



HAL
open science

Méthodes d'ergonomie prospective pour l'exploration des besoins futurs : applications à l'hydrogène énergie pour l'habitat

Antoine Martin

► **To cite this version:**

Antoine Martin. Méthodes d'ergonomie prospective pour l'exploration des besoins futurs : applications à l'hydrogène énergie pour l'habitat. Psychologie. Université de Lorraine, 2021. Français. NNT : 2021LORR0074 . tel-03268330

HAL Id: tel-03268330

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-03268330>

Submitted on 23 Jun 2021

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.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



École Doctorale SLTC (Sociétés, Langages, Temps, Connaissances)

Thèse de l'Université de Lorraine

Présentée par Antoine MARTIN

Pour l'obtention du Doctorat en Ergonomie

MÉTHODES D'ERGONOMIE PROSPECTIVE POUR L'EXPLORATION DES BESOINS FUTURS

Applications à l'hydrogène énergie pour l'habitat

Soutenue le 16 février 2021

Membres du Jury

Co-directrice Marie-France AGNOLETTI, Maître de conférences HDR, Université de Lorraine

Examinatrice Nathalie BONNARDEL, Professeure, Aix-Marseille Université

Directeur Éric BRANGIER, Professeur, Université de Lorraine

Rapporteur Julien CEGARRA, Professeur, Institut National Universitaire Champollion

Examineur Fabrice LEMOINE, Professeur, Université de Lorraine

Rapporteuse Emilie LOUP-ESCANDE, Maître de conférences HDR, Université de Picardie



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

PErSEUs

Laboratoire PErSEUs (EA7312)



Ce travail a été financé en partie par le projet PIA « Lorraine Université d'excellence », référence ANR-15-IDEX-04-LUE. Il s'inscrit dans le cadre du projet IMPACT ULHyS (Université de Lorraine Hydrogène Science et Technologies), qui a pour ambition de fédérer les actions de recherche sur l'hydrogène-énergie pour répondre au défi sociétal « Énergies du futur et transition énergétique ».

Remerciements

La thèse est une chance, car elle est la possibilité de valoriser trois années du travail de jeune chercheur, exercice qui n'est pas possible dans la majeure partie des professions. Cette thèse n'est pas uniquement l'aboutissement de mon travail ou de ma volonté, elle a été rendue réalisable par un ensemble d'éléments favorables, sur lequel je n'ai aucun pouvoir d'agir ou aucune responsabilité, et qui constituent donc une chance, un privilège. La thèse est également, un exercice collectif, qui repose sur des personnes que je souhaite remercier.

Je tiens à remercier Éric BRANGIER et Marie-France AGNOLETTI d'avoir initié ce projet de recherche, et de m'avoir ainsi offert l'opportunité de travailler sur ce sujet original. Merci pour leurs conseils et leur disponibilité, et merci à Éric de m'avoir ouvert son univers de recherche.

Je tiens également à remercier vivement les membres du jury, Nathalie BONNARDEL, Julien CEGARRA, Fabrice LEMOINE et Emilie LOUP-ESCANDE, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Merci à mes compagnons de bureau étendu (et bien plus), Clément, Hugo, Amandine et Nada, grâce à qui le quotidien de la recherche a été joyeux et enrichissant. Un merci spécial à Clément, ce camarade de pirateries et *digger* hors pair, pour les *fruitful* discussions et collaborations.

Merci aux doctorants, d'ergonomie et d'ailleurs, avec qui j'ai partagé cette expérience, Alexis, Lisa, Flavie, Maxime et les autres. Merci à Nicolas pour cette intéressante collaboration et les discussions qui vont avec.

Je tiens aussi à remercier Aude, qui a assuré la lourde logistique d'une thèse LUE, et Jérôme qui avec bonne humeur rend la vie à l'UFR plus simple. Merci à Heathcliff DEMAIE, Fabrice LEMOINE et Sophie DIDIERJEAN pour leur support dans le cadre du projet ULHyS et pour m'avoir fait bénéficier de leur réseau.

Mes remerciements vont aussi à mon père pour m'avoir transmis entre autres son art de la liste, et à ma mère pour ses solides compétences grammatico-orthographiques, qu'elle ne m'a malheureusement pour elle, pas transmises. Merci aux deux d'avoir supporté un parcours qui a pu parfois paraître louvoyant. Merci à Perrine, pour son aide pluri-experte et pour son poly-soutien.

Enfin, je remercie les participants des études, sans qui ce travail n'aurait pu être possible.

Résumé

L'hydrogène énergie a été identifié comme un potentiel facteur clé de la transition énergétique, car il offre de grandes capacités de stockage et de flexibilité. Les technologies émergentes de l'hydrogène énergie s'intégreront dans des systèmes énergétiques futurs, qui n'existeront pas avant plusieurs années. Dans ce cas, l'analyse des situations actuelles d'usages est utile, mais aussi insuffisante, car elle ne permet pas d'identifier les besoins des utilisateurs qui seraient en rupture avec les usages actuels. L'ergonomie doit donc évoluer pour identifier prématurément les besoins futurs qui pourraient être associés à ces systèmes qui n'existent pas encore. Dans ce contexte d'intervention orienté vers le futur, la contribution de l'ergonomie prospective consiste à intégrer la phase de « *conception exploratoire future* ». Cette phase vise à définir à partir de besoins futurs des utilisateurs, des concepts préliminaires d'artefacts qui feront éventuellement l'objet d'une conception ultérieure. La *conception exploratoire future* s'articule en deux étapes : (1) l'anticipation de besoins futurs et (2) la définition d'idées d'artefacts futurs. Néanmoins, l'anticipation de besoins futurs est difficile car les utilisateurs ont une représentation pauvre du futur et des artefacts et activités futurs. De plus, les concepteurs se réfèrent à une représentation hypothétique des utilisateurs et ils se basent sur l'analyse de situations présentes pour inférer des besoins futurs. La définition d'idées d'artefacts futurs est aussi problématique car les utilisateurs n'ont pas les connaissances suffisantes et les concepteurs se focalisent sur les aspects techniques, ont des difficultés à intégrer les utilisateurs et ont tendance à se restreindre à leurs connaissances actuelles des utilisateurs et des artefacts. Le premier objectif de cette thèse est méthodologique, il vise à identifier des méthodes qui soutiennent une idéation centrée sur les utilisateurs futurs, lors de la *conception exploratoire future*. Le second objectif, appliqué, vise à définir des concepts d'artefacts futurs qui intègrent l'hydrogène énergie et qui sont pertinents du point de vue des utilisateurs. Pour répondre à ces objectifs, cette thèse propose d'évaluer et d'appliquer à l'hydrogène énergie, une méthodologie de *conception exploratoire future* qui repose sur (1) l'implication d'utilisateurs précurseurs dans le cadre d'entretiens d'anticipation des besoins et (2) sur le recours à la méthode du persona prospectif avec des experts du domaine. Cette thèse s'articule autour de trois études. L'étude 1 est une méta-analyse de la littérature scientifique sur l'hydrogène énergie. Elle avait pour objectif de formuler la demande appliquée à laquelle doit répondre cette intervention ergonomique. Cette étude a montré que l'usage d'hydrogène énergie pour l'habitat est peu étudié alors qu'il constitue une application prometteuse et que la prise en compte des utilisateurs à cet égard est insuffisante. L'étude 2 porte sur l'analyse d'entretiens d'anticipation des besoins. Elle avait pour objectifs d'anticiper des besoins futurs relatifs à l'énergie dans l'habitat, et de mesurer la contribution d'experts, d'utilisateurs précurseurs et d'utilisateurs ordinaires à l'étape d'anticipation de besoins futurs. Les résultats indiquent que les utilisateurs précurseurs permettent d'identifier des besoins futurs qu'ils expérimentent actuellement et qu'ils ont une représentation riche du domaine qui leur permet d'imaginer de nouveaux besoins futurs. L'étude 3 s'attache à l'analyse de séances de créativité réalisées avec un persona ordinaire, un persona prospectif ou sans persona. Cette étude visait à générer des idées d'artefacts futurs relatives à l'hydrogène énergie pour l'habitat, et à mesurer l'efficacité du persona prospectif lors de la définition d'idées d'artefacts futurs. Les résultats indiquent que le persona prospectif favorise la production d'idées d'artefacts nouvelles et faisables.

Mots-clés : Ergonomie prospective ; Besoin futur ; Utilisateur précurseur ; Persona prospectif ; Hydrogène énergie

Abstract

Hydrogen energy has been identified as a potential key factor in the energy transition, as it offers great storage capacity and flexibility. Emerging hydrogen energy technologies will be integrated into future energy systems, which will not exist for several years. In this case, the analysis of current situations of uses is beneficial, but also insufficient, as it does not allow the identification of user needs that would be at odds with current uses. Ergonomics must therefore evolve to identify at an early stage the future needs that could be associated with these systems that do not yet exist. In this future-oriented context of intervention, the contribution of prospective ergonomics consists in integrating the "*future fuzzy front end*" design phase. This phase aims to, on the basis of future user needs, define preliminary concepts of artefacts that will eventually be the subject-matter of a later design. The *future fuzzy front end* design phase is articulated in two stages: (1) the anticipation of future needs and (2) the definition of future artefacts' ideas. Nevertheless, anticipating future needs is difficult because users have a poor representation of the future and of future artefacts and activities. Moreover, designers have a representation of users that does not necessarily correspond to reality and they rely on the analysis of present situations to infer future needs. The definition of future artefacts' ideas is also challenging because users do not have sufficient knowledge and designers focus on technical aspects, have difficulty integrating users and tend to limit themselves to their current knowledge of users and artefacts. The methodological objective of this thesis aims at identifying methods that support a future user-centred ideation in the *future fuzzy front end* design phase. The applied objective aims at defining concepts of future artifacts that integrate hydrogen energy and that are relevant from a user centric point of view. To meet these objectives, this thesis proposes to evaluate and apply to hydrogen energy, a *future fuzzy front end* design phase methodology based on (1) the involvement of precursory users in needs anticipation interviews and (2) the use of the prospective persona method by experts. This thesis is based on three studies. Study 1 is a meta-analysis of the scientific literature on hydrogen energy. Its aim was to formulate the applied demand that this ergonomic intervention shall address. This study showed that the use of hydrogen energy for housing is little studied, even though it is a promising application, and that the users are insufficiently considered in this matter. Study 2 concerns the analysis of needs anticipation interviews on the theme of energy for housing. Its objectives were to anticipate future needs associated with energy for housing and to measure the contribution of experts, precursory users and ordinary users to the need's anticipation stage. The results indicate that precursory users provide an opportunity to identify future needs that they are experiencing at present and that they have a rich representation of the field that enables them to imagine new future needs. Study 3 focuses on the analysis of creativity sessions carried out with ordinary persona, prospective persona or without persona. This study aimed to generate ideas for future artefacts related to hydrogen energy for housing, and to measure the effectiveness of the prospective persona in defining future artefacts' idea. The results indicate that prospective persona promotes the generation of new and feasible artifact ideas.

Keywords: Prospective ergonomics; Future user need; Precursory user; Prospective persona; Hydrogen energy

Table des matières

Remerciements.....	4
Résumé	5
Abstract	6
Table des matières.....	7
Index des figures.....	17
Index des tableaux	22
Introduction générale	26
1. Contexte.....	26
1.1. L'hydrogène énergie : un pilier possible de la transition énergétique.....	26
1.2. Les systèmes énergétiques futurs : une question pour l'ergonomie	27
2. Objectifs scientifiques	29
2.1. Objectif méthodologique : développer l'anticipation des besoins futurs des utilisateurs et leur intégration dans les artefacts futurs	29
2.2. Objectif appliqué : identifier des besoins futurs liés à l'hydrogène énergie pour définir des systèmes énergétiques adaptés.....	30
3. Structure du document.....	30
Partie 1 - Cadre théorique.....	33
Chapitre 1 - La conception d'artefacts futurs avec l'ergonomie prospective.....	34
1. Le développement d'une pensée prospective.....	35
1.1. Une réflexion initiée au milieu du XX ^e siècle.....	35
1.2. Le futur comme une construction incertaine	35
1.3. La conception future : une demande faite à l'ergonomie.....	36

1.4. L'émergence de l'ergonomie prospective.....	37
1.4.1 Une nouvelle modalité d'intervention	37
1.4.2 La créativité, la prospective et la cognition orientée futur en soutien à l'ergonomie	39
2. Un changement dans la façon d'aborder l'utilisateur	40
2.1. D'une approche centrée sur l'artefact.....	41
2.2. Vers une approche centrée sur l'utilisateur.....	43
2.3. Des approches divergentes.....	44
2.4. Une intégration de l'utilisateur possible à des temporalités différentes	45
2.5. Intervenir en amont : un avantage stratégique	46
3. Une modalité d'intervention dédiée à la phase de conception exploratoire.....	48
3.1. La phase de conception exploratoire.....	48
3.2. La conception exploratoire future : une adaptation du processus de conception centrée utilisateur à l'ergonomie prospective.....	49
3.2.1 L'anticipation de besoins futurs des utilisateurs	51
3.2.2 La définition d'idées d'artefacts futurs.....	52
3.2.3 Des méthodes et connaissances à développer.....	52
4. Synthèse du chapitre 1	53
Chapitre 2 - Les besoins des utilisateurs dans une approche de conception centrée sur l'utilisateur	54
1. Les besoins des utilisateurs	54
1.1. Le besoin : un manque qui motive l'action	54
1.2. Les besoins des utilisateurs : des besoins liés à l'activité et au bien-être.....	55
1.2.1 Les besoins pragmatiques.....	55
1.2.2 Les besoins hédoniques.....	56

1.3. Une vision globale des besoins des utilisateurs avec l'expérience utilisateur.....	57
1.4. Différents niveaux de descriptions des besoins	58
1.5. Des besoins conscients et inconscients.....	59
2. L'identification et l'implémentation des besoins des utilisateurs dans la conception	60
2.1. Utilisateur et concepteur : des représentations différentes des besoins et de l'artefact	61
2.2. Différentes approches d'intégration des besoins dans la conception centrée sur l'utilisateur.....	63
2.3. L'expérience utilisateur comme indicateur des besoins.....	65
2.3.1 La mesure et l'identification des besoins à travers l'analyse de l'expérience utilisateur	65
2.3.2 Les expériences positives et négatives : révélatrices de la satisfaction des besoins...	65
2.3.3 Méthodes d'analyse de l'expérience utilisateur.....	69
3. Synthèse du chapitre 2.....	70
Chapitre 3 - L'ergonomie prospective en soutien à la conception exploratoire future	72
1. Le soutien de l'anticipation de besoins futurs.....	73
1.1. L'anticipation de besoins futurs.....	73
1.1.1 L'insuffisance de l'analyse des situations actuelles pour identifier des besoins futurs	73
1.1.2 Des besoins futurs anticipables.....	73
1.1.3 L'anticipation des besoins : une construction et une analyse prématurée.....	74
1.1.4 L'anticipation un exercice délicat pour les utilisateurs et les concepteurs.....	76
1.2. Un processus cognitif pour penser le futur.....	77
1.2.1 La cognition orientée futur.....	77
1.2.2 La distance temporelle : un obstacle à la pensée future	78
1.2.3 L'amplification de la cognition orientée futur	78
1.2.4 La mesure de la qualité de l'expérience futur imaginée.....	81

1.2.5	La cognition orientée futur dans la conception	83
1.3.	Des méthodes spécifiques à l'anticipation de besoins	84
1.3.1	Des méthodes d'enrichissement de la représentation de l'utilisateur.....	84
1.3.2	Des méthodes d'amplification de la capacité du concepteur à spéculer	86
1.4.	Des profils avec une aptitude à l'anticipation de besoins futurs.....	87
1.4.1	Les experts scientifiques et techniques	87
1.4.2	Les utilisateurs précurseurs.....	89
2.	Le soutien de la définition d'idées d'artefacts futurs.....	93
2.1.	La définition d'idées d'artefacts futurs à travers la conception conceptuelle.....	93
2.1.1	Une activité de conception créative.....	93
2.1.2	L'implémentation des besoins futurs : une tâche difficile pour les utilisateurs et les concepteurs.....	94
2.2.	Des processus cognitifs pour favoriser la créativité	95
2.2.1	La créativité une capacité adaptative.....	95
2.2.2	L'amplification de la créativité.....	96
2.3.	Des méthodes et outils pour favoriser la génération d'idées d'artefacts	98
2.4.	L'expertise du domaine et de la conception pour faciliter la génération d'idées d'artefacts	101
3.	Synthèse du chapitre 3.....	102
Chapitre 4 - Problématique.....		104
1.	Bilan du cadre théorique	104
2.	Questions de recherche méthodologiques	106
2.1.	Description de la méthodologie de conception exploratoire future.....	107
2.2.	Description de la méthode du persona prospectif.....	108
2.3.	Hypothèses méthodologiques.....	109

3. Questions de recherche appliquées à l'hydrogène énergie	109
4. Démarche de recherche	110
4.1. Présentation générale des études	110
4.2. L'évaluation des idées qui portent sur le futur	113
Partie 2 - Contribution empirique.....	116
Chapitre 5 - Étude 1 : Les utilisateurs dans la conception de systèmes énergétiques intégrant l'hydrogène énergie	117
1. Contexte et questions de recherches	118
2. Méthode.....	119
2.1. Examen global de la demande : Meta-analyse des publications sur les utilisateurs et l'hydrogène énergie	119
2.1.1 Recueil des données	119
2.1.2 Traitements	120
2.2. Examen détaillé de la demande : Benchmark et revue de littérature	122
3. Résultats	122
3.1. Résultats de l'examen global de la demande : utilisateurs et hydrogène énergie.....	122
3.1.1 Synthèse des publications recueillies	122
3.1.2 Résultats de l'analyse lexicale.....	126
3.1.3 Résultats de l'analyse manuelle de données manuelle	130
3.2. Résultats de l'examen détaillé de la demande : l'hydrogène énergie pour l'habitat.....	137
3.2.1 Résultats de la revue de littérature	138
3.2.2 Résultats du benchmark.....	140
4. Discussion de l'étude 1.....	142
4.1. Apports appliqués.....	143

4.1.1 Une prise en compte tardive des utilisateurs dans les recherches sur l'hydrogène énergie.....	143
4.1.2 L'hydrogène énergie pour l'habitat : une application peu instruite.....	144
4.1.3 Formulation de la demande.....	145
4.2. Apports méthodologiques : la formulation de la demande en ergonomie prospective	146
5. Conclusion de l'étude 1	147
Chapitre 6 - Étude 2 : Contribution des utilisateurs précurseurs, des utilisateurs ordinaires et des experts à l'anticipation de besoins futurs liés à l'hydrogène énergie pour l'habitat.....	148
1. Contexte et questions de recherches	149
2. Méthode.....	152
2.1. Participants.....	152
2.2. Matériel.....	156
2.3. Procédure.....	160
2.4. Traitements.....	162
2.4.1 Analyse lexicale	163
2.4.2 Analyse des idées de besoins	164
3. Résultats.....	169
3.1. Expertise perçue des participants	169
3.2. Description des données collectées	172
3.3. Résultats de l'analyse lexicale	172
3.3.1 Analyse pour tous les participants.....	172
3.3.2 Classifications lexicales pour les trois profils	175
3.3.3 Analyse factorielle pour les trois profils.....	181
3.3.4 Intersection des verbalisations des trois profils.....	184

3.4. Résultats de l'analyse des idées de besoins.....	186
3.4.1 Description des idées extraites.....	186
3.4.2 Créativité des idées de besoins.....	189
3.5. Résultats appliqués à l'énergie dans l'habitat.....	195
3.5.1 Activités liées à l'énergie dans l'habitat.....	196
3.5.2 Besoins des utilisateurs.....	203
3.5.3 Utilisateurs et scénarios d'usages prospectifs.....	209
3.5.4 Idées d'artefacts futurs.....	212
4. Discussion de l'étude 2.....	219
4.1. Apports méthodologiques : contribution des utilisateurs précurseurs et des experts dans l'anticipation de besoins futurs.....	219
4.1.1 Utilisateurs précurseurs : un discours riche et original lié à l'expérience domestique.....	220
4.1.2 Activités novatrices : plus d'idées de besoins pertinentes et nouvelles pour les experts et les utilisateurs précurseurs.....	221
4.2. Apports appliqués : besoins et activités liées à l'énergie pour l'habitat.....	222
4.2.1 Des activités d'installation et de gestion du système énergétique.....	222
4.2.2 Une description des besoins détaillés et généraux.....	223
4.2.3 Une description des scénarios prospectifs d'usages et un catalogue d'idées d'artefacts futurs.....	224
5. Conclusion de l'étude 2.....	225
Chapitre 7 - Étude 3 : Génération d'idées d'artefacts futurs avec la méthode du persona prospectif	
.....	227
1. Contexte et questions de recherches.....	227
2. Étude principale.....	230

