherche...)

¹³⁸ <https://www.britannica.com/biography/Ronald-L-Mace> (lien vérifié le 03/05/2022)

¹³⁹ Orsoni F. (2019). La conception universelle au service de l'autonomie de tous. *Constructif*. <https://doi.org/10.3917/const.053.0047>

¹⁴⁰ Fofana-Sevestre R., Sarnowski F. (2009). Universal Design. Les principes de la conception universelle appliqués aux bibliothèques. *Bulletin des Bibliothèques de France*. <https://bbf.enssib.fr/consulter/bbf-2009-05-0012-002> (id.)

B.3.2 Les variables dans l'approche de conception centrée utilisateurs

Le Tableau 2 présente une liste de variables et d'attributs que l'on peut prendre en compte dans les évaluations de l'approche centrée utilisateurs.

Comme pour le Tableau 1, la liste n'est pas exhaustive. Les variables et attributs sont présentés par ordre alphabétique. Ce deuxième tableau semble moins homogène mais cela est dû à la grande diversité des variables. Les facteurs humains du Tableau 1 sont signalées par une astérisque (*) pour y renvoyer les lecteurs-lectrices. Les attributs et variables propres aux artefacts sont précédés du symbole #. Des variables relatives à la RV figurent dans le Tableau 2 même si ces variables ne sont pas systématiquement associées à une approche de conception centrée utilisateurs. Les définitions sont toutes référencées, aucune n'est discutée. Ces références sont utiles à l'étudiant-e qui souhaite en savoir plus ou trouver un sujet de recherche pas ou peu exploré, par exemple, la création de variables d'évaluation de l'adaptabilité universelle d'une interface comportementale sensori-motrice...

Tableau 2 Variables et attributs dans l'approche de conception centrée utilisateurs, par ordre alphabétique. Les variables présentées comme facteurs humains dans le Tableau 1 sont signalées ici par une astérisque renvoyant au Tableau 1, les variables et attributs propres à l'artefact sont précédées du symbole #

Variables et attributs	Définitions	Références
*Acceptabilité		Venkatesh V., Morris M. G., Davis G. B., Davis F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. <i>MIS Quarterly</i> , 27(3), 425-478.
* Acceptation		
*Acceptabilité sociale <i>a priori</i>		
Acceptabilité Acceptation	<p>En considérant les technologies en situation professionnelle, Bobillier-Chaumon et Dubois (2009) définissent l'acceptabilité en termes de pronostic d'usage et l'acceptation « comme le déploiement d'un ensemble des conduites réelles d'adoption mises en œuvre par l'individu et/ou un collectif, dans le cadre des activités effectives au sein de l'organisation » (p. 362). L'acceptation repose sur de nombreuses dimensions (intra-individuelles, interindividuelles, socio-organisationnelles, trans-personnelles, impersonnelles) qu'il conviendrait de prendre en compte dans l'analyse de l'acceptation d'une technologie.</p> <p>Le présent document ne considère pas ce cadre particulier des activités professionnelles mais les concepts d'acceptabilité et d'acceptation étant souvent évoqués dans la recherche appliquée il est bon de savoir qu'il existe de nombreux cadres théoriques et de nombreuses définitions</p>	Bobillier-Chaumon M. E., Dubois M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? <i>Le travail humain</i> . https://doi.org/10.3917/th.724.0355
# Adaptation # Adaptabilité # Adaptivité	<p>L'adaptation d'une interface en IHM est caractérisée par deux propriétés :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Adaptabilité (<i>adaptability</i>) : propriété caractérisant une interface utilisateur adaptable, c'est-à-dire qui peut être adaptée, modifiée par l'utilisateur selon ses besoins -Adaptivité : propriété caractérisant une interface utilisateur capable de changer son comportement automatiquement pour correspondre à un individu ou un groupe d'individus <p>L'espace d'adaptation peut être décrit sur 4 axes (Cause, Objet, Quand et Acteur) – voir #Plasticité</p>	<p>Thevenin D. (1999). La plasticité en interaction homme-machine. In : <i>Actes de la 11ème conférence sur l'Interaction Homme-Machine IHM'99</i>. http://iihm.imag.fr/thevenin/papiers/IIHM'99/125-rencontresDoctorales.pdf</p> <p>Thevenin D., Coutaz J. (1999). Plasticity of user interfaces: Framework and research agenda. In. Sasse M.A., Johnson C. (eds), <i>Human-Computer Interaction-INTERACT'99</i>. Amsterdam: IOS Press. http://iihm.imag.fr/publs/1999/interact99_plasticite.pdf</p>