2.1. Méthode.....	230
2.1.1 Participants.....	230
2.1.2 Matériel.....	230
2.1.3 Procédure.....	237
2.1.4 Traitements.....	239
2.2. Résultats.....	240
2.2.1 Résultats de l'analyse des idées d'artefacts.....	240
2.2.2 Résultats de la qualité perçue des personas.....	246
3. Étude complémentaire.....	248
3.1. Méthode.....	248
3.1.1 Participants.....	248
3.1.2 Matériel et procédure.....	248
3.1.3 Traitements.....	250
3.2. Résultats.....	250
4. Discussion de l'étude 3.....	253
4.1. Des idées d'artefacts plus équilibrées avec le persona prospectif.....	254
4.2. Les besoins futurs : une contrainte prescrite plutôt que déduite.....	256
4.3. Le persona prospectif : une variation de la méthode du persona adaptée à la conception tournée vers le futur.....	257
5. Conclusion de l'étude 3.....	258
Chapitre 8 - Discussion générale.....	260
1. Synthèse générale des études.....	260
1.1. Synthèse de l'étude 1 - Les utilisateurs dans la conception de systèmes énergétiques intégrant l'hydrogène énergie.....	263

1.2. Synthèse de l'étude 2 - Contribution des utilisateurs précurseurs, des utilisateurs ordinaires et des experts à l'anticipation de besoins futurs liés à l'hydrogène énergie pour l'habitat	264
1.3. Synthèse de l'étude 3 - Génération d'idées d'artefacts futurs avec la méthode du persona prospectif.....	265
2. Contribution méthodologique : le soutien de l'idéation lors de la conception exploratoire future.....	266
2.1. La conception exploratoire future : une phase critique.....	266
2.2. Les utilisateurs précurseurs en soutien à l'anticipation de besoins futurs.....	269
2.2.1 Utilisateurs précurseurs : détenteurs d'une expertise d'usage prospective	269
2.2.2 Un apport complémentaire des utilisateurs précurseurs, des utilisateurs ordinaires et des experts.....	270
2.3. Le persona prospectif en soutien à la définition d'idées d'artefacts futurs	272
2.3.1 Les besoins futurs : des contraintes prescrites par le persona prospectif	273
2.3.2 La compréhension d'utilisateurs futurs inaccessibles	274
2.4. Une méthodologie de conception exploratoire future centrée sur les utilisateurs.....	274
2.4.1 L'amélioration de la représentation du futur pour améliorer l'idéation future	274
2.4.2 Du bénéfice de l'implication des utilisateurs.....	275
2.4.3 La conception exploratoire future comme phase préliminaire à des approches préventive et corrective.....	276
2.4.4 Proposition d'une méthodologie opérationnelle de conception exploratoire future centrée sur les utilisateurs	277
3. Contribution appliquée	281
3.1. Apports à l'étude de l'interaction entre l'énergie et l'humain dans l'habitat.....	281
3.2. Apports au champ de l'hydrogène énergie	282
3.3. Recommandations relatives à l'hydrogène énergie dans l'habitat.....	283

4. Conclusion.....	285
5. Perspectives.....	287
Bibliographie.....	290
Annexes.....	310
Annexe 1 : Publications incluses dans l'étude 1.....	310
Annexe 2 : Dispositifs étudiés dans le benchmark.....	321
Annexe 3 : Entretiens exploratoires.....	323
Annexe 4 : Évaluation des critères d'identification des idées de besoins.....	325
Annexe 5 : Idées de besoins détaillés liées à l'énergie dans l'habitat.....	326
Annexe 6 : Scénarios d'usages prospectifs.....	336
Annexe 7 : Personas prospectifs.....	340
Annexe 8 : Catalogue d'idées d'artefacts liés à l'hydrogène énergie dans l'habitat.....	344
Annexe 9 : Liste des publications et communications liées à la thèse.....	379

Index des figures

Figure 1 : Fondements disciplinaires, méthodologiques et théoriques de l'ergonomie prospective	39
Figure 2 : Catégorisation des stratégies d'intégration de l'utilisateur dans le développement d'artefacts	46
Figure 3 : Capacité d'action par rapport au temps (inspiré de Midler, 2012)	47
Figure 4 : Étapes de conception par rapport aux actions sur l'artefact (inspiré de Nelson, 2019)	49
Figure 5 : Étapes de la conception centrée utilisateurs.....	50
Figure 6 : Démarche d'intervention de l'ergonomie prospective dans le cadre de la conception exploratoire future (inspiré de Robert et al., 2021).....	51
Figure 7 : Schéma de l'expérience utilisateur (inspiré de Brangier & Marache-Francisco, 2020; Hassenzahl, 2018).....	58
Figure 8 : Niveaux de granularité des besoins.....	59
Figure 9 : Représentations du concepteur et de l'utilisateur (inspiré de Norman, 1988).....	62
Figure 10 : Paradigmes d'anticipation de besoins futurs	75
Figure 11 : Schéma de la théorie de la diffusion de l'innovation (inspiré de Rogers, 1995)	92
Figure 12 : Proposition de méthodologie de conception exploratoire future	107
Figure 13 : Articulation des études.....	113
Figure 14 : Processus de recueil des données.....	120
Figure 15 : Distribution géographique des publications (monde).....	123
Figure 16 : Distribution géographique des publications (zoom sur l'europe).....	124
Figure 17 : Distribution des publications dans le temps (// résultats partiels pour 2018).....	125
Figure 18 : Sources principales des publications	125
Figure 19 : Applications de l'hydrogène énergie abordées dans les publications.....	126
Figure 20 : Classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des publications	127
Figure 21 : Analyse factorielle des correspondances pour les classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des publications.....	129

Figure 22 : Évolutions dans le temps des principaux thèmes des publications.....	130
Figure 23 : Visée temporelle des publications.....	131
Figure 24 : Type de contribution scientifique des publications.....	131
Figure 25 : Exposition à la technologie pour les études empiriques.....	132
Figure 26 : Méthodes utilisées dans les études empiriques.....	132
Figure 27 : Publics mobilisés dans les études empiriques.....	133
Figure 28 : Déterminants de la relation utilisateur-système hydrogène identifiés dans les publications et relatifs à la technologie.....	134
Figure 29 : Déterminants de la relation utilisateur-système hydrogène identifiés dans les publications et relatifs à l'utilisateur.....	135
Figure 30 : Déterminants de la relation utilisateur-système hydrogène identifiés dans les publications et relatifs à l'interaction technologie-utilisateur.....	136
Figure 31 : Déterminants de la relation utilisateur-système hydrogène identifiés dans les publications et relatifs au système sociopolitique.....	136
Figure 32 : Nature des recommandations des publications.....	137
Figure 33 : Activités liées à l'énergie dans l'habitat.....	140
Figure 34 : Catégorisation des dispositifs étudiés dans le benchmark ([H-n] système avec hydrogène, [B-n] système avec batterie, [A-n] autre ; avec n l'identifiant du dispositif).....	142
Figure 35 : Distribution géographique des entretiens réalisés.....	152
Figure 36 : Photographies d'habitations et d'artefacts relatifs aux entretiens. De gauche à droite et de haut en bas : artefact « fait maison » de production, stockage et consommation d'hydrogène ; système domotique et de stockage d'énergie « fait maison »; tiny house mobile, autonome en énergie et auto-construite ; écoquartier participatif et auto-construit par les habitants, avec autoproduction d'énergie ; bâtiment non interconnecté avec autoproduction d'énergie, stockage d'énergie (hydrogène et batterie) ; smarthouse avec production et stockage d'énergie.....	155
Figure 37 : Carte d'activités sur le thème (1) Installation du système énergétique.....	158
Figure 38 : Carte d'activités sur le thème (2) Gestion du système énergétique.....	159
Figure 39 : Carte d'activités sur le thème (3) Maîtrise de la consommation d'énergie dans l'habitat.....	160
Figure 40 : Déroulement des entretiens.....	161

Figure 41 : Schéma du processus de traitement des données	163
Figure 42 : Expertise perçue de l'énergie (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).....	171
Figure 43 : Expertise perçue de l'habitat (** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).....	171
Figure 44 : Classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des entretiens.....	173
Figure 45 : Analyse factorielle des correspondances pour les classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des entretiens.....	175
Figure 46 : Classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les experts.....	176
Figure 47 : Classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs précurseurs.....	177
Figure 48 : Classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs ordinaires.....	179
Figure 49 : Analyse factorielle des correspondances pour les classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les experts.....	181
Figure 50 : Analyse factorielle des correspondances pour les classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs précurseurs.....	182
Figure 51 : Analyse factorielle des correspondances pour les classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs ordinaires.....	183
Figure 52 : Contributions des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les experts, utilisateurs ordinaires et utilisateurs précurseurs (à travers les Tgens) pour chaque classe de la classification hiérarchique descendante pour tous les participants.....	185
Figure 53 : Contribution des profils (■ Experts ■ Utilisateurs ordinaires ■ Utilisateurs précurseurs) pour chaque classe de la classification hiérarchique descendante pour tous les participants.....	185
Figure 54 : Nombre d'idées qui soutiennent une expérience utilisateur positive pour le thème (2) Gérer le système énergétique (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$).....	188
Figure 55 : Nombre d'idées qui entraînent une expérience utilisateur négative pour le thème (3) Maitriser sa consommation d'énergie (** $p < 0,01$).....	189
Figure 56 : Fluidité pour le thème (2) Gérer le système énergétique (* $p < 0,05$).....	193
Figure 57 : Nombre d'idées nouvelles pour le thème (2) Gérer le système énergétique (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$).....	194

Figure 58 : Nombre d'idées pertinentes pour le thème (2) Gérer le système énergétique (*p<,05)	195
Figure 59 : Description des activités liées à l'énergie dans l'habitat sur la base des données de l'étude 2	196
Figure 60 : Nombre d'éléments identifiés comme favorisant une expérience positive ou entraînant à une expérience négative pour les activités d'installation/rénovation du système énergétique...	199
Figure 61 : Nombre d'éléments identifiés comme favorisant une expérience positive ou entraînant à une expérience négative pour les activités de gestion du système énergétique.....	201
Figure 62 : Nombre d'éléments identifiés comme favorisant une expérience positive ou entraînant à une expérience négative pour les activités de maîtrise de la consommation d'énergie.....	203
Figure 63 : Synthèse des scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat et des personas prospectifs associés	211
Figure 64 : Évaluation des idées par le juge 1 (expert technique scientifique) en fonction de la pertinence/faisabilité et de la nouveauté (■ : idées non pertinentes/faisables et non nouvelles ; ■ : idées pertinentes/faisables mais non nouvelles ; ■ : idées nouvelles mais non pertinentes/faisables ; ■ : idées pertinentes/faisables et nouvelles).....	215
Figure 65 : Évaluation des idées par le juge 2 (expert industriel) en fonction de la pertinence/faisabilité et de la nouveauté (■ : idées non pertinentes/faisables et non nouvelles ; ■ : idées pertinentes/faisables mais non nouvelles ; ■ : idées nouvelles mais non pertinentes/faisables ; ■ : idées pertinentes/faisables et nouvelles).....	215
Figure 66 : Exemple du positionnement des utilisateurs précurseurs sur la variable liée au besoin général « Rentabilité »	231
Figure 67 : Exemple de l'attribution de valeurs pour les utilisateurs précurseurs sur la variable liée au besoin général « Rentabilité ».....	232
Figure 68 : Persona prospectif utilisé dans cette étude.....	234
Figure 69 : Personas prospectif et ordinaire utilisés dans l'étude	235
Figure 70 : Déroulement des séances de créativité.....	239
Figure 71 : Nombre d'idées nouvelles (*p<,05 ; ** p<,01).....	243
Figure 72 : Nouveauté des idées (** p<,01 ; *** p<,001)	244
Figure 73 : Faisabilité des idées (** p<,01)	245

Figure 74 : Déroulement de l'étude complémentaire.....	250
Figure 75 : Enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs (** p<,01)	252
Figure 76 : Capacité perçue du persona à orienter les idées (** p<,01).....	253
Figure 77 : Complémentarités et articulation des différentes modalités de l'intervention en ergonomie.....	277
Figure 78 : Proposition de méthodologie opérationnelle de conception exploratoire future centrée sur les utilisateurs.....	278
Figure 79 : Catégorisation des dispositifs intégrant l'hydrogène énergie dans l'habitat étudiés dans le benchmark (■) par rapport aux scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat (■)	284
Figure 80 : Exemple du schéma synthétique sur la plateforme MURAL pour l'entretien exploratoire numéro 4.....	323
Figure 81 : Schéma des activités en lien avec l'énergie dans l'habitat au cours des entretiens de confrontation de l'activité.....	324
Figure 82 : Pertinence des critères d'identification des idées de besoins, évaluée par 16 ergonomes	325
Figure 83 : Persona prospectif associé au scénario 1 (Le foyer autarcique en énergie).....	340
Figure 84 : Persona prospectif associé au scénario 2 (Scénario 2 : Le foyer energiphile)	341
Figure 85 : Persona prospectif associé au scénario 3 (Le foyer membre d'une communauté énergétique).....	342
Figure 86 : Persona prospectif associé au scénario 4 (Le foyer passif).....	343

Index des tableaux

Tableau 1 : Modalités d'intervention en ergonomie (inspiré de Brangier & Robert, 2014).....	38
Tableau 2 : Comparaison des approches centrée sur l'artefact et centrée sur l'utilisateur.....	45
Tableau 3 : Relations entre besoins pragmatiques et hédoniques, et expérience utilisateur.....	69
Tableau 4 : Synthèse des études.....	111
Tableau 5 : Description des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des publications ([n] avec n l'identifiant de la publication).....	128
Tableau 6 : Description du profil des utilisateurs précurseurs.....	153
Tableau 7 : Usages précurseurs de l'énergie et de l'habitat des utilisateurs précurseurs.....	154
Tableau 8 : Description du profil des experts.....	156
Tableau 9 : Critères d'identification des idées de besoins.....	165
Tableau 10 : Test de Kruskal-Wallis sur l'expertise perçue des participants pour les domaines de l'habitat et de l'énergie.....	170
Tableau 11 : Moyenne et écart-type pour l'expertise perçue des participants pour les domaines de l'habitat et de l'énergie.....	170
Tableau 12 : Description des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des entretiens.....	174
Tableau 13 : Description des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les experts.....	176
Tableau 14 : Description des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs précurseurs.....	178
Tableau 15 : Description des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs ordinaires.....	179
Tableau 16 : Thèmes mentionnés par les utilisateurs ordinaires, les utilisateurs précurseurs et les experts.....	180
Tableau 17 : Test de Kruskal-Wallis pour les idées extraites.....	187
Tableau 18 : Moyenne et écart-type pour les idées extraites.....	187

Tableau 19 : Test de Kruskal-Wallis pour la fluidité, le nombre d'idées originales, l'originalité des idées, le nombre d'idées nouvelles, la nouveauté des idées, le nombre d'idées faisables, la faisabilité des idées, le nombre d'idées pertinentes et la pertinence des idées.....	191
Tableau 20 : Moyenne et écart-type pour la fluidité, le nombre d'idées originales, l'originalité des idées, le nombre d'idées nouvelles, la nouveauté des idées, le nombre d'idées faisables, la faisabilité des idées, le nombre d'idées pertinentes et la pertinence des idées.....	191
Tableau 21 : Activités d'installation/rénovation du système énergétique.....	197
Tableau 22 : Activités de gestion du système énergétique (* activités précédemment identifiées dans la littérature)	200
Tableau 23 : Activités de maîtrise de la consommation d'énergie (* activités précédemment identifiées dans la littérature)	202
Tableau 24 : 10 idées de besoins les plus équilibrées (nouvelles, faisables et pertinentes).....	204
Tableau 25 : 10 idées de besoins les plus nouvelles.....	205
Tableau 26 : 10 idées de besoins les plus faisables.....	205
Tableau 27 : 10 idées de besoins les plus pertinentes.....	206
Tableau 28 : Besoins généraux liés à l'énergie dans l'habitat	207
Tableau 29 : Scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat.....	211
Tableau 30 : Exemple d'association d'une idée de besoin à une idée d'artefact	213
Tableau 31 : 10 idées d'artefacts les plus équilibrées, nouvelles et faisables/pertinentes (score de disruptivité : plus les valeurs sont proches de 0 plus l'idée est équilibrée ; score de nouveauté : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont nouvelles, les valeurs négatives équivalent à des idées non nouvelles ; score de pertinence/faisabilité : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont pertinentes/faisables, les valeurs négatives équivalent à des idées non pertinentes/faisables).....	216
Tableau 32 : 10 idées d'artefacts les plus nouvelles (score de disruptivité : plus les valeurs sont proches de 0 plus l'idée est équilibrée ; score de nouveauté : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont nouvelles, les valeurs négatives équivalent à des idées non nouvelles ; score de pertinence/faisabilité : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont pertinentes/faisables, les valeurs négatives équivalent à des idées non pertinentes/faisables).....	217
Tableau 33 : 10 idées d'artefacts les plus pertinentes/faisables (score de disruptivité : plus les valeurs sont proches de 0 plus l'idée est équilibrée ; score de nouveauté : plus les valeurs sont hautes plus	

les idées sont nouvelles, les valeurs négatives équivalent à des idées non nouvelles ; score de pertinence/faisabilité : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont pertinentes/faisables, les valeurs négatives équivalent à des idées non pertinentes/faisables).....	218
Tableau 34 : Besoins généraux identifiées dans cette étude en comparaison de la littérature.	224
Tableau 35 : Exemple de l'identification des patterns d'activités et de besoins généraux, et des profils pour les utilisateurs précurseurs.....	233
Tableau 36 : Caractéristiques des personas prospectif et ordinaire utilisés dans l'étude.....	236
Tableau 37 : Test de Kruskal-Wallis pour l'originalité des idées, le nombre d'idées nouvelles et la pertinence des idées.....	241
Tableau 38 : ANCOVA pour la fluidité, le nombre d'idées originales, la nouveauté des idées, le nombre d'idées faisables, la faisabilité des idées et le nombre d'idées pertinentes.....	241
Tableau 39 : Moyenne et écart-type pour la fluidité, le nombre d'idées originales, l'originalité des idées, le nombre d'idées nouvelles, la nouveauté des idées, le nombre d'idées faisables, la faisabilité des idées, le nombre d'idées pertinentes et la pertinence des idées.....	242
Tableau 40 : Test de Kruskal-Wallis pour la compréhension perçue des pensées du persona....	246
Tableau 41 : ANOVA pour l'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs, la capacité perçue du persona à inspirer des idées, la capacité perçue du persona à orienter les idées, la capacité perçue de prévoir les comportements du persona et la capacité perçue à se mettre à la place du persona.....	247
Tableau 42 : Moyenne et écart-type pour l'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs, la capacité perçue du persona à inspirer des idées, la capacité perçue du persona à orienter les idées, la capacité perçue de prévoir les comportements du persona, compréhension perçue des pensées du persona et la capacité perçue à se mettre à la place du persona.....	247
Tableau 43 : Test de Friedman pour l'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs, la capacité perçue du persona à orienter les idées, la compréhension perçue des pensées du persona et la capacité perçue de prévoir les comportements du persona.....	250
Tableau 44 : Moyenne et écart-type pour l'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs, la capacité perçue du persona à orienter les idées, la compréhension perçue des pensées du persona et la capacité perçue de prévoir les comportements du persona.....	251
Tableau 45 : Synthèse des objectifs des études.....	262

Tableau 46 : Synthèse des difficultés rencontrées, des processus cognitifs à amplifier, des méthodes recommandées et des profils à impliquer, pour les étapes d'anticipation des besoins futurs et de définition d'idées d'artefacts futurs.....	268
Tableau 47 : Apports des utilisateurs ordinaires, utilisateurs précurseurs et experts à l'analyse et l'anticipation des besoins.....	272
Tableau 48 : Identification et description des dispositifs étudiés dans le benchmark.....	321
Tableau 49 : Critères d'identification des idées de besoins.....	325
Tableau 50 : Évaluation des idées de solutions par le juge 1 et le juge 2 (score de disruptivité : plus les valeurs sont proches de 0 plus l'idée est équilibrée ; score de nouveauté : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont nouvelles, les valeurs négatives équivalent à des idées non nouvelles ; score de pertinence/faisabilité : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont pertinentes/faisables, les valeurs négatives équivalent à des idées non pertinentes/faisables).....	376

Introduction générale

1. Contexte

1.1. L'hydrogène énergie : un pilier possible de la transition énergétique

Le changement climatique, la pollution, la rareté des sources d'énergie fossiles et la sécurité énergétique sont quelques-unes des nombreuses raisons qui ont conduit à un consensus sur la nécessité d'une transition énergétique (Ripple et al., 2017) – passer d'un système énergétique fortement carboné à un système plus soutenable.

Ce contexte de transition appelle à la réduction de la consommation d'énergie et à la diversification des sources d'énergie, en particulier avec les énergies renouvelables (Reuß et al., 2017) qui sont décentralisées et variables, ce qui implique qu'elles ne sont pas nécessairement produites au moment et à l'endroit où elles sont consommées. Cette augmentation de la part des énergies renouvelables appelle des solutions de flexibilité pour faire correspondre la production d'énergie à la consommation d'énergie (Fonseca et al., 2019; Reuß et al., 2017). Cela passe en grande partie par le stockage de l'énergie – le captage de l'énergie produite à un moment donné en vue d'une utilisation ultérieure. Seulement, les recherches se sont focalisées sur le stockage de l'énergie à court terme (ex. batterie) au détriment du stockage à l'échelle de la journée, de la semaine ou de la saison (World Energy Council, 2020).

L'hydrogène énergie¹ est un vecteur énergétique, c'est-à-dire qu'il est un moyen de stocker et transporter de l'énergie. Il a été identifié comme un facteur clé potentiel pour aborder la transition énergétique (Cany et al., 2017; Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018b), car il offre de grandes capacités de stockage et de flexibilité qui ne peuvent pas être réalisées avec l'électricité. En effet, l'hydrogène peut être stocké en grandes quantités et sur de longues périodes, il peut être obtenu à partir de différentes sources (énergies renouvelables et fossiles) et avec différents procédés (ex. électrolyse, reformage, etc.) (Fonseca et al., 2019), et il peut être utilisé par combustion (pour obtenir de l'énergie mécanique et de la chaleur) ou par conversion électrochimique (pour obtenir de l'électricité et de la chaleur). Pour ces raisons, l'hydrogène énergie est considéré comme un moyen possible de sécuriser les énergies renouvelables et de contribuer à la transition énergétique. L'utilisation d'hydrogène énergie est envisagée pour :

- Le transport avec des véhicules légers (ex. Bakker et al., 2012; Lines et al., 2008) et des véhicules lourds (ex. Bigerna & Polinori, 2015) ;
- Les applications stationnaires, par exemple l'autonomie énergétique des bâtiments (ex. Verbecke & Vesj, 2013) ou des zones non interconnectées (Fonseca et al., 2019) ;
- L'intégration dans les réseaux d'énergie centralisés (Cany et al., 2017).

1.2. Les systèmes énergétiques futurs : une question pour l'ergonomie

Les technologies de l'hydrogène énergie sont reconnues pour être dans leur grande majorité des technologies émergentes (Ogawa et al., 2018; World Energy Council, 2020). Elles s'intégreront dans les systèmes énergétiques futurs, qui n'existent pas. Dans ce cas, l'analyse des situations

¹ Le terme hydrogène énergie correspond à l'utilisation de dihydrogène pour des applications dans lesquelles il est utilisé comme vecteur énergétique, par opposition aux applications où il est utilisé comme réactif. Dans cette thèse le terme hydrogène énergie sous-entend hydrogène énergie renouvelable, c'est-à-dire qui est produit à partir de sources d'énergie renouvelables.

actuelles d'usage, est évidemment intéressante et utile, mais aussi insuffisante, car elle ne permet pas d'identifier des besoins des utilisateurs qui seraient en rupture avec les besoins actuels. L'ergonomie doit donc évoluer pour imaginer ou faire émerger les besoins futurs qui sont associés à ces systèmes qui n'existent pas encore. C'est l'objet de l'ergonomie prospective (Brangier & Robert, 2014; Robert & Brangier, 2012), nouvelle modalité d'intervention de l'ergonomie qui porte sur la conception d'artefacts² futurs.

La participation de l'ergonomie à la conception de futurs systèmes énergétiques qui intègrent l'hydrogène énergie s'inscrit aussi dans la lignée du courant des *Human Factors and Sustainable Development* (« Facteurs humains et développement durable ») (Steimle & Zink, 2006), en ce sens qu'elle participe à l'objectif de concevoir des systèmes plus soutenables. Ce mouvement milite pour que l'ergonomie contribue au développement durable, notamment en se focalisant sur les aspects humains du capital social (le développement durable reposant sur un équilibre entre les capitaux économique, social et naturel), à travers la notion de système de travail durable. Dans ce cadre, Thatcher (2013) propose une définition de la *Green ergonomics* (« Ergonomie verte »), comme étant une intervention ergonomique avec un objectif pro-environnemental, c'est-à-dire avec une visée de réduction de l'impact environnemental négatif des humains sur l'environnement. Il fait le constat que les objectifs de l'ergonomie sont liés aux objectifs d'une conception environnementalement soutenable, dans la mesure où il existe une relation bidirectionnelle entre l'environnement et les humains : l'environnement naturel a un impact sur la santé et le bien être des humains, les humains ont un impact sur la santé de l'environnement.

Ainsi, l'hydrogène énergie, objet d'étude qui peut paraître à première vue restreint aux sciences naturelles et à l'ingénierie, constitue un excellent sujet pour l'ergonomie, à la croisée de l'ergonomie prospective et de l'ergonomie environnementalement responsable.

² Nous utilisons ici le terme d'artefact pour qualifier une organisation, un service, un produit, un système, une technologie ou un ensemble de ces différents éléments. Ce mot définissant tout « objet artificiel » ayant été créé ou ayant subi une transformation par l'humain (Rabardel, 1995).

2. Objectifs scientifiques

L'hydrogène énergie est donc une source de questionnement pour l'ergonomie. Il pose la question de la conception d'artefacts futurs, qui n'existent pas et pour lesquels l'étude de situations existantes n'est pas suffisante. Par conséquent, l'ergonomie doit se doter de nouvelles approches et méthodes pour anticiper efficacement les besoins futurs des utilisateurs.

2.1. Objectif méthodologique : développer l'anticipation des besoins futurs des utilisateurs et leur intégration dans les artefacts futurs

Le premier objectif scientifique de ce travail est donc méthodologique, il vise à identifier et tester des méthodes qui permettent d'anticiper des besoins futurs. Nous chercherons aussi à identifier les conditions qui permettent d'introduire ces besoins futurs dans la définition d'idées préliminaires d'artefacts.

Cette thèse s'inscrit donc dans la continuité des travaux de Barré (2015), qui a proposé des outils d'anticipation des besoins des utilisateurs. L'auteur se focalisait sur l'anticipation ou l'identification de besoins non identifiés ou non exprimés, avec pour objectif de favoriser l'innovation. Pour faciliter l'évocation de besoins des utilisateurs par les concepteurs, il propose d'améliorer la collaboration dans les équipes pluridisciplinaires et d'avoir recours à des technologies virtuelles et interactives. Notre approche cherche à compléter ces travaux, en se focalisant sur l'anticipation ou l'identification de besoins futurs associés à des systèmes qui n'existent pas, avec pour objectif de favoriser la définition d'idées d'artefacts qui sont adaptés aux utilisateurs futurs et au contexte d'utilisation futur. Ainsi, à la différence de Barré (2015) nous cherchons à identifier des besoins futurs plus que des besoins non identifiés et nous défendons que l'implication d'utilisateurs à cette étape d'anticipation des besoins est bénéfique sinon nécessaire. Les propositions méthodologiques que nous faisons se distinguent donc de celles de Barré (2015). Elles reposent sur le recours à la cognition orientée futur et aux utilisateurs précurseurs pour l'anticipation de besoins futurs ; et sur le persona prospectif pour la définition d'idées d'artefacts futurs.

2.2. Objectif appliqué : identifier des besoins futurs liés à l'hydrogène énergie pour définir des systèmes énergétiques adaptés

Cette recherche d'ordre méthodologique est aussi mise au service d'un objet d'étude appliqué : elle doit instruire la question de l'hydrogène énergie dans la transition énergétique. Pour cela, nous cherchons à identifier des besoins futurs des utilisateurs, qui sont liés à l'hydrogène énergie, et à utiliser ces besoins pour alimenter la définition de systèmes énergétiques adaptés aux utilisateurs de demain.

Ainsi, ce travail s'inscrit dans la suite des travaux de Vivian et al. (2018) et Brangier, Vivian et al. (2019) qui portaient sur l'identification de besoins utilisateurs liés à l'hydrogène énergie, à travers la passation et l'analyse de staff d'experts. Cette thèse vient donc enrichir et compléter ces travaux, en proposant une approche qui va de l'anticipation de besoins futurs à la définition d'artefacts futurs et qui implique non seulement des experts mais aussi des utilisateurs.

Ce travail de recherche tente aussi de répondre à la critique formulée par Delzendeh et al. (2017), qui indiquent que les humains ne font pas partie de la conception des systèmes énergétiques, alors qu'ils en sont un facteur crucial de leur réussite.

3. Structure du document

Afin de répondre à ces objectifs, cette thèse s'articule de la manière suivante :

Partie 1 - Cadre théorique

Cette première partie théorique présente l'état de l'art concernant l'anticipation de besoins futurs et la conception d'artefacts inexistants. Elle est composée de trois chapitres.

Chapitre 1 - La conception d'artefacts futurs avec l'ergonomie prospective

Ce premier chapitre décrit le contexte dans lequel l'ergonomie prospective fait son apparition, et les enjeux spécifiques que cette modalité d'intervention implique pour la discipline. Ce chapitre développe l'idée que l'anticipation est devenue une nécessité pour l'ergonomie et que de nouvelles méthodes doivent venir supporter cette posture.

Chapitre 2 - Les besoins des utilisateurs dans une approche de conception centrée sur l'utilisateur

Ce chapitre propose un éclairage théorique sur la notion de besoins des utilisateurs, notion centrale dans cette thèse, et sur l'importance de la prise en compte de ces besoins dans la conception. Pour cela, les besoins des utilisateurs sont définis du point de vue de l'ergonomie et leurs caractéristiques sont détaillées. L'intérêt et les moyens de leur prise en compte dans la conception sont ensuite exposés.

Chapitre 3 - L'ergonomie prospective en soutien à la conception exploratoire future

Ce dernier chapitre théorique s'inscrit en réponse au chapitre 1 qui fait le constat de la nécessité de l'anticipation et au chapitre 2 qui fait le constat de l'importance de la prise en compte des besoins des utilisateurs dans la conception. Ainsi, le chapitre 3 décrit comment les besoins des utilisateurs peuvent être pris en compte dans la conception orientée sur le futur et dans un cadre d'anticipation. Dans un premier temps, les difficultés liées à l'anticipation de besoins futurs et les différents moyens qui peuvent être mis en place pour atténuer ces difficultés sont détaillés. Dans un second temps, les obstacles à l'intégration de besoins futurs dans la définition d'idées d'artefacts sont présentés et les différents moyens pour faciliter cet exercice sont exposés.

Chapitre 4 – Problématique

Ce chapitre détaille la problématique de ce travail de thèse. Dans un premier temps un bilan du cadre théorique est dressé, dans le but de faire émerger les questions de recherche et hypothèses générales qui sont ensuite présentées. Ces questions de recherche portent sur les objectifs méthodologiques et sont aussi articulées autour de l'hydrogène énergie, pour formuler des questions de recherche appliquées. Pour répondre à ces questions une proposition de méthodologie est élaborée. Enfin, la démarche de recherche est précisée.

Partie 2 - Contribution empirique

Cette partie présente la contribution empirique de cette thèse. Elle est constituée de 3 études qui forment chacune un chapitre.

Chapitre 5 - Étude 1 : Les utilisateurs dans la conception de systèmes énergétiques intégrant l'hydrogène énergie

Ce chapitre décrit la première étude de ce travail. Cette méta-analyse de publications qui portent sur l'hydrogène énergie visait à formuler précisément la demande à laquelle cette recherche en ergonomie doit répondre. La demande identifiée porte sur l'adaptation aux utilisateurs futurs, de systèmes énergétiques pour l'habitat, qui intègrent l'hydrogène énergie. Cette étude constituait également une proposition sur la façon de formuler ou initier une demande en ergonomie prospective.

Chapitre 6 - Étude 2 : Contribution des utilisateurs précurseurs, des utilisateurs ordinaires et des experts à l'anticipation de besoins futurs liés à l'hydrogène énergie pour l'habitat

Le chapitre 6 porte sur la seconde étude qui avait pour objectif de mesurer la contribution d'utilisateurs précurseurs à l'anticipation de besoins futurs, à travers des entretiens d'anticipation des besoins. Cette étude cherchait aussi à anticiper des besoins relatifs à l'énergie dans l'habitat, pertinents dans le cas de l'application de l'hydrogène énergie à l'habitat.

Chapitre 7 - Étude 3 : Génération d'idées d'artefacts futurs avec la méthode du persona prospectif

Le chapitre 7 décrit la dernière étude de ce travail de recherche. Cette étude visait à mesurer l'impact de l'utilisation du persona prospectif sur la définition d'artefacts futurs par des experts.

Chapitre 8 - Discussion générale

Ce dernier chapitre est une discussion du travail de recherche. Dans un premier temps, une synthèse des études est dressée. Les contributions méthodologiques et appliquées sont discutées dans un second temps. Enfin, une conclusion de ce travail de recherche est faite et les perspectives qu'ouvre ce travail sont exposées.

Partie 1 - Cadre théorique

Chapitre 1

La conception d'artefacts futurs avec l'ergonomie prospective

“The field of Human Factors and its many descendants [...] has made numerous, wonderful advances in the many decades since the enterprise began. But the discipline still serves many to rescue rather than to create. It is time for a change”
Donald NORMAN (2010)

“Le domaine des facteurs humains et ses nombreux descendants [...] ont fait de nombreuses et merveilleuses avancées au cours des nombreuses décennies qui ont suivi le démarrage de l'entreprise. Mais la discipline sert toujours à sauver plutôt qu'à créer. Il est temps pour un changement”
Donald NORMAN (2010)

Résumé du chapitre

L'ergonomie prospective est une modalité d'intervention qui a pour objet la conception de systèmes futurs. Ce chapitre introduit comment l'ergonomie prospective émerge (1) d'une réflexion sur l'ergonomie et le futur qui n'est pas récente et (2) d'une demande du marché portant sur la conception d'artefacts futurs. Ensuite, le courant dans lequel l'ergonomie prospective s'inscrit vis-à-vis de la prise en compte des utilisateurs dans la conception est décrit. Enfin ce chapitre détaille les étapes d'anticipation de besoins futurs et de définition d'idées d'artefacts qui doivent permettre à l'ergonomie prospective d'investir la conception exploratoire, étapes qui nécessitent d'être étayées d'un point de vue théorique et méthodologique.

1. Le développement d'une pensée prospective

1.1. Une réflexion initiée au milieu du XX^e siècle

En 1962, Bartlett, psychologue et ergonomiste fait l'exercice de prédire le futur de l'ergonomie à l'occasion d'un discours à l'*Ergonomics Research Society*, ensuite repris dans un article publié dans la revue *Ergonomics* (Bartlett, 1962). On prête couramment à cet événement le fondement de la réflexion que nous menons aujourd'hui sur l'ergonomie et le futur (Brangier et al., 2017; Hoc, 2008; Stanton & Stammers, 2008). Bartlett indiquait alors que l'ergonomie se doit de penser plus vite que la technologie en :

- Réalisant une veille technologique ;
- Intervenant le plus tôt possible pour assurer la compatibilité de l'invention à l'efficacité et la santé humaine ;
- Étudiant comment réduire l'écart de temps entre les avancées technologiques potentielles et réelles.

Bartlett fait le souhait d'une ergonomie qui n'intervient pas en réaction à l'avancée technologique, mais qui se positionne dès l'amont et anticipe les effets de la technologie. C'est le début d'une réflexion sur le rôle de l'ergonomie dans la conception de technologies émergentes – une technologie qui est en cours de développement, par opposition à une technologie qui fonctionne avec succès en contexte écologique. Cette réflexion ne porte pas strictement sur la conception d'artefacts futurs, mais plus sur la place qu'occupe l'ergonomie dans le processus de conception et sur la relation qu'elle entretient avec le développement technologique. Néanmoins, la prise en compte du futur par l'ergonome et la place qu'occupe ce dernier dans le développement technologique ou le processus de conception, sont des réflexions qui sont concomitantes.

1.2. Le futur comme une construction incertaine

Ce n'est que récemment que la question du futur est directement abordée avec la notion d'activité future probable et d'activité future désirable (Daniellou, 2004; Duarte & Lima, 2012; Sagot et al., 2003). Ici, l'objectif est de déduire l'activité future sur la base de l'activité présente. Ce travail peut aussi s'accompagner de la définition de ce qui constitue des activités futures désirables, c'est une

déclinaison des activités futures probables dans une version désirable en matière de sécurité, santé, confort et d'efficacité. À partir de connaissances de la situation actuelle et sur les capacités de l'opérateur ou de l'utilisateur, l'ergonome infère l'activité future en fonction des particularités connues de la situation future. C'est une approche déductive du futur qui admet que le futur est prédictible, elle est donc limitée à un futur proche (Brangier et al., 2017). Cette approche rend difficile la conception pour des horizons temporels lointains caractérisés notamment par une forte incertitude.

Il existe aujourd'hui un consensus sur le fait que nous vivons dans un monde VUCA (*Volatile, Uncertain, Complex et Ambiguous*) (Bennett & Lemoine, 2014), qui a quatre caractéristiques :

- Volatilité : instable et changeant fréquemment ;
- Incertitude : les informations sont inconnues ;
- Complexité : énorme volume et diversité d'informations ;
- Ambiguïté : la relation de cause à effet est inconnue.

Ces caractéristiques rendent la prédiction le plus souvent impossible ou peu fiable (Roje, 2014), et font ainsi de la conception d'artefacts futurs un exercice difficile. Travailler sur des horizons temporels proches mais aussi lointains, appelle donc une nouvelle réponse pour laquelle l'ergonomie aurait la capacité d'intervenir sur des projets qui concernent un avenir incertain.

1.3. La conception future : une demande faite à l'ergonomie

Par ailleurs, les demandes faites aux ergonomes pour travailler sur des artefacts futurs sont de plus en plus nombreuses (Robert & Brangier, 2019) et portent majoritairement sur trois motivations :

- **L'innovation** (Bonnardel, 2012) : pour rester compétitives, les entreprises doivent proposer des produits qui sont nouveaux et adaptés. Une innovation est une invention qui a été adoptée par les utilisateurs. L'ergonome peut participer à cet effort en outillant les concepteurs dans leur recherche d'idées nouvelles, et en s'assurant du caractère adapté du produit en s'interrogeant sur la capacité du produit à soutenir des activités et besoins futurs ;
- **Les systèmes à longue durée de vie** (Ruault et al., 2014) : il s'agit de systèmes qui vont être en service durant des dizaines voire des centaines d'années : centrales nucléaires, réseaux ferroviaires, avions etc. Le contexte d'utilisation et les caractéristiques des utilisateurs peuvent

changer, l'ergonome doit donc être en mesure d'imaginer et d'intégrer ces changements dans la conception, et doit laisser la possibilité aux futurs utilisateurs de s'approprier le système pour des activités non imaginées. L'ergonome intervient sur un système présent avec des technologies connues, mais qui est emmené à être utilisé dans des contextes différents ;

- **Les artefacts futurs inexistants** : l'humanité est confrontée à des défis inexpérimentés avec le changement climatique, la destruction de l'environnement et la raréfaction de certaines ressources. Ces défis appellent des changements (Ripple et al., 2017) et nous amènent à questionner profondément l'avenir des activités humaines et des artefacts associés, dans de nombreux domaines : mobilité, énergie, bâtiment, technologies de l'information, industrie, divertissement, alimentation, agriculture etc. Ici, l'ergonome qui intervient par exemple sur la transition énergétique doit participer à la conception d'artefacts qui verront le jour dans un avenir long terme et pour lesquels les technologies et les utilisateurs ne sont pas encore existants.