	<p>On peut trouver des mesures de l'adaptation dans Camara et al. (2014). https://dx.doi.org/10.46298/jips.58</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMIH Informatique sur l'adaptation : Hariri et al. (2009)¹⁴¹ 	
Adoption	Selon Bobillier-Chaumon et Dubois (2009), l'adoption d'une technologie est un processus qui s'inscrit dans un continuum allant de l'acceptabilité à l'acceptation effective	Bobillier-Chaumon M. E., Dubois M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? <i>Le travail humain</i> . https://doi.org/10.3917/th.724.0355
# Affordance (suggestibilité)	<p>Renvoie à la « capacité qu'a l'organisme vivant de guider son comportement en percevant ce que l'environnement lui offre en termes de potentialités ». Les objets de notre environnement sont plus ou moins affordants, selon que certaines caractéristiques physiques de ces objets, comme la forme, la taille, la masse ou la couleur, peuvent suggérer des types particuliers de comportements et d'usages (Dinet, 2021)</p> <p>Les affordances ne sont pas des propriétés fixes, ce sont des possibilités d'interactions que la personne peut percevoir ou non. Et en conception, ce qui compte ne sont pas tant les affordances que la perceptibilité sur l'interface de signaux suggérant des actions (Norman, 1993) : « <i>signifiers are signs, perceptible signals of what can be done</i> » (Chapitre 1)</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMIH SHV sur les affordances : Marcilly et al. (2006)¹⁴² 	<p>Dinet J. (2021). Affordance – suggestibilité. In : Brangier É., Valléry G. (dir) (2021). <i>Ergonomie : 150 notions clés</i> (pp. 96-99). Malakoff, France: Dunod</p> <p>Norman D. (2013). <i>The design of everyday things. Revised and expanded version</i>. New York: Basic Books</p>
# Accessibilité	« Degré selon lequel des produits, des systèmes, des services, des environnements et des installations peuvent être utilisés par des personnes appartenant à une population ayant le plus large éventail possible de besoins, de caractéristiques et de capacités des utilisateurs pour atteindre des buts définis dans des contextes d'utilisation identifiés »	ISO 9241-210:2019(fr). Ergonomie de l'interaction homme-système — Partie 210 : Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:fr

¹⁴¹ Hariri A., Lepreux S., Tabary D., Kolski C. (2009). Principes et étude de cas d'adaptation d'IHM dans les SI en fonction du contexte d'interaction de l'utilisateur. *Ingénierie des Systèmes des Informations*. <https://dx.doi.org/10.3166/isi.14.3.141-162>

¹⁴² Marcilly R., Anceaux F., Luyat M., Tijus C. (2006). Affordances and Cognitive Control of Dynamic Situations. In: Vanderhaegen et al. (eds), *Proceedings of the 25th European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control (EAM'06)*. Valenciennes, France : Presses Universitaires de Valenciennes