1.4. L'émergence de l'ergonomie prospective

1.4.1 Une nouvelle modalité d'intervention

Cette demande croissante faite à l'ergonomie de travailler sur le futur – imprédictible et incertain – et la maturité de la discipline, signe l'émergence d'une nouvelle proposition, celle de l'ergonomie prospective (Brangier & Robert, 2014; Robert & Brangier, 2012). Elle est définie comme « *une modalité d'intervention ergonomique qui consiste à anticiper les futurs besoins, usages et comportements ou à construire les futurs besoins en vue de créer des procédés, produits ou services qui leurs sont bien adaptés. Elle prospecte sur de nouvelles formes d'organisation de vie en considérant que l'aspect humain doit y occuper la place centrale. [...] l'ergonomie se donne pour mission d'élaborer des visions pour l'avenir et de leur donner forme en créant de futurs procédés, produits et services qui seront utilisés dans les situations de la vie professionnelle, sociale ou domestique.* » (Brangier & Robert, 2014).

On retrouve dans cette définition le souhait fait par Bartlett en 1962 de voir l'ergonomie se positionner plus stratégiquement en occupant une place centrale, dans une formalisation d'intervention ergonomique spécialisée sur le futur. Par ailleurs, Cayol et Bonhoure (2004) proposent de travailler sur l'analyse de tendances et de prévisions pour permettre de décrire des

visions du futur. Ces visions sont ensuite utilisées pour donner un cadre de réflexion à un groupe multidisciplinaire dont l'objectif est d'imaginer des concepts de produits qui seront source de plaisir pour l'utilisateur. Cette proposition méthodologique qui précède la définition et formalisation de l'ergonomie prospective, peut être considérée comme une première élaboration de ce mode d'intervention.

L'ergonomie prospective en tant que modalité d'intervention se distingue de l'ergonomie corrective et de l'ergonomie préventive (ou de conception) (voir Tableau 1) (Brangier & Robert, 2014; Robert & Brangier, 2012). Dans la première (ergonomie corrective), l'ergonomie vise à ajuster un artefact aux problèmes rencontrés par ses utilisateurs. C'est une modalité d'intervention réactive. Dans la seconde (ergonomie préventive), l'ergonomie vise à améliorer la conception ou le développement d'un artefact éprouvé, en se basant sur des situations de références.

Tableau 1 : Modalités d'intervention en ergonomie (inspiré de Brangier & Robert, 2014)

Modalité d'intervention	Prospective	Préventive	Corrective
Actions et Objectifs	Anticiper des besoins et activités futurs et imaginer des idées d'artefacts adaptés	Améliorer la conception ou le développement d'un artefact éprouvé	Ajuster un artefact aux problèmes rencontrés par ses utilisateurs.
Dynamique	Proactive	Proactive/ Réactive	Réactive
Temporalité	Futur	Présent	Passé

L'ergonomie prospective propose d'anticiper des besoins et activités futurs sur la base des connaissances dont nous disposons, afin de concevoir des artefacts qui sont adaptés et qui sont à l'origine d'expériences positives (Robert & Brangier, 2019). L'exercice d'anticipation diffère de celui de la prédiction, il consiste à essayer de percevoir et d'imaginer des futurs réalistes et pertinents qui peuvent advenir, plutôt que des futurs qui vont advenir. C'est une approche plus constructiviste et moins probabiliste du futur. Dans le processus de conception, l'objectif de l'ergonomie

prospective est de réduire l'incertitude, d'aider à prendre des décisions à long terme et à décrire des futurs possibles (Bourgeois-Bougrine et al., 2018; Brangier et al., 2017).

1.4.2 La créativité, la prospective et la cognition orientée futur en soutien à l'ergonomie

Pour répondre à ses objectifs, l'ergonomie prospective se base sur trois fondements disciplinaires, méthodologiques et théoriques : l'ergonomie, la créativité et la prospective (Brangier & Robert, 2014). Ces derniers ont récemment été complétés par un quatrième fondement : la cognition orientée futur (Colin & Martin, 2019; Robert & Brangier, 2019)(voir Figure 1).



Figure 1 : Fondements disciplinaires, méthodologiques et théoriques de l'ergonomie prospective

L'ergonomie : les méthodes et théories classiques en ergonomie sont mobilisées pour comprendre les utilisateurs et leurs interactions avec les systèmes, et assurer l'adaptation de ces systèmes aux utilisateurs, en leur garantissant une expérience positive.

La créativité : les connaissances issues de la psychologie de la créativité (Bonnardel, 2009; Glaveanu et al., 2013), permettent de mieux comprendre les processus en jeu lors de l'idéation d'idées nouvelles et adaptées au contexte et aux utilisateurs. Les méthodes qui s'appuient sur ces connaissances (brainstorming, persona etc.) permettent de faciliter la résolution de problèmes de conception dont le contexte est mal défini, et soutient donc la conception d'artefacts adaptés aux utilisateurs et pertinents.

La prospective : la prospective est une discipline qui vise à décrire des futurs possibles pour réduire l'incertitude et aider la prise de décision. Pour cela elle s'appuie sur l'identification de tendances lourdes et de signaux faibles, pose des hypothèses et décrit des scénarios. La prospective n'a pas pour but de prédire l'avenir mais plutôt de le construire et de l'éclairer (Rojey, 2014). Cette discipline peut alimenter l'ergonomie à la fois par ses méthodes (veille technologique, scénario,

analyse de tendances etc.) et par ses productions qui permettent de décrire des contextes futurs dans lesquels peuvent s'inscrire les activités et artefacts futures.

La cognition orientée futur : c'est la capacité d'une personne à se projeter mentalement dans le futur, c'est-à-dire à simuler mentalement un scénario réaliste (D'Argembeau, 2016; Hollis-Hansen et al., 2019; Schacter et al., 2017). De nombreux travaux en psychologie et neuropsychologie s'attachent à décrire les caractéristiques de cette capacité cognitive et proposent même des méthodes de projection future. L'ergonomie peut bénéficier de ces connaissances et méthodes pour aider des experts, des concepteurs ou des utilisateurs à simuler mentalement une expérience future. Nous décrivons plus en détail ce processus cognitifs dans la Chapitre 3 - L'ergonomie prospective en soutien à la conception exploratoire future.

L'ergonomie prospective s'outille pour mieux appréhender le futur, mais ce n'est pas sa seule particularité, elle se positionne aussi dans une pensée qui place l'utilisateur comme point de départ de la conception.

2. Un changement dans la façon d'aborder

l'utilisateur

Dans le processus de conception, l'ergonomie se fixe pour objectif d'adapter l'artefact à l'humain afin d'agir sur la relation humain-technologie, la façon dont l'humain et la technologie (ou l'artefact) interagissent. D'après Adele et Brangier (2013) cette relation peut prendre trois états différents : le rejet (existence d'une résistance à l'utilisation de la technologie), l'acceptation (la technologie est utilisée) et la techno-symbiose (l'utilisation de la technologie est à l'origine d'un enrichissement de l'utilisateur). Le projet de l'ergonome est d'agir sur le développement technologique pour que cette relation soit la meilleure possible. Nous identifions deux approches différentes qui peuvent être déployées pour traiter les questions de relation humain-technologie dans les projets de développement technologique : une approche d'acceptation technologique et une approche où la recherche utilisateur dirige la conception technologique.

2.1. D'une approche centrée sur l'artefact

L'approche la plus classique adoptée en conception consiste à s'assurer de la compatibilité de l'artefact aux utilisateurs. Dans cette approche, l'artefact est conçu initialement sans intégrer rigoureusement l'utilisateur. Ce n'est que par la suite, que la compatibilité entre les utilisateurs et l'artefact est étudiée, dans le but d'éventuellement ajuster l'artefact ou ses modalités de déploiement aux utilisateurs, afin d'améliorer son adoption.

Les concepts d'acceptation fonctionnelle et d'acceptation sociale (Adele & Brangier, 2013; Brangier et al., 2010; Nielsen, 1993) sont traditionnellement utilisés pour examiner la compatibilité de l'artefact avec les capacités des utilisateurs, et l'acceptation de la technologie dans un environnement et un contexte social déterminés :

- **L'acceptation fonctionnelle** : les théories et démarches d'acceptation fonctionnelle ou opératoire (ex. Analyse des tâches, Annett & Duncan, 1967; Scapin & Bastien, 1997) s'attachent à l'étude de la compatibilité entre l'humain et l'artefact. Pour cela, il convient d'étudier les capacités physiques et cognitives des humains, et les tâches qu'ils effectuent afin de permettre que les systèmes soient utiles (le système permet à son utilisateur d'effectuer sa tâche), accessibles (l'utilisateur peut utiliser le système) et utilisables (le système permet à l'utilisateur d'atteindre ses buts avec efficacité, efficience et satisfaction). L'objectif étant de permettre aux humains d'utiliser l'artefact et de réduire les défaillances liées à l'interaction homme-machine tout en garantissant un niveau de performance et de satisfaction (Brangier et al., 2010) ;
- **L'acceptation sociale** : Les théories et démarches d'acceptation sociale (ex. Technology Acceptance Model, Venkatesh & Bala, 2008) s'attachent elles à l'étude de la compatibilité entre un artefact et un environnement social et se posent la question de l'intégration de l'artefact dans un contexte socio-organisationnel (Brangier et al., 2010). Ces théories assument que les systèmes techniques sont des objets sociaux, et qu'ainsi il ne suffit pas qu'ils soient utiles, accessibles et utilisables, mais il faut qu'ils soient perçus comme tels. Cette perception étant basée sur des normes individuelles, elles-mêmes socialement définies.

Par conséquent, plus la compatibilité entre l'artefact et (1) les capacités de l'utilisateur et (2) l'environnement social est bonne, plus son adoption est importante. Ces théories sont mobilisées soit pour mesurer l'acceptation d'un artefact, soit pour définir les conditions d'acceptation de

l'artefact par l'humain. Dans le premier cas, on évalue dans quelle mesure un artefact développé est utile, accessible, utilisable et socialement accepté, afin de déterminer s'il va être utilisé. Dans le second cas, on se base soit sur des critères existants dans la littérature, soit sur l'analyse de l'artefact pour adapter l'artefact aux capacités des utilisateurs et de l'environnement social, ou éventuellement, simplement influencer sur les modalités de déploiement de l'artefact (communication, mode d'accès etc.). On pourrait plus justement parler d'ajuster l'artefact aux utilisateurs, puisqu'il s'agit majoritairement d'adaptations à la marge, du fait de leur place tardive dans le cycle de conception, qui les rend coûteuses et chronophages (Gude, 2004) .

Cette approche s'inscrit plutôt dans un mode d'implication informatif des utilisateurs (Barré, 2015), qui consiste à intégrer les connaissances sur les utilisateurs à travers des modèles (ex. mesures anthropométriques), afin de permettre aux concepteurs de les prendre en compte à travers des règles et recommandations, et de réduire la distance entre l'humain et l'artefact. Ce mode d'implication informatif des utilisateurs, n'est pas efficace car il ne donne pas aux concepteurs les moyens de satisfaire les règles et recommandations proposées (Falzon, 2005).

Cette approche vise à mesurer ou à améliorer l'adoption d'un artefact via des changements dans ses aspects fonctionnels (rendre l'artefact compatible avec les capacités des utilisateurs) et sociaux (rechercher l'adéquation de l'artefact et du contexte social). Si l'on considère les modalités d'intervention ergonomiques (Brangier & Robert, 2014), cette approche est principalement liée à la modalité d'intervention corrective ou préventive. Dans la première, l'ergonomie est mobilisée pour ajuster un artefact en cours d'utilisation, alors que dans la seconde l'ergonomie est mobilisée lors de la conception d'un artefact éprouvé. De telles approches correspondent à une stratégie d'innovation dite *technology driver* (« pilotée par la technologie ») qui consiste à créer de la valeur ajoutée par le biais de recherches technologiques intensives, ou alors *market reader* (« lecture du marché ») qui consiste à créer de la valeur ajoutée en transformant les technologies existantes en fonction des besoins actuels exprimés par les utilisateurs (Jaruzelski et al., 2014). Ces stratégies sont connues pour favoriser l'innovation incrémentale (innovation basée sur l'amélioration de produits existants) et l'innovation radicale (innovation basée sur la recherche de nouveaux produits).

Dans l'ensemble, cette approche réactive et technocentrée n'est pas satisfaisante car elle ne prend en compte les utilisateurs que tardivement et partiellement. Ainsi, elle laisse peu de place à l'action

et à l'innovation associées aux utilisateurs. Elle dissocie l'artefact de ses utilisateurs en considérant l'humain comme un paramètre à maîtriser pour garantir le succès de l'artefact. Ici, il s'agit d'une ergonomie de surface qui ne remet pas profondément en cause l'artefact et ses fonctions, mais qui est chargée de faire accepter un artefact aux utilisateurs.

2.2. Vers une approche centrée sur l'utilisateur

Une seconde approche consiste à partir de l'humain comme élément de base de la conception, à comprendre les utilisateurs pour développer les artefacts. Dans cette approche, des recherches sur les utilisateurs sont menées pour comprendre le comportement, l'activité, les besoins, les représentations des utilisateurs, etc., afin d'initier ou d'alimenter le processus de conception. L'objectif est double : se rapporter aux connaissances des utilisateurs pour concevoir un artefact adapté et se rapporter aux connaissances des utilisateurs pour favoriser l'innovation.

Cette approche est qualifiée de Conception Centrée Utilisateur, elle est décrite dans le cas des systèmes interactifs dans l'ISO 9241-210: 2019 (International Organization for Standardization, 2019) et a été introduite par Norman et Draper (1986). Dans la Conception Centrée Utilisateur, l'utilisateur prend une place centrale, il est pris en compte à chaque étape de développement, où un effort est fait pour le comprendre ainsi que son activité. Il est possible d'aller encore plus loin, en ne s'arrêtant pas à intégrer les connaissances sur l'utilisateur à chaque étape de la conception, mais en prenant l'utilisateur son activité et ses besoins comme point de départ de la conception. Il s'agit d'une approche globale qui vise à la fois à s'inspirer des besoins utilisateurs pour initier la conception et à façonner la technologie à l'utilisateur. En partant des besoins des utilisateurs pour définir des solutions, il s'agit donc de remettre le critère d'utilité à la base de la conception. Loup-Escande et al. (2013) rappellent que l'utilité – la capacité de l'artefact à permettre à l'utilisateur d'atteindre ses objectifs – est primordiale et qu'un artefact a beau être parfaitement accessible et utilisable, s'il n'est pas réellement utile pour l'utilisateur, il n'a pas de raison d'être utilisé

Cette approche s'inscrit plutôt dans un mode d'implication consultatif ou participatif des utilisateurs (Barré, 2015). Dans le premier, consultatif, les utilisateurs sont interrogés afin de recueillir leurs besoins et ils peuvent participer à l'évaluation des solutions, dans le second, participatif, les utilisateurs font partie intégrante de l'équipe de conception et participent au développement de

l'artefact. L'implication des utilisateurs dans la conception est considérée comme fondamentale pour concevoir des artefacts adaptés (Bazzaro et al., 2012; Garrigou et al., 2001).

Cette approche correspond aux modalités d'intervention corrective et prospective, qui sont associées à la stratégie d'innovation *need seeker* (« recherche de besoins ») qui consiste à rechercher l'innovation en dirigeant la conception par la recherche de besoins utilisateurs présents et futurs (Jaruzelski et al., 2014). Ces auteurs indiquent que cette stratégie d'innovation basée sur la recherche des besoins des utilisateurs est plus efficace que les stratégies *technology driver* et *market reader*, notamment en amont du développement technologique (Buisine et al., 2018; Nelson et al., 2013).

Ici, la prise en compte des caractéristiques des utilisateurs permet à la fois d'initier la conception et de concevoir des artefacts adaptés aux utilisateurs. C'est une approche prescriptive où l'humain est considéré comme une ressource sur laquelle s'appuyer pendant le processus de conception. C'est une implémentation stratégique de l'humain dès l'amont du projet, qui permet à l'ergonome de prendre une place stratégique dans la conception en ne se cantonnant plus à la correction de défaillances ou au rôle de soutien pour les autres disciplines, lors de la conception.

L'ergonomie prospective s'inscrit dans le cadre de ce changement d'approche vis-à-vis de l'intégration de l'utilisateur dans la conception. Par rapport à l'ergonomie de conception, qui s'intéresse aux utilisateurs présents pour des artefacts existants, la spécificité de l'ergonomie prospective réside dans le fait qu'elle cherche à intégrer dans la conception des utilisateurs, besoins et activités futurs afin d'initier ou d'accompagner le développement d'artefacts qui n'existent pas.

2.3. Des approches divergentes

Ces deux approches de la prise en compte de la place des humains dans la conception s'opposent (voir Tableau 2). Dans un cas, c'est un obstacle à surmonter, dans l'autre, c'est une ressource sur laquelle s'appuyer. Cela a des implications très pratiques pour le succès des artefacts et met également en évidence des différences idéologiques. Dans le premier cas, lors de l'amélioration de l'adoption de l'artefact en évaluant sa compatibilité avec les humains, il s'agit de soutenir l'artefact ; les utilisateurs étant considérés ici comme une externalité de l'artefact. Alors que dans le second,

lors de la conception d'un artefact basée sur la compréhension de l'humain, l'artefact est un instrument, il sert les utilisateurs.

Tableau 2 : Comparaison des approches centrée sur l'artefact et centrée sur l'utilisateur

	Approche centrée sur l'artefact	Approche centrée sur l'utilisateur
Objectif	Améliorer l'adoption de l'artefact	Répondre aux besoins des utilisateurs
Portée	Ajuster l'artefact et ses modalités de déploiement aux utilisateurs	- Initier la conception de l'artefact à partir des utilisateurs - Façonner l'artefact aux utilisateurs
Implication des utilisateurs	Informative	Consultative et participative
Modalité d'intervention	Préventive et corrective	Prospective et préventive
Stratégie d'innovation	<i>Market readers</i> ou <i>Technology drivers</i>	<i>Need seeker</i>

2.4. Une intégration de l'utilisateur possible à des temporalités différentes

Ces deux approches peuvent avoir lieu en amont ou en aval du développement de l'artefact. Si nous considérons le processus de développement de l'artefact comme un continuum depuis sa première étape où la recherche fondamentale est transformée en recherche appliquée, jusqu'au moment où l'artefact est déployé sur le marché, il est possible d'inclure la prise en compte des utilisateurs à chaque instant. Les utilisateurs peuvent être intégrés dans le développement dans une optique de compatibilité avec l'artefact ou dans une optique d'adaptation profonde de l'artefact aux utilisateurs, en amont ou en aval. La Figure 2 résume les quatre types de stratégies qui peuvent découler de notre analyse :

– **Stratégie 1 - Garantir la compatibilité** : Garantir la compatibilité d'un artefact en développement aux utilisateurs. Cette stratégie est associée à la modalité d'intervention

préventive.

– **Stratégie 2 - Évaluer la compatibilité** : Évaluer la compatibilité d'un artefact développé aux utilisateurs. Cette stratégie est associée à la modalité d'intervention corrective.

– **Stratégie 3 - Initier et façonner** : Initier la conception d'un artefact à partir des besoins des utilisateurs ou façonner un artefact en cours de développement aux utilisateurs. Cette stratégie est associée aux modalités d'intervention préventive et prospective.

– **Stratégie 4 - Adapter** : Adapter un artefact développé aux besoins des utilisateurs. Cette stratégie est associée aux modalités d'intervention corrective et préventive.

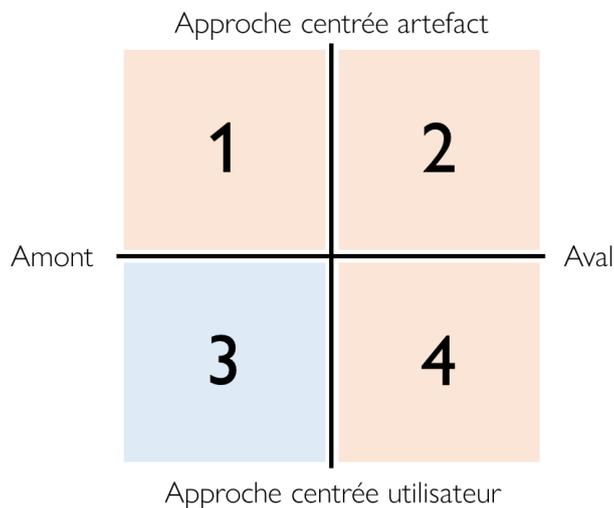


Figure 2 : Catégorisation des stratégies d'intégration de l'utilisateur dans le développement d'artefacts

Ainsi, l'ergonomie prospective est une modalité d'intervention centrée utilisateur qui a vocation à intégrer les utilisateurs futurs en amont des projets de conception.

2.5. Intervenir en amont : un avantage stratégique

L'avantage d'intervenir en amont réside dans les capacités d'action considérables qui s'offrent à l'ergonome : plus l'intervention est précoce et plus les utilisateurs sont pris en compte tôt, plus les capacités d'action sont importantes (Midler, 2012) et plus les coûts associés à l'adaptation de l'artefact sont faibles (Gude, 2004). En effet, plus la conception de l'artefact avance et plus la

capacité d'action de l'ergonome diminue, car elle est limitée par des actions prises plus tôt par d'autres acteurs (voir Figure 3).

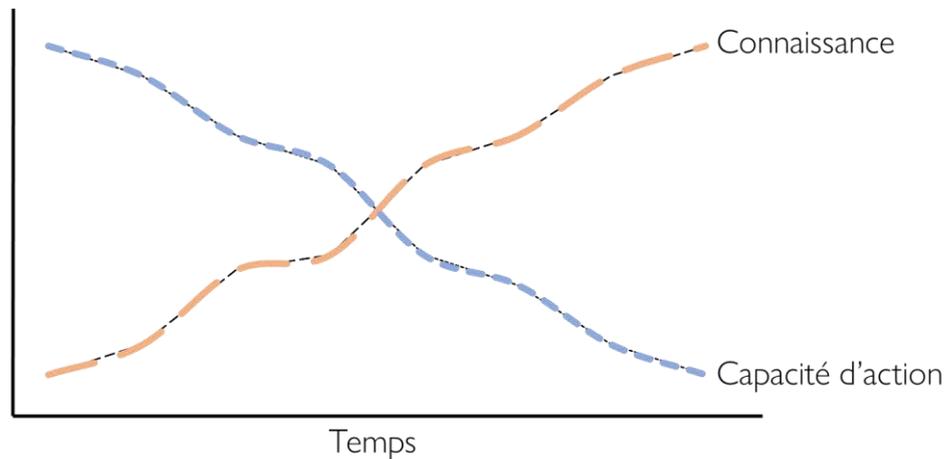


Figure 3 : Capacité d'action par rapport au temps (inspiré de Midler, 2012)

Certains auteurs parlent même de *design freedom* (« liberté de conception ») (Pahl et al., 2007; Ullman, 1992) pour qualifier la capacité d'action importante dont disposent les acteurs de cette phase de conception. Intervenir en amont présente deux avantages pour l'ergonome :

1. prendre des décisions plus stratégiques qui orientent fortement la conception d'artefacts ;
2. intervenir plus efficacement, en augmentant sa capacité d'action et en limitant son intervention en fin de conception ou après la conception, lorsque les adaptations qu'il propose sont chronophages et coûteuses.

Mais cette capacité d'action stratégique ne vient pas sans contrepartie, intervenir tôt consiste à intervenir au moment de la conception où le moins d'informations sont disponibles (voir Figure 3). C'est un contexte d'intervention difficile où la demande du client n'est pas claire, voire même est inexistante, et où l'incertitude liée aux succès des concepts définis est forte (Brangier & Robert, 2014; Robert et al., 2021; Robert & Brangier, 2012). L'ergonome devient donc initiateur et doit formuler ses propres demandes, il devient aussi concepteur et doit définir des concepts d'artefacts pour lesquelles il assure le pilotage et devient maître d'ouvrage.

3. Une modalité d'intervention dédiée à la phase de conception exploratoire

3.1. La phase de conception exploratoire

Dans le cas de l'ergonomie prospective, les ergonomes souhaitent intervenir le plus en amont possible pour être plus efficaces et pour accéder à une position stratégique à laquelle ils ne peuvent prétendre habituellement (Dul et al., 2012; Gude, 2004). Pour cela l'ergonomie prospective propose à l'ergonome d'investir l'un des tous premiers stades du développement de l'artefact : le *Fuzzy Front End* (Nelson et al., 2012; Takey & Carvalho, 2016). Le terme *Fuzzy* indique qu'il s'agit d'un stade flou, confus, où l'incertitude est importante ; et les termes *Front End* indiquent qu'il s'agit d'un stade amont de la conception. La traduction française « conception exploratoire » (parfois traduit par « phase amont »), que nous proposons cherche à caractériser cette idée de phase initiale exploratoire et préparatoire du développement de l'artefact, qui précède la conception classique durant laquelle l'artefact est implémenté, pour être ensuite produit et diffusé. La conception exploratoire comprend des activités d'analyse des opportunités, de génération d'idées, de définition de concepts et de sélection du concept (Nelson, 2019; Takey & Carvalho, 2016). La finalité de la conception exploratoire est de définir de façon préliminaire et incomplète les principales caractéristiques de l'artefact, d'en déterminer le concept. Il s'agit de construire une première représentation³ abstraite de l'artefact. Une fois le concept sélectionné, la conception classique démarre et c'est l'ergonomie préventive qui prend la suite (Figure 4).

³ Nous utilisons le terme « représentation » pour convoquer le concept de représentation mentale qui qualifie le contenu et la structure des connaissances sur une activité, un sujet ou un objet interne (Wolff et al., 2005).

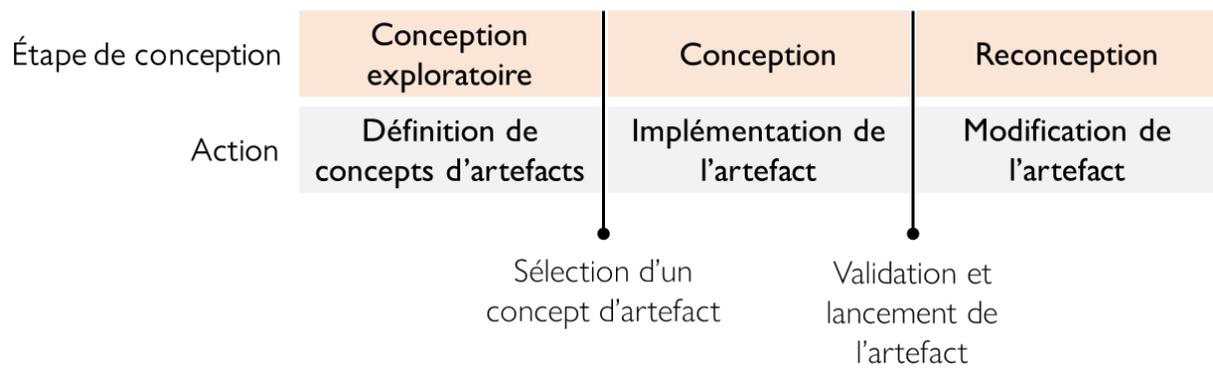


Figure 4 : Étapes de conception par rapport aux actions sur l'artefact (inspiré de Nelson, 2019)

La conception exploratoire est donc un stade abstrait de la conception qui se limite au domaine des idées. Cette phase est fondamentale dans la conception d'artefacts nouveaux et innovants, elle est reconnue pour augmenter la probabilité de succès du développement et le caractère innovant de l'artefact (Kim & Wilemon, 2002; Verworn et al., 2007; Wang et al., 2002).

Dans le cadre de l'ergonomie prospective, cette phase porte sur le futur, on peut donc la qualifier de conception exploratoire future. Ainsi, elle vise à explorer des besoins futurs des utilisateurs afin d'explorer des concepts d'artefacts futurs qui satisferont ces besoins. À cet effet, il convient d'adapter le processus de conception à la temporalité future et à une conception qui relève de l'idée.

3.2. La conception exploratoire future : une adaptation du processus de conception centrée utilisateur à l'ergonomie prospective

Il est courant dans le processus de conception centrée utilisateur de commencer par la phase d'analyse des besoins des utilisateurs (Barré et al., 2018; French, 1985; International Organization for Standardization, 2019; Loup-Escande et al., 2014; Pahl et al., 2007). Cette première phase est généralement suivie des phases d'implémentation – durant lesquelles les besoins des utilisateurs font l'objet de spécifications qui permettront de les intégrer à l'artefact ou à ses représentations intermédiaires (scénario, prototype etc.) – et d'évaluation – qui vise à s'assurer de l'adéquation de l'artefact avec les besoins des utilisateurs identifiés. Ces étapes consécutives peuvent donner lieu à

des itérations (Bastien & Scapin, 2004; International Organization for Standardization, 2019; Loup-Escande et al., 2014; Loup-Escande et al., 2013) (voir Figure 5).

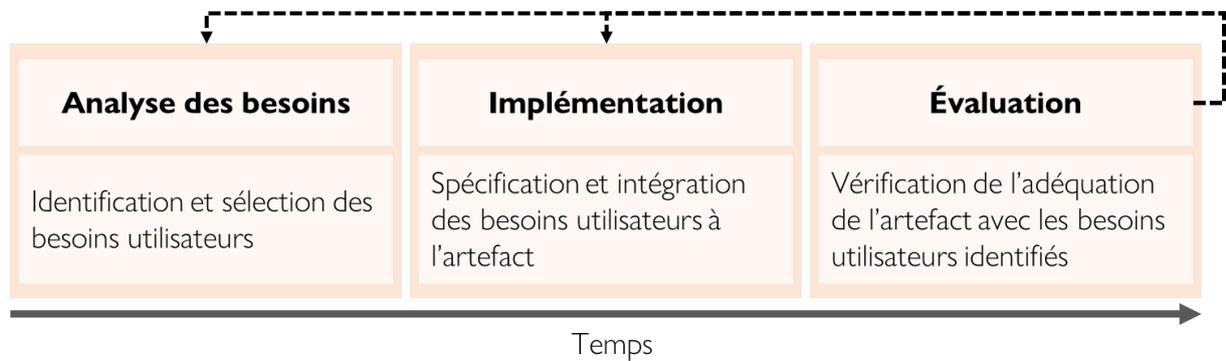


Figure 5 : Étapes de la conception centrée utilisateurs

Intervenir lors de l'étape de conception exploratoire future, pour des artefacts émergents ou qui n'existent pas nécessite que l'ergonome adapte son schéma d'intervention. Pour cela le processus de conception centrée utilisateur est ajusté pour travailler sur des besoins des utilisateurs futurs et sur des idées d'artefacts futurs. L'ergonomie prospective prévoit deux étapes successives qui composent l'intervention : (1) l'anticipation de besoins futurs des utilisateurs, et (2) la définition d'idées d'artefact futurs (Robert et al., 2021; Robert & Brangier, 2019) (Figure 6) :

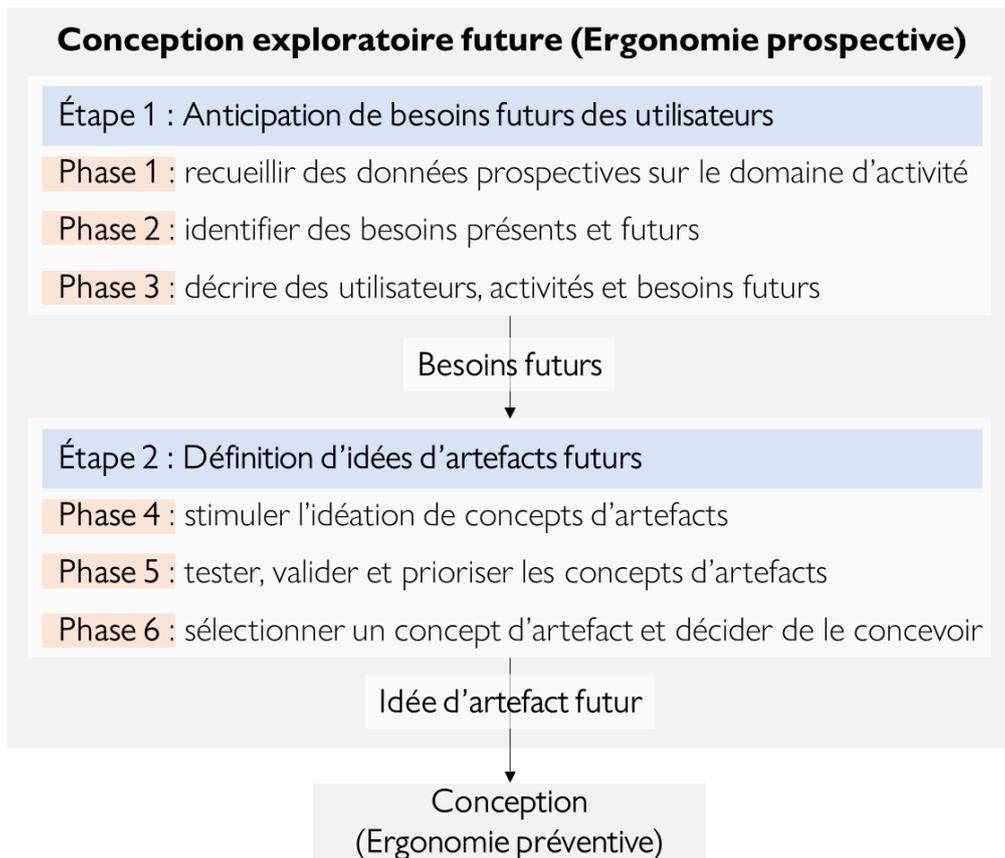


Figure 6 : Démarche d'intervention de l'ergonomie prospective dans le cadre de la conception exploratoire future (inspiré de Robert et al., 2021)

3.2.1 L'anticipation de besoins futurs des utilisateurs

Dans un premier temps, lorsque la demande est formulée, l'ergonome doit s'attacher à définir les besoins présents des utilisateurs et à anticiper des besoins futurs. Il s'agit donc de travailler sur des artefacts de référence pour identifier des besoins présents, en utilisant des méthodes classiques en ergonomie (analyse de la tâche, observation etc.), et de mobiliser des méthodes spécifiques (ex. scénario prospectif) et des individus spécifiques (ex. experts), pour identifier des besoins inconnus et futurs liés à des artefacts connus ou inconnus. Cette étape correspond à la phase d'analyse des besoins, classique en conception (Barré et al., 2018; Loup-Escande et al., 2014), mais qui a ici la particularité de s'intéresser aussi à des besoins inconnus et futurs.

La prise en compte des besoins des utilisateurs en amont de la conception apporte de nombreux avantages au projet. Elle permet de mieux définir les objectifs du projet, de favoriser l'implémentation d'artefacts de meilleure qualité, de réduire les coûts et de réduire la durée du

projet (Barré et al., 2018; Damodaran, 1996; J. Nielsen, 1994; Von Hippel, 2006). La connaissance des besoins utilisateurs et leur utilisation dans les phases amont de la conception sont aussi connues pour favoriser l'innovation (Jaruzelski et al., 2014; Stenmark & Lilja, 2014).

Ce travail d'anticipation doit permettre à l'ergonome de décrire des utilisateurs, des activités et des besoins futurs. Ces données servent à la fois à définir dans une seconde étape des idées d'artefacts futurs, ainsi qu'à définir un contexte futur qui sera utile pour cadrer le processus de conception, de l'évaluation des idées d'artefacts à leur implémentation.

3.2.2 La définition d'idées d'artefacts futurs

C'est sur cette matière première des besoins futurs que l'ergonome s'appuie pour déterminer dans un second temps des idées d'artefacts futurs. Il analyse ce corpus de connaissances pour définir seul des concepts d'artefacts ou pour alimenter des groupes de concepteurs qui définiront des concepts d'artefacts. Dans le cadre de la conception exploratoire future, les concepts d'artefact définis ne sont pas prototypés, ils sont développés de façon abstraite sous forme d'idées, de scénarios.

Dans cette étape l'ergonome s'appuie sur des méthodes créatives (ex. *brainstorm*) pour imaginer des solutions nouvelles et adaptées aux besoins des utilisateurs. Cette étape s'appuie sur des activités de conception créative qui consiste à résoudre des problèmes mal définis, qui n'admettent pas une solution unique, et pour lesquels on attend des réponses nouvelles et adaptées (Bonnardel, 2009). L'ergonome peut tester et valider un concept d'artefact au stade d'idée, en utilisant des méthodes de simulation mentale. Par exemple, Alinc et al. (2019) ont utilisé la méthode de la *guided imaginary projection* (« projection imaginaire guidée ») qui consiste à guider verbalement un utilisateur à s'imaginer dans un scénario d'usages d'un artefact, pour recueillir son expérience imaginée. Lorsque l'artefact est défini et validé pour être implémenté, l'ergonomie préventive prend le relais.

3.2.3 Des méthodes et connaissances à développer

En fonction de l'étape de la démarche dans laquelle il se trouve, l'ergonome peut mobiliser des méthodes et des connaissances issues des quatre fondements de l'ergonomie prospective (l'ergonomie, la prospective, la créativité et la cognition orientée futur). Les méthodes utilisées

peuvent être orientées vers le présent (par exemple pour décrire des besoins présents) ou le futur (par exemple pour décrire des besoins futurs), et elles peuvent être de nature descriptive (par exemple pour décrire des besoins présents) ou générative (par exemple pour créer des idées d'artefacts nouveaux) (Robert & Brangier, 2019). Si ces méthodes ont pour certaines déjà été testées dans un contexte d'ergonomie prospective (ex. (Allinc et al., 2019; Bonnardel & Pichot, 2020; Nguyen & Cahour, 2014), il est nécessaire de les calibrer et de les évaluer pour valider leur efficacité, notamment concernant les méthodes orientées vers le futur et l'inclusion d'utilisateurs (Robert et al., 2021; Robert & Brangier, 2019).

4. Synthèse du chapitre 1

Dès la moitié du XXe siècle, les ergonomes se questionnent sur leur implication dans la conception d'artefacts futurs. En parallèle, la demande faite à l'ergonomie de travailler sur des artefacts futurs est de plus en plus forte. Cependant, le futur, temps incertain et imprévisible ne se prête pas à l'exercice de prédiction. Un nouveau modèle d'intervention basé sur l'anticipation émerge : l'ergonomie prospective. Cette dernière ne se résume pas à une modalité d'intervention tournée vers un futur imprédictible, elle s'inscrit aussi dans un paradigme pour lequel la connaissance des utilisateurs occupe la place centrale du projet de conception, et va encore plus loin en plaçant la connaissance des utilisateurs futurs comme point de départ de la conception. Pour ce faire, l'ergonomie doit intervenir le plus tôt possible et intégrer la phase de conception exploratoire qui vise à définir des idées d'artefacts. Occuper cette place amont est aussi l'occasion pour l'ergonomie de répondre à des enjeux stratégiques pour la discipline, l'ergonome renforce l'efficacité de son intervention, sa capacité d'action et intègre une place où il peut initier les projets. Dans le cas du développement d'artefacts émergents ou qui n'existent pas, pour intervenir dès cette phase de conception exploratoire future, l'ergonomie prospective propose de procéder en deux étapes pour lesquelles il est nécessaire de développer de nouvelles méthodes et connaissances : (1) anticiper des besoins futurs des utilisateurs et (2) définir des idées d'artefacts futurs.

Le chapitre 2 propose un examen de la notion de besoin de l'utilisateur et de sa place dans une approche de conception centrée sur l'utilisateur.

Chapitre 2

Les besoins des utilisateurs dans une approche de conception centrée sur l'utilisateur

Résumé du chapitre

Le chapitre 1 a présenté le paradigme dans lequel s'inscrit l'ergonomie prospective. Cette modalité d'intervention s'inscrit dans une optique de conception centrée sur l'utilisateur dans laquelle l'identification des besoins des utilisateurs et leur implémentation dans la conception sont importantes pour assurer le développement d'artefacts adaptés. Ce deuxième chapitre détaille d'abord la notion de besoins des utilisateurs. Puis, il décrit l'intérêt de l'identification et de l'implémentation des besoins utilisateurs dans la conception. Enfin, ce chapitre présente différentes approches d'implémentation des besoins dans la conception et détaille comment l'expérience utilisateur peut être utilisée pour analyser les besoins des utilisateurs.