	Un article LAMIH sur l'accessibilité : Debril et al. (2007) ¹⁴³	
*Attention		
<p>« Critères de Bastien & Scapin et Scapin & Bastien »</p> <p>Il y a d'autres critères ergonomiques que ceux de Bastien & Scapin et Scapin & Bastien, mais dans ce document seuls ces derniers sont cités (pour les autres critères, lire : Bastien C., Brangier É. (2021). Critères et recommandations. In : Brangier É., Valléry G. (dir) (2021). <i>Ergonomie : 150 notions clés</i> (pp. 245-251). Malakoff, France : Dunod)</p>	<p>Leurs premiers travaux ont été initiés à l'INRIA¹⁴⁴. Ces critères ont originellement pour domaine d'application l'inspection analytique des interfaces utilisateurs basée sur l'examen expert de plusieurs dimensions d'utilisabilité.</p> <p># Guidage : comment l'interface conseille, oriente, informe et conduit l'utilisateur apprenant et utilisant un système interactif ;</p> <p># Charge de travail : comment les éléments de l'interface minimisent la charge perceptive ou mnésique de l'utilisateur et comment ces éléments augmentent l'efficacité du dialogue ;</p> <p># Actions explicites : comment les actions de l'utilisateur correspondent-elles explicitement aux opérations réalisées par le système ; et # Contrôle utilisateur : comment les utilisateurs peuvent-ils/elles contrôler les opérations en cours (annulation, interruption, pause, etc.)</p> <p># Adaptabilité : comment est-ce que le système peut réagir face au contexte, aux besoins et préférences de l'utilisateur</p> <p># Gestion des erreurs : comment le système permet d'éviter ou réduire les erreurs, et les corriger quand elles surviennent</p> <p># Homogénéité/Cohérence : comment les choix de conception de l'interface perdurent ou non en fonction du contexte</p> <p># Signification des codes et dénominations : quelle est l'adéquation entre, d'une part, les codes et dénominations de l'objet ou de l'information affichée ou entrée et, d'autre part, son référent (ex. les titres doivent véhiculer ce qu'ils représentent)</p> <p># Compatibilité : pour une application donnée, quelle est la compatibilité entre les caractéristiques de l'utilisateur (âge,</p>	<p>Bastien C., Scapin D. (1993). <i>Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces/Critères ergonomiques pour l'évaluation d'interfaces utilisateurs</i> (version 2.1). Technical report N°156. Rocquencourt, France: INRIA. https://hal.inria.fr/inria-00070012</p> <p>Scapin D.L., Bastien J.M.C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. <i>Behaviour & Information Technology</i>. https://doi.org/10.1080/014492997119806</p> <div data-bbox="1207 630 1785 1221" data-label="List-Group"> </div> <p>Figure 51 Les critères ergonomiques. Source : Scapin & Bastien (1997)</p>

¹⁴³ Debril J.-F., Pudlo P., Gorce P., Thevenon A., Lepoutre F.X. (2007). Assessment of the human articular efforts during an automobile vehicle accessibility movement. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. <https://doi.org/10.1080/10255840701479354>

¹⁴⁴ <https://www.inria.fr>

	<p>mémoire, attentes, habitudes) et l'organisation des sorties, des entrées et du dialogue</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un exemple d'application des critères ergonomiques dans un article LAMIH Informatique : Bernonville et al. (2006)¹⁴⁵ 	
Confort/Inconfort	<p>Confort : état de bien-être, d'aisance et d'harmonie physique, physiologique et psychologique entre une personne et l'environnement</p> <p>Inconfort : état où une difficulté physique, physiologique ou psychologique est ressentie</p> <p>Le confort étant subjectif et personnel, il est évalué à partir de questionnaire : il faut au préalable choisir l'hypothèse sous-jacente, soit l'inconfort et le confort sont sur un même continuum, soit ce sont des variables ne reposant pas sur les mêmes facteurs</p> <p>⚠ Absence d'inconfort ne signifie pas forcément présence de confort, il convient donc que les chercheur-e-s identifient au préalable ce qu'ils/elles cherchent à évaluer : 2 mesures seront peut-être nécessaires (confort et inconfort)</p>	Robert J.-M. Confort. In : Brangier É., Valléry G. (dir) (2021). <i>Ergonomie : 150 notions clés</i> (pp. 211-214). Malakoff, France : Dunod
Cybercinétose	« Sensation de malaise, s'apparentant au mal de mer, qui survient parfois à la suite d'une utilisation prolongée de systèmes de réalité virtuelle. La cybercinétose se manifeste généralement lors d'un conflit visuo-vestibulaire »	<i>Plus vrai que nature : vocabulaire de la réalité virtuelle.</i> https://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/vocabulaire-realite-virtuelle.aspx
Efficacité	<p>« Précision et degré d'achèvement avec lesquels l'utilisateur atteint des objectifs spécifiés » (définition ISO)</p> <p>Deux mesures associées de l'efficacité : i/ la réussite de la tâche (i.e., la capacité à atteindre minimalement, partiellement ou totalement les objectifs fixés) ; ii/ la qualité de la performance (Brangier & Barcenilla, 2003, p. 44)</p>	<p>ISO 9241-210:2019(fr) Ergonomie de l'interaction homme-système — Partie 210 : Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:fr</p> <p>Brangier É., Barcenilla J. (2003). <i>Concevoir un produit facile à utiliser. Adapter les technologies à l'homme</i>. Paris : Éditions d'Organisation</p>
# Efficience	Rapport entre les résultats obtenus et les ressources utilisées	ISO 9000:2015(fr)

¹⁴⁵ Bernonville S., Leroy N., Kolski C., Beuscart-Zephir M. C. (2006). Association des réseaux de Pétri et des critères d'ergonomie des logiciels pour la modélisation et la réingénierie de systèmes interactifs, cas de la prescription thérapeutique en milieu hospitalier. In : Brangier E., Kolski C., Ruault J.-R. (eds), *Actes de ERGO'IA 2006*. <https://hal-uphf.archives-ouvertes.fr/hal-03474095>

		Systèmes de management de la qualité — Principes essentiels et vocabulaire
Engagement	<p>Volonté d’avoir ses émotions et pensées dirigées vers et déterminées par l’activité médiatisée</p> <p>Un questionnaire (en anglais) pour évaluer l’engagement dans : Mayes D. K., Cotton J. E. (2001). Measuring engagement in video games: A questionnaire. In: <i>Proceedings of the HFES Annual Meeting</i>. https://doi.org/10.1177%2F154193120104500704</p>	<p>Bouvier P., Sehaba K., Lavoué E., George S. (2013). Approche qualitative pour identifier et qualifier l’engagement des joueurs à partir de leurs traces d’interaction. <i>24èmes Journées francophones d’Ingénierie des Connaissances IC 2013</i>. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01134721/document</p>
Expérience de l’utilisateur	<p>« Perceptions et réactions d’un utilisateur qui résultent de l’utilisation effective et/ou anticipée d’un système, produit ou service »</p> <p>Note 1 à l’article : Les perceptions et réactions de l’utilisateur incluent les émotions, convictions, préférences, perceptions, confort, comportements et réalisations de ce dernier qui interviennent avant, pendant et après l’utilisation.</p>	<p>ISO 9241-210:2019(fr). Ergonomie de l’interaction homme-système — Partie 210 : Conception centrée sur l’opérateur humain pour les systèmes interactifs https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:fr</p>
Expérience utilisateur (UX)	<p>« L’expérience utilisateur (UX) concerne la relation qu’une personne développe en interaction avec une technologie donnée en situation dynamique dont les composantes multiples agissent sur cette relation. Il s’agit d’analyser, de corriger et de concevoir les interactions fonctionnelles et vécues par tous types d’utilisateurs dans tous types de situations de travail et/ou de vie sociale, avec tous types de produits, services et systèmes, afin de garantir à la fois un grand niveau de satisfaction de l’utilisateur avant, pendant et après l’usage, une haute qualité de l’interaction, ainsi qu’une performance technique élevée (Barcenilla et Bastien, 2009) » Bastien & Brangier (2021, p. 292)</p> <p>L’UX est à la fois une expérience fonctionnelle au niveau de l’interaction avec un système, et une expérience vécue personnellement (Bastien & Brangier, 2021, p. 293) : la première renvoie à l’utilisabilité et aux critères et recommandations ergonomiques, la deuxième à des aspects hédoniques (esthétique, plaisir et autres sensations émotionnelles, confort, etc.).</p> <p>Les aspects subjectifs de l’UX peuvent faire l’objet de questionnaire(s), par exemple, Tcha-Tokay et al. (2016). Il est à noter que tous les travaux de Tcha-Tokay et ses collègues sont</p>	<p>Barcenilla J., Bastien J. M. C. (2009). L’acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l’ergonomie, l’utilisabilité et l’expérience utilisateur ? <i>Le travail humain</i>. https://doi.org/10.3917/th.724.0311</p> <p>Bastien C., Brangier É. (2021). Expérience utilisateur. In : Brangier É., Valléry G. (dir) (2021). <i>Ergonomie : 150 notions clés</i> (pp. 292-296). Malakoff, France: Dunod</p> <p>Tcha-Tokey K., Christmann O., Loup-Escande E., Richir S. (2016). Proposition and validation of a questionnaire to measure the user experience in immersive virtual environments. <i>International Journal of Virtual Reality</i>. https://doi.org/10.20870/IJVR.2016.16.1.2880</p> <p>Tcha-Tokey K., Loup-Escande E., Christmann O., Richir S. (2017). Expérience Utilisateur et Interactions Homme-Environnement Virtuel Immersif. In : <i>Actes de la 9^{ème} Conférence de Psychologie Ergonomique EPIQUE 2017</i>. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01697809</p>