1. Les besoins des utilisateurs

1.1. Le besoin : un manque qui motive l'action

La théorie la plus répandue concernant les besoins humains est celle de la pyramide des besoins de Maslow (1954, 1962, 1981). Celui-ci propose que les besoins forment des catégories qui sont organisées hiérarchiquement. Les humains seraient motivés à satisfaire ces besoins, et lorsqu'un besoin est accompli ou satisfait, l'individu chercherait à satisfaire le besoin qui est plus haut dans la hiérarchie. Dans sa dernière version, la proposition de Maslow compte huit besoins, dans l'ordre les besoins biologiques et physiologiques, le besoin de sécurité, le besoin d'appartenance, le besoin d'estime, le besoin cognitif, le besoin d'esthétique, le besoin de réalisation de soi et le besoin de

transcendance. Malgré sa popularité, cette théorie n'a pas fait l'objet d'une validation scientifique rigoureuse (Sheldon et al., 2001).

Si nous nous attachons à la définition du Centre national de ressources textuelles et lexicales, le besoin est une « situation de manque ou prise de conscience d'un manque ». On retrouve cette notion chez Brangier (2006), qui indique que le besoin est une configuration de caractéristiques psychologiques qui expriment un manque. Le besoin en tant que manque motive les agissements des individus, c'est un moteur psychologique qui incite les individus à agir pour atteindre certains objectifs ou certains états (Deci & Ryan, 2000; Greenaway et al., 2016). La satisfaction ou l'insatisfaction d'un besoin à des conséquences émotionnelles et comportementales pour l'utilisateur (Hassenzahl, 2018), et peut même avoir des conséquences sur la santé mentale (ex. dépression)(Deci & Ryan, 2000; Greenaway et al., 2016).

1.2. Les besoins des utilisateurs : des besoins liés à l'activité et au bien-être

En ergonomie, nous distinguons deux types de besoins différents : les besoins pragmatiques et les besoins hédoniques (Brangier & Marache-Francisco, 2020; Hassenzahl, 2018; Loup-Escande et al., 2013, 2014; Mahlke, 2008).

1.2.1 Les besoins pragmatiques

Les besoins pragmatiques (ou fonctionnels, ou instrumentaux) sont relatifs aux objectifs de l'activité de l'utilisateur et à la qualité de l'interaction proposée par l'artefact (Hassenzahl, 2018). L'artefact doit permettre à l'utilisateur de réaliser les tâches et actions (ex. choisir une source audio) afin d'atteindre les objectifs de son activité (ex. écouter de la musique) (Loup-Escande et al., 2013). L'artefact doit aussi permettre à l'utilisateur de réaliser ses actions et tâches avec efficacité, en lui proposant une interaction adaptée à ses capacités et à son activité. On peut rattacher ces besoins aux notions d'utilité – pour que l'utilisateur atteigne ses objectifs –, d'accessibilité – pour que l'utilisateur ait la capacité d'utiliser l'artefact – et d'utilisabilité – pour que l'utilisateur atteigne ses objectifs avec efficacité, efficience et satisfaction (Brangier & Bastien, 2010; Brangier & Marache-Francisco, 2020). Pour s'assurer que l'artefact réponde aux besoins pragmatiques, il convient de s'attacher aux caractéristiques physiologiques et cognitives de l'utilisateur, et à son fonctionnement

opératoire (Brangier & Bastien, 2010). Au sens des besoins fonctionnels, l'artefact est un moyen de soutenir l'activité de façon plus ou moins efficace. Pour cela, l'artefact doit proposer des fonctions adaptées à la réalisation de l'activité et doit proposer des modalités d'interaction satisfaisantes.

1.2.2 Les besoins hédoniques

Les besoins hédoniques (ou non fonctionnels, ou non instrumentaux) concernent le plaisir et le bien-être psychologique de l'utilisateur. Il s'agit de la capacité de l'artefact à répondre à des besoins psychologiques fondamentaux (Hassenzahl, 2018). Ces besoins fondamentaux sont des qualités d'expérience que les individus cherchent à atteindre pour s'épanouir et qui motivent l'action (Sheldon et al., 2001; Sheldon & Gunz, 2009). Ils visent le développement psychologique et social de l'individu, sont universels et influencent les objectifs et comportements des individus (Deci & Ryan, 2000). À travers 3 études dans lesquelles les participants devaient décrire des expériences de vie satisfaisantes et insatisfaisantes et devaient évaluer l'importance de différents besoins psychologiques dans ces expériences, Sheldon et al. (2001) ont identifié neuf besoins psychologiques : besoin d'autonomie, besoin de compétence, besoin de relation à l'autre, besoin d'estime de soi, besoin de sécurité, besoin de plaisir ou de stimulation, besoin d'accomplissement de soi ou de sens, besoin de popularité ou d'influence et besoin d'épanouissement physique. Si ces besoins psychologiques motivent et influencent les actions des individus, ils ne le font pas de manière explicite, un individu ne va pas aller discuter avec son collègue de travail avec l'intention de satisfaire le besoin d'être en relation avec l'autre (Deci & Ryan, 2000; Sheldon & Gunz, 2009).

De ce fait, les besoins des utilisateurs s'articulent autour de deux notions complémentaires : les besoins pragmatiques et les besoins hédoniques. Lorsqu'un individu utilise un artefact, il cherche à réaliser une activité pour atteindre des objectifs définis. Si l'artefact doit lui permettre de réaliser ces objectifs, il doit aussi offrir une qualité d'interaction suffisante pour que ces objectifs soient atteints et atteints efficacement. Par ailleurs, l'utilisation d'un artefact est aussi l'occasion pour l'utilisateur de satisfaire des besoins qui ne n'ont pas des motivations liées à l'activité, mais qui concernent son bien être psychologique. Les besoins pragmatiques et hédoniques forment tous deux des motivations qui poussent l'individu à l'action, dans un cas pour atteindre un objectif lié à son activité et dans l'autre pour atteindre un objectif lié à un état psychologique. Les besoins

pragmatiques comprennent par ailleurs des exigences liées à l'interaction entre l'individu et l'artefact, qui doivent être satisfaites à minima pour rendre l'interaction possible.

Alors que l'ergonomie s'est historiquement focalisée sur la prise en compte des besoins pragmatiques dans la conception, à travers de nombreux travaux sur l'utilité, l'accessibilité et l'utilisabilité, elle s'intéresse de plus en plus aux aspects hédoniques et expérientiels au travers de la prise en compte des émotions et du vécu (Brangier & Bastien, 2010; Cahour et al., 2016), notamment à travers la notion d'expérience utilisateur.

1.3. Une vision globale des besoins des utilisateurs avec l'expérience utilisateur

Le concept d'expérience utilisateur (Brangier & Marache-Francisco, 2020; Cahour et al., 2016; Hassenzahl, 2018; International Organization for Standardization, 2019) peut être défini comme l'ensemble des éléments de l'expérience subjective vécue par l'utilisateur dans une situation d'interaction avec un artefact. Elle peut inclure les émotions (ex. joie), les pensées (ex. « ce logiciel est utile ») et les actions de l'utilisateur. Cette notion permet d'appréhender la dynamique à l'œuvre concernant la satisfaction des besoins des utilisateurs en relation avec l'utilisation d'artefacts et propose une approche plus globale de l'interaction humain-machine en s'intéressant notamment aux émotions. L'expérience utilisateur comprend différents éléments :

- (1) Les caractéristiques de l'artefact
- (2) Les caractéristiques de l'utilisateur
- (3) La situation d'utilisation
- (4) La perception de l'artefact par l'utilisateur
- (5) Les conséquences de la perception de l'artefact par l'utilisateur

L'utilisateur construit une représentation personnelle de l'artefact en fonction de ses propres caractéristiques (besoins, connaissances etc.), des caractéristiques de l'artefact (contenu, fonctionnalité etc.) et de la situation dans laquelle il l'utilise ou interagit avec. Cette perception porte sur les qualités pragmatiques et hédoniques de l'artefact pour l'utilisateur. Elle est à l'origine de conséquences émotionnelles, comportementales et mentales. Ces conséquences traduisent la

capacité de l'artefact à satisfaire les besoins de l'utilisateur en lien avec l'artefact, elles ont des effets sur l'utilisation de l'artefact (ex. renforcement de l'utilisation) (voir Figure 7).

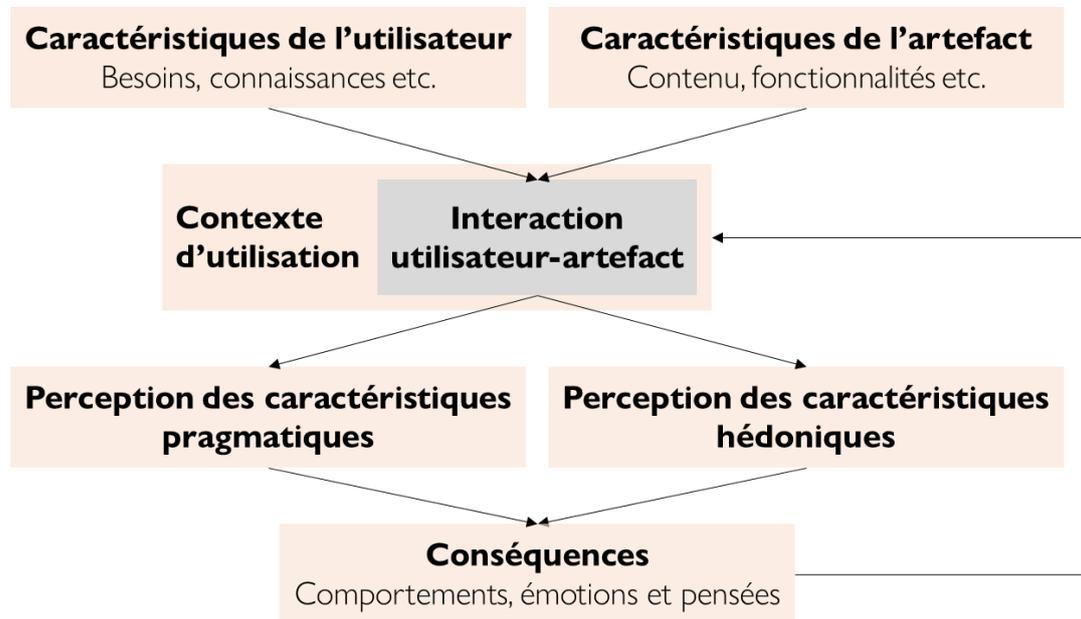


Figure 7 : Schéma de l'expérience utilisateur (inspiré de Brangier & Marache-Francisco, 2020; Hassenzahl, 2018)

Il semble donc que les besoins s'expriment différemment en fonction de l'artefact, de la situation d'utilisation et de l'utilisateur.

1.4. Différents niveaux de descriptions des besoins

Si de grandes catégories de besoins pragmatiques (ex. besoin d'utilité) et hédoniques (ex. besoin de compétence) ont été identifiées, elles correspondent à des descriptions abstraites et de haut niveau des besoins. Ces descriptions macroscopiques de besoins stables sont peu exploitables lors de la conception d'artefacts car elles ne donnent pas nécessairement d'indications sur la façon dont les besoins peuvent être implémentés dans l'artefact. Il est important de pouvoir faire une description plus microscopique des besoins afin d'en détailler les spécificités (Brangier, 2006). On parle aussi de niveau de granularité du besoin pour exprimer cette idée de besoins « généraux » (ex. écouter de la musique) qui peuvent être traduits en besoins « détaillés » (ex. pouvoir changer le volume sonore) (Loup-Escande et al., 2014). Les besoins généraux et détaillés sont en fait l'opérationnalisation des besoins pragmatiques et hédoniques fondamentaux, auprès d'un

utilisateur, dans une situation d'utilisation donnée et avec un artefact en particulier. C'est la façon dont ils prennent forme dans la réalité (voir Figure 8). Par exemple, écouter de la musique sur une enceinte nomade est l'opérationnalisation de besoins fondamentaux hédoniques (ex. besoins de popularité : l'enceinte portable communique une identité dont l'utilisateur pense qu'elle est à l'origine d'une opinion favorable chez d'autres individus) et pragmatiques (ex. utilité : écouter de la musique).

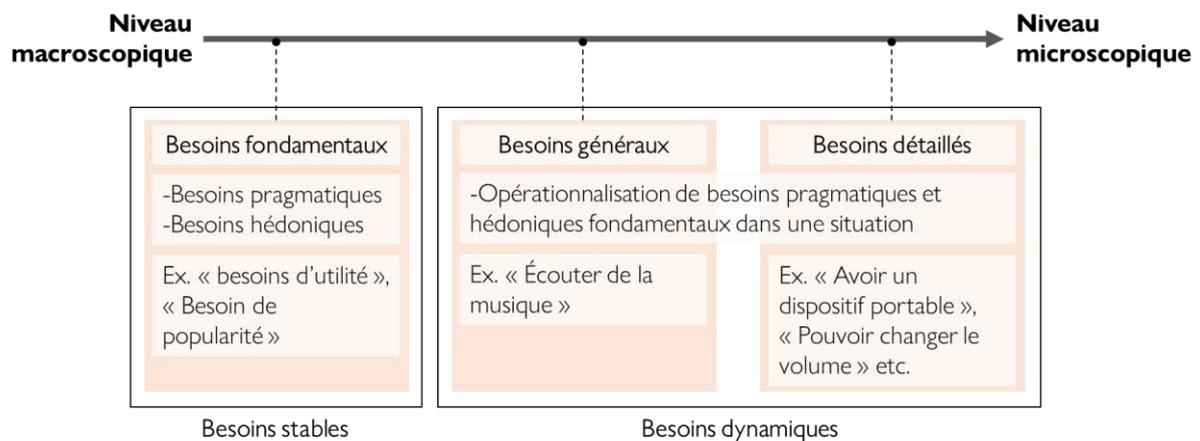


Figure 8 : Niveaux de granularité des besoins

L'ergonomie prospective intervient plutôt à un niveau macroscopique (Brangier et al., 2017), en ce sens où elle s'intéresse prioritairement mais pas exclusivement, à des besoins de niveau macroscopique non-fondamentaux, donc à des besoins généraux qui motivent la création d'un artefact et qui définissent son utilité, plutôt qu'à des besoins microscopiques qui portent sur les aspects détaillés de son utilisation. Néanmoins, ces besoins généraux et détaillés ne sont pas forcément accessibles directement.

1.5. Des besoins conscients et inconscients

Les utilisateurs ne sont pas nécessairement conscients de leurs besoins (Goodman et al., 2012; Norman, 2013). Il convient donc de faire la différence entre les besoins conscients et les besoins non conscients (Barré, 2015; Loup-Escande et al., 2013; Robertson, 2001). Les premiers (besoins conscients) sont des besoins qui sont connus et identifiés par les utilisateurs et qui sont donc verbalisables par les utilisateurs. Cependant, si l'utilisateur a conscience de ses besoins, il peut être soumis à des biais de verbalisation, qui limitent sa capacité à verbaliser ses besoins. Cela est dû à la

difficulté d'exprimer certains ressentis ou émotions (Vivier, 2008), au manque d'expérience à exprimer son point de vue dans un projet (Petiot & Yannou, 2004) ou au manque de connaissance concernant le domaine ou l'artefact (Leonard & Rayport, 1997; Ulwick, 2002). À contrario, les besoins non conscients sont des besoins que les utilisateurs ne connaissent pas et qu'ils ne peuvent donc pas exprimer. En cause, l'absence de réflexion de l'utilisateur sur son activité, son incapacité à appréhender des activités procédurales dont les séquences opératoires sont fortement automatisées, son incapacité à appréhender certains processus cognitifs et sensori-moteurs, ou enfin sa méconnaissance de l'artefact et des possibilités qu'il offre (Loup-Escande et al., 2013).

Qu'ils soient conscients ou inconscients, il est important de chercher à intégrer ces besoins utilisateurs, dans la conception.

2. L'identification et l'implémentation des besoins des utilisateurs dans la conception

L'intégration des besoins des utilisateurs dans la conception, est un gage du succès de l'artefact (Brangier, 2006; Stenmark & Lilja, 2014). Elle doit permettre de concevoir un artefact qui satisfait les besoins des utilisateurs, critère essentiel à sa réussite (Bourgeois-Bougrine et al., 2018) puisqu'il permet à l'artefact d'être mieux accepté, plus utilisable et à l'origine de satisfaction (Loup-Escande et al., 2014). D'un point de vue pratique, les besoins des utilisateurs servent à définir des idées de solutions, à définir l'utilité prévue de l'artefact – ce à quoi il va servir – et les bénéfices qu'il va apporter à ses utilisateurs ; en d'autres termes, sa raison d'être (Brangier, 2006; Loup-Escande et al., 2013; Scapin & Bastien, 2001). Ils servent aussi à définir les caractéristiques de l'artefact qui vont faire qu'il va être adapté aux capacités des utilisateurs et à la situation d'utilisation, et donc utilisable (Scapin & Bastien, 2001), et qu'il soit à l'origine de satisfaction, de bien-être ou de plaisir (Brangier, 2006). Il est donc nécessaire de s'assurer que les besoins des utilisateurs sont clairement identifiés et qu'ils correspondent à la réalité.

2.1. Utilisateur et concepteur : des représentations différentes des besoins et de l'artefact

Les concepteurs se réfèrent à une représentation hypothétique – qui ne correspond pas nécessairement à la réalité – des besoins de l'utilisateur, de l'utilisation qu'il va faire de l'artefact et de l'expérience qu'il en aura. Les besoins étant dépendants de la représentation que se fait l'utilisateur de l'artefact. On distingue donc la représentation du concepteur et la représentation de l'utilisateur (Hassenzahl, 2018; Norman, 1988) :

- **La représentation du concepteur** : pour Norman (1988) le concepteur se fabrique un modèle mental qu'il désigne *designer's mental model* (« modèle mental du concepteur ») qui permet au concepteur de réfléchir à l'artefact et à l'interaction que va avoir l'utilisateur avec celui-ci. Ce modèle est basé sur les connaissances du concepteur vis-à-vis de l'artefact et des utilisateurs. C'est sur ce modèle que le concepteur imagine et implémente l'artefact. Pour évoquer cette idée, Hassenzahl (2018) parle de *designer perspective* (« perspective du concepteur »). Sur la base de ses connaissances le concepteur va définir et imaginer des caractéristiques de l'artefact (contenu, présentation, fonctionnalité et interaction) et va se représenter les qualités pragmatiques et hédoniques de l'artefact. Ces qualités prévues de l'artefact correspondent à l'image que se fait le concepteur de la capacité de l'artefact qu'il a conçu à satisfaire des besoins hédoniques et pragmatiques des utilisateurs ;
- **La représentation de l'utilisateur** : l'utilisateur construit lui aussi un modèle mental que Norman (1988) désigne *user's mental model* (« modèle mental de l'utilisateur »). Il correspond à ce que l'utilisateur connaît et perçoit de l'artefact et de son utilisation. Ce modèle est utilisé par l'utilisateur pour prédire ou imaginer son interaction avec l'artefact, et lui permet de prévoir les actions qu'il peut effectuer. Hassenzahl (2018) parle cette fois-ci de *user perspective* (« perspective de l'utilisateur »). Cette perspective est fondée sur les connaissances de l'utilisateur concernant ses propres caractéristiques (besoins, connaissances etc.), les caractéristiques de l'artefact (contenu, fonctionnalité etc.) et de la situation de son utilisation. Sur cette base, l'utilisateur va se représenter les qualités pragmatiques et hédoniques de l'artefact. Ces qualités apparentes de l'artefact correspondent à l'image que se fait l'utilisateur de la capacité de l'artefact à satisfaire ses besoins hédoniques et pragmatiques.

Une différence importante entre la représentation du concepteur et la représentation de l'utilisateur, est à l'origine d'une inadaptation de l'artefact aux utilisateurs. En effet, le concepteur va définir pour l'artefact, des caractéristiques qui doivent répondre à des besoins qu'il imagine être ceux de l'utilisateur, mais qui ne le sont pas forcément (voir Figure 9). Les caractéristiques de l'artefact ne seront donc pas nécessairement adaptées aux capacités de l'utilisateur et à son activité, ou ne permettront pas à l'utilisateur d'atteindre ses buts. Cette inadaptation de l'artefact aux besoins des utilisateurs peut entraîner des difficultés à utiliser l'artefact ou encore un rejet de l'artefact (Loup-Escande et al., 2013).