	<p>importants dans les études relatives aux aspects subjectifs de l'immersion dans un environnement virtuel</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMIH Informatique sur l'expérience utilisateur associées aux tables interactives : Kubicki et al. (2012)¹⁴⁶ 	
Expérience Patient (PX)	<p>L'expérience patient (PX, par analogie à UX) concerne l'ensemble des interactions, façonnées par la culture d'une organisation de santé (stratégies, valeurs, etc.), qui influencent les perceptions du patient et de son entourage au cours de son parcours de santé. Selon cette définition, quoique l'expérience patient ne soit pas particulièrement considérée en rapport avec un dispositif physique ou numérique de santé, elle est importante dans le cadre de la digitalisation du parcours de soin</p> <p>Des mesures de la PX sont décrites dans Bernardo et al. (2022)¹⁴⁷, elles pourraient être pertinentes dans le cadre du Living Lab Label-Âge du Centre Hospitalier de Valenciennes (https://www.ch-valenciennes.fr/services/living-lab/)</p>	<p>https://www.theberylinstitute.org/page/DefiningPX</p> <p>Idoughi D., Touloum K., Guerrier Y., Kolski C. (2020). A propose de l'expérience patient des personnes en situation de handicap à l'ère du digital : de l'UX au PX. In : <i>Actes de la 10ème conférence francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers GISEH 2020</i>. http://isidore.science/document/10670/1.aodv8e</p> <p>Wolf J.A., Niederhauser V., Marshburn D., LaVela S.L. (2014). Defining patient experience. <i>Patient Experience Journal</i>. https://pxjournal.org/journal/vol1/iss1/3/</p> <p>Bernardo J. M. S., Mendes G. H. D. S., Lizarelli F. L., Roscani M. G. (2022). Instruments to measure patient experience in hospitals: a scoping review. <i>Gestão & Produção</i>. https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e0821</p>
Facilité d'utilisation perçue	<p>La facilité d'utilisation perçue (<i>perceived ease of use</i>) d'un système est le degré auquel une personne croit que l'utilisation du système ne nécessiterait pas d'effort (Davis, 1989, p. 320)</p> <p>Selon l'auteur, la facilité d'utilisation perçue et le caractère utile perçu sont des variables fondamentales dans l'acceptation d'une technologie</p> <p>Son article comprend des items de questionnaire permettant d'évaluer la facilité d'utilisation perçue (en anglais)</p>	<p>Davis F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. <i>MIS Quarterly</i>. https://doi.org/10.2307/249008</p>
Flow	<p>Le flow est défini comme étant une expérience agréable dans laquelle la personne ressent un haut niveau de contrôle comportemental, de bonheur et de plaisir. Le concept est utilisé par Cheng et al. (2014) pour évaluer par questionnaire sur</p>	<p>Nakamura J., Csikszentmihalyi M. (2014). The concept of flow. In: Csikszentmihalyi M., <i>Flow and the foundations of positive psychology. The collected works of Mihaly Csikszentmihalyi</i> (pp. 239-263). Dordrecht, Netherlands: Springer</p>

¹⁴⁶ Kubicki S., Borgiel K., Lepreux S., Wolff M., Kolski C. (2012). Réflexions autour des tables interactives : expérience utilisateur, utilisabilité, évaluation. *Le travail humain*. <https://doi.org/10.3917/th.753.0229>

¹⁴⁷ Bernardo J. M. S., Mendes G. H. D. S., Lizarelli F. L., Roscani M. G. (2022). Instruments to measure patient experience in hospitals: A scoping review. *Gestão & Produção*. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e0821>

	<p>l'expérience de la personne dans un jeu en environnement virtuel sur simulateur dynamique</p> <p>Composante de l'UX, voir Tcha-Tokey et al. (2017) : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01697809</p>	<p>Cheng L.K., Chieng M.H., Chieng, W.H. (2014). Measuring virtual experience in a three-dimensional virtual reality interactive simulator environment: A structural equation modeling approach. <i>Virtual Reality</i>. https://doi.org/10.1007/s10055-014-0244-2</p>
<p>Immersion</p> <p># Degré d'immersion</p>	<p>Dans le domaine de la RV, l'immersion est envisagée sous un angle : i/ techno-centré, i.e., le degré d'immersion en termes de degré de réalisme selon le nombre de sens simulés et stimulés par le système de RV et du niveau d'isolement de la personne par rapport au monde réel ; ou ii/ anthropocentré, i.e., l'immersion proprement dite qui est une sensation, à savoir la sensation ressentie par la personne d'être physiquement plongée dans un monde virtuel en 3 dimensions : elle ne peut être évaluée que par la personne (e.g., par questionnaire, entretien)</p> <p>Immersion partielle : immersion dans un monde virtuel qui ne prive pas totalement l'utilisateur de la perception du monde extérieur</p> <p>Immersion pseudonaturelle : immersion dans un monde virtuel qui, malgré quelques différences sensorimotrices et cognitives par rapport au monde réel, est la plus naturelle et la plus crédible possible pour l'utilisateur, quelle que soit l'interface utilisée.</p> <p>Notes : « En réalité virtuelle, l'immersion ne peut pas être naturelle, car l'être humain a appris à agir naturellement dans un monde réel et non virtuel » (https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26529598)</p>	<p>Toutes les définitions autour de l'immersion ont été extraites du lexique en ligne <i>Plus vrai que nature : vocabulaire de la réalité virtuelle</i> proposé par l'Office québécois de la langue française : https://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/vocabulaire-realite-virtuelle.aspx</p> <p>Voir aussi : Fuchs P. (2018). <i>Théorie de la réalité virtuelle. Les véritables usages</i>. Paris : Presses des Mines - Transvalor</p>
<p># Personnalisation</p>	<p>En informatique, concernant les systèmes interactifs d'information, « personnaliser l'information consiste à s'adapter aux buts (c'est-à-dire les besoins, les raisons qui ont mené l'utilisateur à interroger le système), aux préférences (c'est-à-dire l'ensemble des critères qui permettent de distinguer une solution d'une autre pour une même requête) et aux capacités de l'utilisateur (en terme de capacité, il est possible de s'attacher particulièrement aux capacités matérielles à la disposition de l'utilisateur ; d'autres types de capacités, qu'elles soient physiques, cognitives ou liées à des handicaps sont également à considérer) » (Kolski et al., 2004, https://hal-uphf.archives-ouvertes.fr/hal-03431464)</p>	<p>Thevenin D., Coutaz J. (2002). Adaptation des IHM : taxonomies et archi. logicielle. In : <i>Actes de la 14ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine IHM'02</i>. https://doi.org/10.1145/777005.777036</p> <p>Anli A., Kolski C., Abed M. (2005). Principes et architecture pour la personnalisation d'information en interaction homme-machine, application à l'information transport. In : <i>Actes de la 17ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine IHM'05</i>. https://doi.org/10.1145/1148550.1148566</p> <p>Kolski C. (dir) (2010). <i>Interaction homme-machine dans les transports. Personnalisation, assistance et informations du voyageur</i>. Paris : Hermes Science, Éditions Lavoisier</p>

	<p>La personnalisation concerne aussi d'autres domaines au LAMIH comme le montrent les projets VOLHAND³⁶ et PA-PMR⁴⁶ (départements Automatique et SHV) avec la personnalisation de l'assistance à la personne handicapée</p>	
# Plasticité	<p>La plasticité d'une interface renvoie à sa capacité à s'adapter aux contraintes matérielles et environnementales dans le respect de son utilisabilité tout en accordant à l'utilisateur les moyens de contrôle adéquats. Elle est un type particulier d'adaptation.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Axe Cause : adaptation aux caractéristiques ou aux contraintes environnementales - Axe Acteur : le système, le concepteur ou l'utilisateur final provoque l'adaptation - Axe Quand : adaptation statique (selon des contraintes fixées à la conception) ou dynamique (selon les variations des contraintes) - Axe Objet : adaptation de l'arbre de tâches, des techniques de rendu ou des sous-systèmes d'aide <p>La plasticité est concernée par l'adaptation à l'environnement et/ou aux caractéristiques du système (axe cause) et par la modification de l'arbre de tâches et/ou des techniques de rendu</p>	<p>Thevenin D. (1999). La plasticité en interaction homme-machine. In : <i>Actes de la 11ème conférence sur l'Interaction Homme-Machine IHM'99</i>. http://iihm.imag.fr/thevenin/papiers/IIHM'99/125-rencontresDoctorales.pdf</p> <p>Thevenin D., Calvary G., Coutaz J. (2000). In : <i>Actes Colloque sur la multimodalité</i>, IMAG, Grenoble. http://iihm.imag.fr/publs/2000/WorkshopMM_Thevenin.pdf</p> <p>Kolski C., Petit-Rozé C., Anli A., Abed M., Grislin-Le Strugeon E., Ezzedine H., Trabelsi A. (2004). La plasticité vue sous l'angle de la personnalisation ou selon les besoins vis-à-vis de l'information transport. <i>Journées thématiques de l'AS Plasticité du RTP</i>. https://hal-uphf.archives-ouvertes.fr/hal-03431464</p> <p>Kolski C. (ed) (2011). <i>Human-computer interactions in transport</i>. London: ISTE Ltd</p> <div data-bbox="1239 852 1795 1185" data-label="Diagram"> </div> <p>Figure 52 Espace pour l'adaptation d'une interface Source : Thevenin (1999)</p>
Présence	<p>Sentiment éprouvé par la personne de se trouver réellement dans un monde virtuel, bien que son corps doit dans le monde réel (https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26505091)</p>	