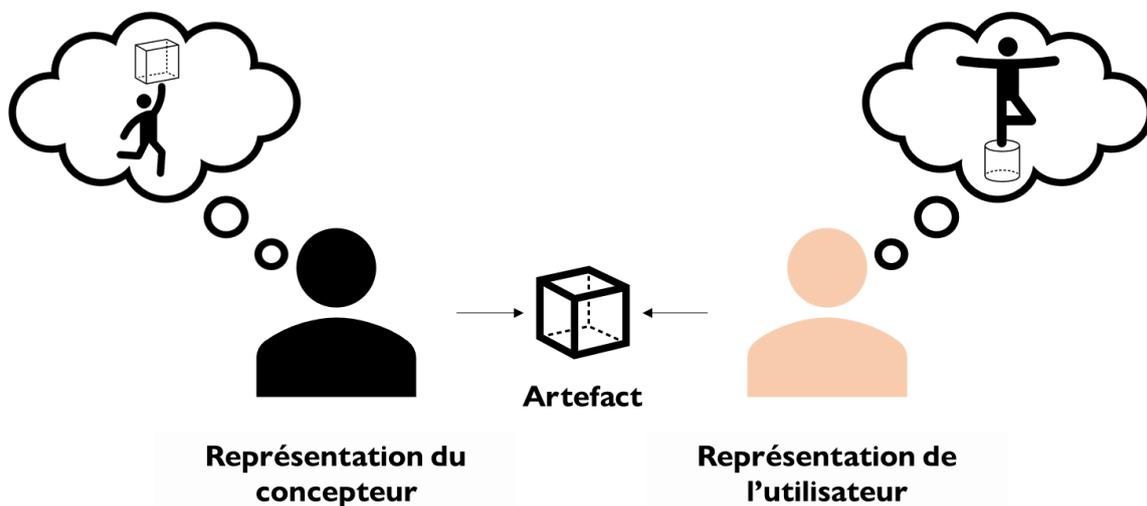


Figure 9 : Représentations du concepteur et de l'utilisateur (inspiré de Norman, 1988)

Par conséquent, la seule représentation des concepteurs n'est pas suffisante pour intégrer les besoins des utilisateurs dans la conception d'un artefact. Il est important d'apporter des connaissances sur l'utilisateur et ses besoins, afin d'enrichir ou de dépasser la représentation du concepteur.

2.2. Différentes approches d'intégration des besoins dans la conception centrée sur l'utilisateur

Dans une optique de conception centrée sur l'utilisateur, pour s'assurer que les besoins sont correctement identifiés pour être intégrés à la conception, il est nécessaire d'impliquer l'utilisateur de façon participative ou consultative (par opposition à une approche informative qui se base sur une connaissance théorique des utilisateurs). L'objectif est ici d'accéder aux besoins des utilisateurs à un niveau non fondamental (besoins généraux et détaillés). Pour cela plusieurs approches coexistent, elles proposent d'analyser les besoins des utilisateurs, d'intégrer les utilisateurs dans l'équipe de conception ou de concevoir des artefacts adaptables.

L'analyse des besoins des utilisateurs : l'idée de cette première approche est que les besoins des utilisateurs sont accessibles. Le rôle de l'ergonome est d'identifier ces besoins afin de les rendre disponibles aux concepteurs. Il s'agit donc d'apporter aux concepteurs des connaissances sur les utilisateurs pour qu'ils soient à même de construire une représentation des besoins de l'utilisateur plus fidèle à la réalité. Pour cela, on peut avoir recours à des méthodes qui impliquent l'utilisateur pour qu'il exprime directement ces besoins. Ces méthodes d'identification des besoins se basent sur l'élicitation directe des besoins conscients par les utilisateurs (ex. entretiens, focus group, questionnaires). On peut aussi avoir recours à des méthodes d'analyse « expertes » qui visent à identifier des besoins non conscients ou conscients en se basant sur l'analyse de la tâche et des usages (ex. observation, analyse de l'activité, analyse de corpus textuels). Dans le premier cas on traduit les verbalisations des utilisateurs en besoins. En effet, l'expression des besoins peut prendre plusieurs formes, elle peut être explicite, l'utilisateur exprime un besoin général ou détaillé ; ou elle peut être implicite, l'utilisateur peut exprimer un manque, une insatisfaction liée à un besoin ou encore un artefact qui lui permet de répondre à son besoin (expression technologique du besoin). Dans le second cas il s'agit d'analyser des corpus de différentes natures afin d'inférer des besoins utilisateurs (Bastien et al., 2009). Dans le cas des besoins conscients, il est bien sûr possible de croiser les deux types de méthodes afin d'identifier de façon robuste les besoins.

La co-construction des besoins des utilisateurs : cette deuxième approche propose d'intégrer les besoins dans la conception en intégrant des utilisateurs comme acteurs de la conception. Le besoin

est alors construit dans un processus d'apprentissage mutuel entre les concepteurs et les utilisateurs, et dans un développement conjoint de l'activité et de l'artefact (Béguin, 2003). Il s'agit ici d'impliquer les utilisateurs pour ramener le développement des besoins pendant la conception.

La conception d'artefacts adaptables : cette troisième approche se base sur la notion de genèse instrumentale proposée par Rabardel (1995). Cette notion repose sur le processus d'instrumentation pour lequel l'artefact à travers ses caractéristiques a une influence sur l'utilisateur et ses besoins ; et sur le processus inverse d'instrumentalisation pour lequel l'utilisateur adapte l'artefact à ses besoins. Ce processus peut engendrer l'invention de fonctions non prévues par les concepteurs : c'est la catachrèse instrumentale. L'idée ici est de concevoir des artefacts pour lesquels cette catachrèse instrumentale est facilitée en rendant les artefacts adaptables par les utilisateurs. C'est une vision constructive qui vise à mettre les utilisateurs dans une position de concepteurs dans l'usage.

Pour pallier les limites des représentations des concepteurs, ces approches cherchent à impliquer les utilisateurs dans la phase d'identification et d'implémentation des besoins. Avec la phase d'évaluation, c'est à ce moment-là que la contribution des utilisateurs dans la conception est la plus importante (Loup-Escande et al., 2014; Muller et al., 1997). Ces différentes approches proposent soit de récupérer des informations sur les besoins des utilisateurs auprès de ces derniers, pour enrichir les représentations des concepteurs (analyse des besoins), soit d'impliquer directement les utilisateurs dans la conception de l'artefact, pour qu'ils négocient leurs besoins au moment de la conception (co-construction des besoins) ou dans l'usage (conception d'artefacts adaptables). Ces approches ne sont pas exclusives et on peut facilement imaginer la complémentarité entre les deux premières et la conception d'artefacts adaptables.

Dans le cas de l'analyse des besoins, qui est l'approche empruntée dans cette thèse, alors que les méthodes classiques (ex. analyse de la tâche) proposent principalement de se focaliser sur les aspects pragmatiques, l'expérience utilisateur est un moyen d'accéder aux besoins qui a l'avantage de porter sur un spectre d'identification large, qui englobe les besoins pragmatiques et hédoniques.

2.3. L'expérience utilisateur comme indicateur des besoins

2.3.1 La mesure et l'identification des besoins à travers l'analyse de l'expérience utilisateur

L'expérience utilisateur permet de caractériser l'interaction entre un utilisateur et un artefact. La satisfaction des besoins pragmatiques et hédoniques en jeu dans cette interaction résulte en des conséquences émotionnelles et comportementales. L'analyse des besoins à travers l'expérience utilisateur (Hassenzahl et al., 2015) repose soit sur l'examen de la perception des qualités pragmatiques et hédoniques de l'artefact par l'utilisateur pour déduire la capacité de l'artefact à satisfaire les besoins, soit sur l'analyse de l'expérience vécue et des conséquences (ex. émotionnelles) de la perception de l'artefact par l'utilisateur, pour identifier la capacité de l'artefact à satisfaire les besoins. Cette approche est jugée facile, car la description de l'expérience vécue est plus accessible à l'utilisateur, elle ne repose pas sur des compétences particulières et ne nécessite pas de réflexion poussée, contrairement à une évaluation orientée sur l'artefact ou sur les besoins (Hassenzahl et al., 2010, 2015). L'analyse des verbalisations de l'expérience utilisateur constitue donc une manière pour l'ergonome d'accéder aux besoins utilisateur, notamment lorsque l'activité n'est pas observable, comme cela peut-être le cas en ergonomie prospective.

2.3.2 Les expériences positives et négatives : révélatrices de la satisfaction des besoins

Pour identifier des besoins, il peut être demandé à l'utilisateur de raconter des expériences qui sont négatives – caractérisées par un affect négatif – ou positives – caractérisées par un affect positif –, ou encore, il peut être demandé à l'utilisateur de raconter des expériences qui lui paraissent pertinentes, signifiantes, et ensuite rechercher dans ces récits les éléments qui relèvent d'expériences négatives et positives (Brangier, Brangier et al., 2019; Hassenzahl et al., 2010, 2015; Sheldon et al., 2001; Sheldon & Gunz, 2009; Tuch & Hornbæk, 2015). En effet, l'expression d'expériences positives et négatives est reconnue pour permettre d'identifier les conditions qui mènent à la satisfaction ou à l'insatisfaction de besoins utilisateurs, et de caractériser les besoins en jeu (Deci & Ryan, 2000; Hassenzahl et al., 2010, 2015; Sheldon & Gunz, 2009).

Les expériences positives : pas uniquement un indicateur de la satisfaction de besoins hédoniques

Les expériences positives sont identifiées comme étant liées à la satisfaction des besoins utilisateurs. Dans une étude réalisée auprès de 548 individus, Hassenzhal et al. (2010) ont mesuré la satisfaction des besoins hédoniques et l'affect relatif à des expériences positives. Leurs résultats indiquent une forte corrélation entre la satisfaction des besoins hédoniques et l'intensité de l'affect positif, à l'exception du besoin de sécurité. Ces résultats ont été répliqués par Hassenzhal et al. (2015) dans une étude similaire où ils mesuraient la satisfaction des besoins et l'affect relatifs à des expériences positives concernant trois activités qui nécessitent l'utilisation de technologies. Les auteurs observent que les patterns de besoins en jeu diffèrent en fonction des activités et des artefacts (Hassenzahl et al., 2015). Mais cette fois-ci les auteurs se sont intéressés en plus aux besoins pragmatiques. Leurs résultats n'ont pas montré de lien significatif entre la satisfaction des besoins pragmatiques et l'intensité de l'affect positif. Ils concluent donc en faveur d'un lien entre expérience positive et besoins hédoniques uniquement. Pour autant, certains auteurs (Tuch & Hornbæk, 2015) indiquent qu'il existe un lien direct entre expérience positive et besoins pragmatiques. Les auteurs ont identifié dans 303 récits d'expériences utilisateurs bonnes et mauvaises et observent notamment que l'utilité et la commodité sont à l'origine d'une expérience positive. L'hypothèse qui est faite propose que les besoins pragmatiques dans leur majorité soient une précondition d'une expérience positive, ils n'en seraient pas directement à l'origine, mais seraient nécessaire à sa réalisation. Cependant, la satisfaction de certains besoins pragmatiques (ex. utilité) peut entraîner une expérience positive.

Les expériences négatives : pas exclusivement un indicateur de l'insatisfaction de besoins pragmatiques

Bien que les expériences positives aient été d'abord majoritairement étudiées, l'étude des expériences négatives se révèle elle aussi utile. Partala et Kallinen (2012) ont demandé à des participants de décrire leurs expériences récentes les plus satisfaisantes et les plus insatisfaisantes. Les auteurs ont mesuré l'affect et la satisfaction des besoins psychologiques, puis ont catégorisé le discours des participants en fonction du fait qu'il portait sur des éléments pragmatiques ou hédoniques de l'expérience. Leurs résultats indiquent que les expériences les plus insatisfaisantes

portent sur des éléments relatifs aux aspects pragmatiques de l'interaction. Sur le même modèle Tuch et al. (2013) ont analysé 691 descriptions d'expériences positives et négatives. Ils indiquent que les expériences négatives étaient le plus souvent relatives à des échecs d'utilisation de la technologie entraînant l'impossibilité de son utilisation. Concernant les expériences positives, leurs résultats sont en accord avec Hassenzahl et al. (2010, 2015), car ils observent que ces expériences concernent principalement les besoins hédoniques. Cependant, leurs résultats indiquent que les expériences positives concernent aussi des éléments relatifs aux aspects pragmatiques, lorsque la technologie permet aux utilisateurs de réaliser certains objectifs, et lorsqu'elle leur permet de le faire avec efficacité. Les expériences négatives paraissent donc associées à l'insatisfaction de besoins pragmatiques. Néanmoins, elles pourraient aussi être relatives à des besoins non pragmatiques. Sheldon et al. (2001) avaient trouvé dans leurs travaux que le besoin de sécurité était particulièrement présent dans les énoncés des expériences insatisfaisantes.

Il semble donc que la relation entre la valence de l'expérience et la satisfaction de besoins hédoniques et pragmatiques n'est pas simplement binaire.

Les expériences positives relatives à des besoins de développement et les expériences négatives relatives à des besoins de déficience

Les discours sur les expériences positives seraient donc liés majoritairement – mais pas uniquement – à la satisfaction de besoins hédoniques, et de façon moins saillante à la satisfaction de certains besoins pragmatiques (ex. utilité et efficacité). Alors que les discours sur les expériences négatives seraient liés à la non-satisfaction de besoins pragmatiques et du besoin de sécurité dans le cas des besoins hédoniques. Pour expliquer cette différence, Hassenzahl et al. (2010), Tuch et Hornbæk (2015), Sheldon et al. (2001) et Sheldon et Gunz (2009) reprennent une distinction faite par Maslow (1962, 1981) et Herzberg et al. (1959) entre des besoins de déficience (*deficiency needs* ou *hygiene factors*) et des besoins de développement (*growth needs* ou *motivators*) :

- **Les besoins de déficience** : ils permettent l'action, leur absence est à l'origine de conséquences négatives, mais leur satisfaction ne produit pas nécessairement de conséquences positives ;
- **Les besoins de développement** : ils orientent l'action, leur absence n'est pas à l'origine de conséquences négatives, mais leur satisfaction engendre des conséquences positives.

À noter que Tuch et Hornbæk (2015) identifient en plus des *bivalent factors* (ex. apparence). Ces besoins bivalents, engendrent de la satisfaction lorsqu'ils sont assouvis et de l'insatisfaction lorsqu'ils ne le sont pas.

Par ailleurs, Sheldon et Gunz (2009), ont réalisé trois expérimentations pour identifier la dynamique de satisfaction des besoins. Ils observent que les besoins de déficience disparaissent lorsqu'ils sont satisfaits, alors que les besoins de développement sont renforcés lorsqu'ils sont satisfaits.

Selon cette distinction, les besoins de déficience permettent l'émergence d'une expérience positive, cependant leur satisfaction ne contribue pas directement à une expérience positive, dans le sens où seuls, ils ne peuvent pas permettre l'émergence d'une expérience positive. C'est la combinaison de la satisfaction de besoins de déficience et de besoins de développement qui permet l'expérience positive. Par exemple, le fait d'être en capacité d'utiliser un logiciel de messagerie (besoin déficitaire) ne sera pas à l'origine d'une expérience positive, mais rendra possible la relation à l'autre (besoin de développement), qui pourra être à l'origine d'une expérience positive.

La relation entre la satisfaction de besoins pragmatiques et de besoins hédoniques et la qualité de l'expérience utilisateur est donc médiée par les besoins de déficience et les besoins de développement (voir Tableau 3).

Tableau 3 : Relations entre besoins pragmatiques et hédoniques, et expérience utilisateur

		Besoins pragmatiques	Besoins hédoniques	
Expérience utilisateur	Négative	<ul style="list-style-type: none"> - Accessibilité - Utilisabilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Sécurité 	Besoins de déficience : permettent l'action
	Besoins bivalents			
	Positive	<ul style="list-style-type: none"> - Utilité - Utilisabilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Autonomie - Compétence - Relation à l'autre - Estime de soi - Plaisir / stimulation - Accomplissement de soi / de sens - Popularité / influence - Épanouissement physique 	Besoins de développement : orientent l'action

L'expérience utilisateur est par conséquent une ressource pour l'identification de besoins et des conditions qui sont à l'origine de leurs satisfactions.

2.3.3 Méthodes d'analyse de l'expérience utilisateur

La littérature fait état d'études quantitatives qui mesurent la satisfaction de besoins fondamentaux liés à des verbalisations concernant des expériences positives ou négatives (Hassenzahl et al., 2010, 2015) et d'études qui réalisent l'analyse thématique de verbalisations concernant des expériences positives ou négatives (Tuch et al., 2013)

Il est possible de mesurer la satisfaction de besoins fondamentaux à travers des outils quantitatifs tels que des questionnaires standardisés (ex. Lallemand et al., 2015; Schrepp et al., 2014; Sheldon et al., 2001), mais les informations recueillies sont d'une utilité limitée pour les concepteurs car elles ne sont pas détaillées et ne leur donnent pas d'indications leur permettant d'améliorer l'artefact. Il est alors nécessaire de mettre en place des méthodes d'analyse qualitatives ou mixtes pour obtenir des informations qui permettent d'alimenter la conception (Cahour et al., 2016;

Partala & Kallinen, 2012). Ces méthodes reposent sur l'analyse de récits utilisateurs qui peuvent être recueillis via des questionnaires ouverts ou des entretiens (Hassenzahl et al., 2010; Tuch et al., 2013). Ces récits qui portent sur des expériences personnelles vécues par l'utilisateur reflètent la satisfaction des besoins de l'utilisateur (Tuch et al., 2013). Pour obtenir ces récits, il est demandé à l'utilisateur de décrire une expérience distincte qu'il a eue lors d'une activité ou lors de l'utilisation d'un artefact. L'utilisateur est invité à décrire ce qu'il a fait, ce qu'il a pensé, ce qu'il a perçu et ce qu'il a ressenti (Cahour et al., 2016; Tuch et al., 2013). Il peut être demandé à l'utilisateur de décrire spécifiquement des expériences positives et/ou négatives ou de décrire des expériences qui n'ont pas de valences particulières (ex. la dernière expérience, une expérience significative). Dans ce dernier cas, les expériences positives et négatives ne sont pas définies et identifiées par les utilisateurs, c'est donc à l'ergonome d'identifier ces verbalisations. À notre connaissance, la plupart des études demandent explicitement à l'utilisateur d'évoquer des expériences positives et négatives. On relève une étude (Tuch & Hornbæk, 2015) dans laquelle les chercheurs extrayaient des facteurs à l'origine de bons ou mauvais sentiments pour identifier des besoins. Après avoir identifié les expériences positives et négatives, l'ergonome doit alors analyser ce corpus pour identifier ou inférer des besoins généraux et détaillés.

Ainsi, l'analyse de l'expérience utilisateur est un moyen de prendre en compte les besoins qui relèvent à la fois des aspects pragmatiques et hédoniques de l'expérience.

3. Synthèse du chapitre 2

Il existe deux grandes catégories de besoins fondamentaux des utilisateurs, les besoins pragmatiques qui font référence aux besoins liés à l'activité et à l'interaction avec l'artefact, et les besoins hédoniques qui font référence aux besoins de développement psychologique et social de l'individu. Lorsque ces besoins ne sont pas satisfaits, ils sont à l'origine d'une expérience utilisateur négative s'ils sont des besoins de déficience, et lorsqu'ils sont satisfaits ils sont à l'origine d'une expérience utilisateur positive s'ils sont des besoins de développement. L'expérience utilisateur est donc une notion qui propose une vision globale de la satisfaction ou l'insatisfaction de ces besoins fondamentaux, dans une interaction entre un utilisateur et un artefact, dans un contexte particulier. Identifier comment ces besoins fondamentaux s'opérationnalisent à un niveau général ou détaillé,

est essentiel dans la conception. Cela permet d'enrichir les représentations qu'ont les concepteurs, des utilisateurs et de leurs besoins. Ces représentations ne correspondent pas nécessairement à la réalité, les actualiser favorise la conception d'artefacts qui sont plus adaptés aux utilisateurs et plus satisfaisants. Pour recueillir et implémenter les besoins des utilisateurs dans la conception, différentes approches existent. Elles sollicitent l'utilisateur de façon consultative pour analyser ses besoins ou elles sollicitent les utilisateurs de façon participative pour qu'ils co-construisent l'artefact lors de la conception ou qu'ils le reconfigurent dans l'usage.