	<p>Expérience subjective d'être là dans un environnement lorsqu'on est physiquement dans un autre environnement (Witmer B.G., Singer M.F., 1998, Measuring presence in virtual environments : A presence questionnaire. <i>Presence: Teleoperators and Virtual Environments</i>. https://doi.org/10.1162/105474698565686</p> <p>Le questionnaire relatif à l'UX de Tcha-Tokey inclut des mesures de la présence, voir : Tcha-Tokey K. (2018). <i>Conception et évaluation de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif</i>. Mémoire de thèse, Arts et Métiers ParisTech, Campus d'Angers, Angers, France. https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01771595/file/TCHA_TOKEY.pdf</p>	
# Profil évolutif	« Nous appelons un profil évolutif lorsque certaines caractéristiques de l'utilisateur évoluent progressivement ou brutalement dans le temps de manière dégénérative (par exemple, la perte évolutive des mouvements ou de la voix) »	Lepreux S., Apedo K., de Oliveira K.M (2021). Vers une conception centrée sur l'utilisateur ayant un profil évolutif : une étude de cas avec des personnes atteintes de la maladie de Parkinson. In : <i>Actes de la 32ème conférence internationale francophone sur l'Interaction Homme-Machine IHM'20.21</i> . https://doi.org/10.1145/3451148.3458646
# Qualité hédonique	<p>Selon Hassenzahl, la qualité d'utilisation d'un système a au moins deux composantes : la qualité ergonomique et la qualité hédonique</p> <p>La qualité ergonomique renvoie aux aspects fonctionnels et pragmatiques, la qualité hédonique à des aspects esthétiques, au caractère innovant, à l'originalité</p>	<p>Hassenzahl M. (2001). The effect of perceived hedonic quality on product appealingness. <i>International Journal of Human-Computer Interaction</i>. NY: ACM. https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1304_07</p> <p>Voir aussi Barcenilla J., Bastien J. M. C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? <i>Le travail humain</i>. https://doi.org/10.3917/th.724.0311 : ces auteurs parlent des qualités hédoniques lorsqu'ils décrivent l'évolution des normes sur l'utilisabilité</p>
Qualité hédonique perçue	La qualité hédonique perçue peut être évaluée par questionnaire, voir, par exemple, Hassenzahl et al., 2000	Hassenzahl M., Platz A., Burmester M., Lehner, K. (2000). Hedonic and ergonomic quality aspects determine a software's appeal. In: <i>CH'00: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems</i> . https://doi.org/10.1145/332040.332432 .
# Qualité des produits logiciels (<i>software quality</i>)	La qualité est l'ensemble des caractéristiques d'une entité (produit, processus ou organisation) qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites . La qualité d'un logiciel, en tant que produit particulier, doit donc s'apprécier en fonction des besoins auxquels il est censé répondre. Elle implique son aptitude à l'usage, la satisfaction de ses utilisateurs, la conformité aux exigences formulées dans un cahier des charges. Pour l'ergonome, un logiciel doit être utile et facile d'utilisation	Otter M. (1996). <i>Qualité des logiciels</i> . Techniques de l'ingénieur – Archives - Réf. : H4028 V1. https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-technologies-logicielles-et-architecture-des-systemes-tiahb/archive-1/qualite-des-logiciels-h4028/#corps-article

	<ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMIH Informatique sur la qualité logicielle : de Oliveira (2020)¹⁴⁸ 	
Satisfaction	<p>« Degré selon lequel les réactions physiques, cognitives et émotionnelles de l'utilisateur qui résultent de l'utilisation d'un système, produit ou service répondent aux besoins et attentes de l'utilisateur » (https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:fr)</p> <p>« 1. Action de satisfaire un besoin, un désir, une demande, une tendance : La satisfaction des besoins matériels » (https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/satisfaction/71085)</p> <p>« 2. Sentiment de bien-être, plaisir qui résulte de l'accomplissement de ce qu'on juge souhaitable » (https://dictionnaire.lerobert.com/definition/satisfaction). Selon cette définition, le degré de satisfaction peut être évaluée avec une échelle numérique ou analogique visuelle (voir aussi « bien-être » Tableau 1)</p>	
# Utilisabilité	<p>L'utilisabilité est le « degré selon lequel un système, un produit ou un service peut être utilisé, par des utilisateurs spécifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié » (https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:fr)</p> <p>Elle a de nombreuses dimensions mais les 3 composantes suivantes sont fondamentales : i/ l'efficacité (i.e., c'est efficace si c'est le système produit l'effet attendu par l'utilisateur ; ii/ l'efficience (en termes de rapport entre les ressources dépensées et le résultat obtenu : plus l'effort est faible, plus l'efficience est élevée) ; iii/ la satisfaction ressentie par l'utilisateur, elle est une évaluation subjective provenant d'une comparaison entre ce que l'acte d'usage apporte à la personne et ce qu'elle s'attend à recevoir</p> <ul style="list-style-type: none"> •Un article LAMIH Informatique sur l'utilisabilité : de Oliveira et al. (2014)¹⁴⁹ •Un autre, LAMIH Informatique et Automatique : Goudalo et al. (2020)¹⁵⁰ 	<p>Brangier É., Barcenilla J. (2003). <i>Concevoir un produit facile à utiliser</i>. Paris : Éditions d'Organisation.</p> <p>Brangier É., Barcenilla J. (2021). Utilisabilité. In : Brangier É., Valléry G. (dir) (2021). <i>Ergonomie : 150 notions clés</i> (pp. 537-539). Malakoff, France : Dunod</p>

¹⁴⁸ de Oliveira, K. M. (2020). Practices to define software measurements. In : Dupuy-Chessa S., Grison T. (eds), *Actes du Congrès INFORSID, 38^{ème} édition* (pp. 77-92). <https://hal-uphf.archives-ouvertes.fr/hal-03388080>

¹⁴⁹ de Oliveira K. M., Lepreux S., Kolski C., Seffah A. (2014). Predictive usability evaluation: aligning HCI and software engineering practices. In : *Actes de la 26^{ème} conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine IHM'14*. NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/2670444.2670467>

¹⁵⁰ Goudalo W., Kolski C., Vanderhaegen F. (2020). Vers une approche holistique pour l'amélioration de l'expérience des parties prenantes dans l'Hôpital 4.0. In : *Actes de la 10^{ème} conférence francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers GISEH 2020*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03229595>

Utilité perçue	<p>L'utilité perçue (<i>perceived usefulness</i>) d'un système est le degré auquel une personne croit que l'utilisation du système améliorerait sa performance (Davis, 1989, p. 320) Selon l'auteur, cette variable est, avec la facilité d'utilisation perçue, fondamentale dans l'acceptation d'une technologie. Son article (en anglais) comprend des items de questionnaire destinés évaluer l'utilité perçue</p>	<p>Davis F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. <i>MIS Quarterly</i>. https://doi.org/10.2307/249008</p>
# Validation	<p>« Confirmation par des preuves objectives que les exigences pour une utilisation spécifique ou une application prévues ont été satisfaites</p> <p>Note 1 à l'article : La validation est l'ensemble des activités permettant de garantir et de s'assurer qu'un système est capable d'accomplir les fonctions, buts et objectifs prévus (c'est-à-dire satisfaire aux exigences des parties prenantes) dans l'environnement opérationnel prévu »</p> <p>« Pour la validation, les conditions d'utilisation peuvent être réelles ou simulées (ISO 9000:2015(fr) Systèmes de management de la qualité — Principes essentiels et vocabulaire : https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v2:fr)</p>	<p>ISO 9241-210:2019(fr) Ergonomie de l'interaction homme-système — Partie 210: Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:fr</p>