Le chapitre 3 propose un panorama des différentes solutions qui existent ou qui sont envisageables pour intégrer les besoins futurs des utilisateurs dès la phase de conception exploratoire.

Chapitre 3

L'ergonomie prospective en soutien à la conception exploratoire future

“The future is already here – it’s just not very evenly distributed.”

William GIBSON (1999)

“Le futur est déjà là – simplement, il n’est pas uniformément réparti.”

William GIBSON (1999)

Résumé du chapitre

Le chapitre 2 a détaillé la notion de besoin de l'utilisateur et son intégration dans une approche de conception centrée utilisateur. Avec l'ergonomie prospective, cette pratique doit évoluer pour permettre la conception d'artefacts futurs. Pour cela, l'ergonomie doit intervenir lors de la phase de conception exploratoire future, qui comprend l'étape d'anticipation de besoins futurs et l'étape de définition d'idées d'artefacts futurs. Ce troisième et dernier chapitre théorique décrit dans une première partie l'étape d'anticipation de besoins futurs, les limites des utilisateurs et des concepteurs concernant cet exercice et les processus cognitifs, les méthodes et les profils d'individus sur lesquels l'ergonome peut s'appuyer pour soutenir cette étape. Dans une seconde partie, ce chapitre décrit l'étape de définition d'idées d'artefacts futurs, les difficultés des utilisateurs et des concepteurs relatives à cet exercice et les processus cognitifs, les méthodes et les caractéristiques des individus sur lesquels l'ergonome peut s'appuyer pour soutenir cette étape.

1. Le soutien de l'anticipation de besoins futurs

1.1. L'anticipation de besoins futurs

L'identification des besoins des utilisateurs est primordiale dans la conception, son intérêt et sa mise en œuvre sont abondamment décrits dans la littérature, seulement elle doit évoluer pour répondre aux nouveaux enjeux de l'ergonomie prospective. Il s'agit désormais de ne plus se restreindre à l'identification de besoins présents, mais à l'identification ou au développement de besoins futurs.

1.1.1 L'insuffisance de l'analyse des situations actuelles pour identifier des besoins futurs

L'identification des besoins des utilisateurs présents qu'ils soient satisfaits, insatisfaits, connus ou inconnus n'est plus suffisante. La demande croissante pour la conception d'artefacts futurs et la nécessité de concevoir des produits innovants imposent de travailler sur les besoins futurs des utilisateurs afin de permettre au concepteur de concevoir des artefacts nouveaux, qui seront utilisés dans le futur et adaptés à leurs utilisateurs (Barré et al., 2018; Bourgeois-Bougrine et al., 2018; Brangier et al., 2017; Loup-Escande et al., 2013). Dans le cas de la conception d'artefacts futurs, les besoins présents ne sont pas cohérents avec les besoins que devront satisfaire l'artefact et qui dépendront notamment du contexte futur et des utilisateurs futurs (Falzon, 2005). Pour l'innovation, le recours à des besoins présents ne facilite pas l'innovation radicale ou disruptive, mais plutôt l'innovation incrémentale voir le *status quo* (Bourgeois-Bougrine et al., 2018).

1.1.2 Des besoins futurs anticipables

Barré et al. (2018) font la différence entre des besoins présents que l'on peut directement « collecter » et des besoins futurs qui sont à « identifier » (Barré et al., 2018). Les besoins présents sont des besoins qui existent aujourd'hui, ils peuvent être conscients ou inconscients, satisfaits ou insatisfaits, mais ces besoins sont expérimentés par les utilisateurs, et c'est à l'ergonome de les recueillir. Au contraire, les besoins futurs, sont des besoins qui n'existent pas encore et qui ne sont donc pas expérimentés par les utilisateurs. Pour les identifier, l'ergonome doit mettre en œuvre des méthodes qui permettent leur anticipation, c'est-à-dire qui rendent possible leur

développement ou identification, prématurément. Nous préférons utiliser le concept de besoins futurs plutôt que celui de besoins latents (Barré et al., 2018; Loup-Escande et al., 2013; Robertson, 2001), qui à notre sens comprends à la fois des besoins qui ne sont pas imaginés et qui n'existent pas, mais aussi des besoins qui ne sont pas actifs, mais qui existent et peuvent se manifester, et correspondent donc plutôt à des besoins non satisfaits et non exprimés. Ainsi, la notion de besoins futurs nous paraît traduire sans risque de confusion cette notion de besoin qui n'existe pas encore et qui trouvera une existence dans le futur.

Les besoins futurs caractérisent des besoins généraux ou détaillés et non des besoins fondamentaux, qui sont eux stables dans le temps. Comme nous l'avons vu, ces besoins sont une opérationnalisation de la combinaison de besoins fondamentaux de nature pragmatique et hédonique. Ces besoins de niveau plus microscopique sont dynamiques, c'est-à-dire qu'ils changent et évoluent. En effet, la littérature nous indique qu'ils sont une construction mentale située qui dépend de l'artefact, de la situation d'utilisation, de l'environnement social et de la représentation que se fait l'utilisateur de ces différents éléments (Brangier, 2006; Loup-Escande et al., 2013, 2014; Loup-Escande & Burkhardt, 2017). Les besoins futurs sont donc une construction mentale qui correspond à l'opérationnalisation de besoins fondamentaux pragmatiques et hédoniques dans un contexte futur (qui comprend un ou des artefacts, une situation d'utilisation et un environnement social) par un utilisateur. De la même façon, l'expérience utilisateur est elle aussi dynamique, c'est un phénomène momentané qui change dans le temps en fonction de la situation d'utilisation et de l'artefact. Les individus établissent des jugements et des inférences prospectives de l'expérience future, sur la base des informations dont il disposent (Hassenzahl, 2018, 2008). On peut dès lors parler d'expérience utilisateur future pour qualifier l'ensemble des éléments de l'expérience subjective de l'utilisateur dans une situation imaginée ou simulée d'interaction future avec un artefact. C'est ce caractère dynamique qui rend possible l'anticipation – le développement et l'identification prématurée – de besoins et expériences futurs.

1.1.3 L'anticipation des besoins : une construction et une analyse prématurée

Buisine et al. (2018) font état de deux paradigmes différents concernant l'anticipation des besoins utilisateurs (voir Figure 10) :

- **Paradigme de la création** : ce paradigme repose sur l'invention de nouvelles idées de besoins. Il est basé sur des méthodes de créativité pour favoriser la génération d'idées de nouveaux besoins ;
- **Paradigme de la découverte** : ce paradigme repose sur l'identification des formes que peuvent prendre les besoins dans le futur. Il est basé sur des méthodes pour aider les utilisateurs à se représenter leurs interactions possibles avec un produit (ex. simulation, jeu de rôle, etc.) ou à se projeter dans une situation future (ex. entretien d'exploration des besoins futurs) afin de leur permettre de faire émerger des idées de besoins futurs.

Paradigme d'anticipation de besoins futurs		Création	Découverte
Objectif		Inventer de nouvelles idées de besoins	Développer et identifier prématurément les besoins
Moyens		- Favoriser la créativité	<ul style="list-style-type: none"> - Simuler l'utilisation - Faciliter la représentation de l'artefact - Faciliter la représentation du futur

Figure 10 : Paradigmes d'anticipation de besoins futurs

L'anticipation de besoins futurs des utilisateurs, s'inscrit plutôt dans le cadre du paradigme de découverte, puisqu'il s'agit de développer et d'identifier prématurément des besoins. En outre, l'anticipation des besoins se situe dans une approche d'analyse des besoins puisqu'elle vise à identifier en avance des besoins futurs, plus qu'à les co-construire dans un apprentissage mutuel entre les concepteurs et les utilisateurs. Néanmoins, l'ergonome peut être amené à favoriser la construction des besoins futurs des utilisateurs à travers des méthodes qui impliquent une interaction entre l'utilisateur et l'ergonome, et qui relèvent donc d'une co-construction du besoin. Pourtant, cette co-construction du besoin n'est pas au sens strict un apprentissage mutuel entre les concepteurs et les utilisateurs. Il s'agit d'un soutien au développement de besoins futurs par l'ergonome, dans un but d'analyse de ces besoins.

1.1.4 L'anticipation un exercice délicat pour les utilisateurs et les concepteurs

Les besoins utilisateurs sont en théorie anticipables, mais la pratique de l'anticipation des besoins utilisateurs futurs est un exercice délicat. Les concepteurs :

- Se basent sur une représentation hypothétique des besoins des utilisateurs (Hassenzahl, 2018; Norman, 1988) ;
- Tentent d'inférer des besoins à partir de situations présentes, qui ne sont pas similaires aux situations futures (Bonnardel, 2012) ;
- Se fient trop à leur représentation de l'artefact présent et des utilisateurs présents, ce qui limite leur capacité à se représenter de nouveaux besoins (Jansson & Smith, 1991; Youmans & Arciszewski, 2014).

Les utilisateurs sont eux, sujets à des limitations spécifiques à l'anticipation. Les difficultés rencontrées par les utilisateurs sont dues aux faits qu'ils :

- Ont du mal à se représenter un artefact qui n'existe pas ainsi que l'utilisation qui pourrait en être faite (Anastassova et al., 2007; Anastassova & Mayora-Ibarra, 2009; Barré et al., 2018);
- Ont du mal à exprimer les besoins concernant un artefact ou une activité qu'ils n'ont pas expérimentée (Barré et al., 2018; Petiot & Yannou, 2004) ;
- Ont du mal à se représenter le futur (Barré et al., 2018) ;
- Ont du mal à exprimer les besoins concernant un artefact qu'ils ne connaissent pas (Anastassova et al., 2007; Loup-Escande et al., 2014);
- Sont sujet à un maintien des habitudes qui limite leur intérêt et capacité à se représenter de nouveaux besoins (Spérando, 2001 cité par Anastassova, 2006) ;
- Ont du mal à s'extraire du contexte actuel et du paradigme culturel dans lesquels ils sont (Bourgeois-Bougrine et al., 2018) ;
- Ne sont pas forcément « accessibles » ou disponibles et ne peuvent pas être intégrés dans la conception (Bonnardel & Pichot, 2020).

Ainsi, l'anticipation de besoins futurs nécessite de nouvelles méthodes et connaissances pour dépasser l'analyse de situations actuelles et dépasser les limites des concepteurs et des utilisateurs.

1.2. Un processus cognitif pour penser le futur

1.2.1 La cognition orientée futur

La cognition orientée futur est la capacité humaine à imaginer et simuler mentalement une expérience personnelle future réaliste (D'Argembeau, 2016; D'Argembeau et al., 2011; Schacter et al., 2017). Dans la littérature en psychologie cognitive et neurosciences, on la retrouve sous différentes dénominations : *future mental time travel* (Viard et al., 2011), *envisioning the future* (Buckner & Carroll, 2007), *future-oriented cognition* (D'Argembeau et al., 2011) ou encore *episodic future thinking* (Hollis-Hansen et al., 2019; Schacter et al., 2017). Cette capacité d'imaginer et de simuler des expériences futures est centrale dans la cognition humaine, elle rend possible la planification et la prise de décision, et nous permet d'agir avec flexibilité en fonction de représentations réalistes du futur, afin d'améliorer nos chances d'atteindre nos objectifs à court et long termes (Boyer, 2008; D'Argembeau & Van der Linden, 2012; Miloyan et al., 2019; Suddendorf & Corballis, 2007). Il s'agit d'un processus qui fait partie d'une capacité plus générale désignée voyage mental dans le temps, qui comprend le voyage mental passé et le voyage mental futur (ou cognition orientée futur). Le voyage mental dans le temps est la capacité humaine à imaginer et simuler des expériences qui se sont produites, auraient pu se produire ou qui pourraient se produire (Miloyan et al., 2019; Viard et al., 2011). La cognition orientée futur se traduit par un désengagement momentané de l'environnement immédiat, pour construire une représentation détaillée d'un épisode qui pourrait arriver dans un futur personnel, et qui est à l'origine d'une sensation de préexpérience (D'Argembeau et al., 2008, 2010). Cette représentation est une simulation d'un épisode futur (Gilbert & Wilson, 2007), qui peut être à l'origine de réactions de nature hédonique dans le présent (Frederiks et al., 2019).

Cette capacité à se projeter dans le futur est reconnue pour être basée sur la mémoire des épisodes passés (Addis et al., 2007; Buckner & Carroll, 2007; D'Argembeau, 2016; Hollis-Hansen et al., 2019; Irish & Piguet, 2013a; Miloyan et al., 2019). La construction d'expériences futures semble impliquer l'accès à des informations épisodiques passées, ainsi qu'à des informations de nature sémantiques, qui seraient recombinaisonnées pour créer des représentations mentales de futurs potentiels et réalistes dans lesquels les individus peuvent se projeter (Buckner & Carroll, 2007; D'Argembeau, 2016; Schacter et al., 2017). En ce sens, plusieurs études dont les protocoles

comprenaient des mesures par imagerie cérébrale, indiquent une activation des mêmes zones cérébrales pour des tâches visant à se souvenir d'événements passés et des tâches visant à envisager l'avenir (Addis et al., 2007; Arzy et al., 2009; Schacter et al., 2007; Szpunar et al., 2007; Viard et al., 2011). Par ailleurs, il semblerait que ces zones sont aussi celles qui s'activent lors de tâches de *counterfactual thinking* (« raisonnement contrefactuel ») et de *perspective taking* (« changement de perspective ») qui consistent dans l'ordre à imaginer un événement s'il s'était produit autrement et à se mettre à la place de quelqu'un d'autre (Buckner & Carroll, 2007; Schacter et al., 2007). Schacter et al. (2007) font l'hypothèse qu'il s'agirait d'un système cérébral commun qui permettrait la simulation mentale, c'est-à-dire les traitements qui ont trait avec des éléments qui ne sont pas présents dans notre environnement direct.

1.2.2 La distance temporelle : un obstacle à la pensée future

Les utilisateurs ont des difficultés à se représenter le futur, de futurs artefacts et les activités qu'ils pourraient permettre. Mais cette difficulté ne leur est pas réservée, la capacité de l'humain à se représenter des événements et des actions futures est liée à la distance temporelle qu'il entretient avec cet événement ou action. Plus les événements et actions sont distants temporellement – c'est-à-dire qu'ils s'inscrivent dans un futur lointain par opposition à un futur proche –, moins les représentations liées à ces événements ou actions sont concrètes, détaillées et incarnées, ce qui est à l'origine de jugements et prédictions biaisés (D'Argembeau et al., 2011; D'Argembeau & Van der Linden, 2004; Trope & Liberman, 2003, 2010). La cognition orientée futur est donc un moyen de réduire cette distance temporelle, en se construisant une représentation mentale d'un « objet » temporellement distant (Trope & Liberman, 2010).

1.2.3 L'amplification de la cognition orientée futur

Recommandations générales

Il est possible d'extraire de la littérature des recommandations qui peuvent être mises en place à travers des méthodes structurées d'amplification de la cognition orientée futur :

- **Rappeler des expériences passées en lien avec l'objet d'étude** : la création de représentations mentales de futurs réalistes est rendue possible par la recombinaison d'informations épisodiques et sémantiques passées, qui guident la construction d'une représentation future

(Addis et al., 2007; D'Argembeau, 2016; Hollis-Hansen et al., 2019; Irish & Piguet, 2013a; Miloyan et al., 2019; Schacter et al., 2007);

- **Construire un contexte général de l'événement futur** : la construction d'une représentation générale de l'événement futur sur la base des souvenirs facilite la cognition orientée futur (Irish & Piguet, 2013a) ;
- **Élaborer un événement futur spécifique** : la construction d'une représentation d'un événement spécifique et distinct (par opposition à une situation générale, par exemple on s'intéresse à l'épisode futur qui concerne un repas en particulier, et pas aux repas dans le futur) permet la sensation de préexpérience, c'est-à-dire la simulation de l'expérience, et permet de favoriser la cognition orientée futur (D'Argembeau, 2016; D'Argembeau et al., 2008; D'Argembeau & Van der Linden, 2012) ;
- **Amener le participant à s'imaginer dans l'événement futur** : s'imaginer dans un contexte personnel futur, permet de pré-expérimenter l'événement de manière incarnée, ce qui entraîne l'émergence d'une représentation plus riche qui inclut des éléments sensoriels (D'Argembeau & Van der Linden, 2012; Irish & Piguet, 2013b; Schacter et al., 2007).
- **Élaborer un contexte autobiographique futur** : la cognition orientée futur comprend une dimension représentationnelle liée au contexte personnel – futur – de l'individu. Il doit s'imaginer dans cette situation, c'est ce qui lui permet d'en faire la préexpérience de façon incarnée qui se traduit par l'émergence d'une représentation qui comprend des éléments sensoriels (D'Argembeau & Van der Linden, 2012; Irish & Piguet, 2013a; Schacter et al., 2007) ;
- **Élaborer une expérience future détaillée** : le niveau de détail de la représentation est un facteur de la qualité de la projection, il est important de pousser l'individu à imaginer son expérience de la façon la plus détaillée possible (D'Argembeau & Van der Linden, 2012; Noël et al., 2017) ;
- **Privilégier la réflexion sur les événements positifs** : les individus ont plus de facilité à se représenter des événements futurs positifs que des événements futurs négatifs (D'Argembeau & Van der Linden, 2004), compte tenu du fait que les individus sont optimistes vis-à-vis du futur (Newby-Clark & Ross, 2003). La représentation d'événements futurs négatifs est donc rendu complexe par cet optimisme et nécessite plus de temps et de ressources.

Par ailleurs, une étude récente de Hallford et al. (2020) montre la possibilité d'améliorer la cognition orientée future, par un entraînement qui porte sur plusieurs dimensions (ex. la spécificité, la vivacité, la plausibilité, etc.).

Tâches de cognition orientée future

Certaines techniques sont aussi utilisées pour favoriser la cognition orientée futur, elles peuvent être utilisées en amorce pour influencer les résultats d'une tâche consécutive ou comme tâche principale :

- **Tâche de réflexion sur le futur (Future Thinking Task)** : c'est une tâche de fluidité verbale pour laquelle le participant est invité à imaginer des expériences qui vont lui arriver à différents moments dans le futur. Il lui est ensuite demandé pour chaque expérience d'évaluer la valence et la probabilité de réalisation de chaque expérience (MacLeod et al., 1998). Il est ensuite possible de demander au participant d'imaginer certaines des expériences jugées les plus pertinentes, en lui demandant d'imaginer le plus de détails possible afin de l'amener à en faire la préexpérience (Noël et al., 2017) ;
- **Tâche de probabilité subjective (Subjective Probability Task)** : c'est une version alternative et allégée de la tâche de réflexion sur le futur, qui consiste à demander au participant d'évaluer la probabilité qu'un événement lui arrive dans le futur (MacLeod, 1996) ;
- **Indicage futur (Future cueing)** : dans cette tâche, il est demandé au participant d'imaginer des épisodes spécifiques qui peuvent lui arriver dans le futur. L'imagination de ces événements est indicée, c'est-à-dire qu'elle se fait en réponse à des stimuli, ici de courtes phrases qui décrivent une situation ou un sentiment (ex. « une situation dans laquelle vous vous sentez coupable). Après la présentation du stimulus, le participant a un temps limité (ex. 60 secondes) pour imaginer un épisode futur spécifique (D'Argembeau et al., 2008; Williams et al., 1996) ;
- **Raisonnement contrefactuel** : le raisonnement contrefactuel consiste à imaginer un événement s'il s'était produit autrement. Lorsqu'il s'agit d'imaginer comment certains événements pourraient se produire différemment dans le futur ou d'imaginer les conséquences futures d'événements qui se seraient produits différemment, le raisonnement contrefactuel mobilise la cognition orientée futur, de par la construction de représentations

de futurs alternatifs (Frederiks et al., 2019). On peut alors parler de raisonnement contrefactuel futur.

Frederiks et al., (2019) considèrent que le changement de perspective peut être aussi considéré comme un exercice de cognition orientée futur, dans la mesure où il consiste souvent à anticiper les comportements et réactions des autres. Néanmoins, le changement de perspective peut s'effectuer aussi bien au présent. Si les zones cérébrales en jeu lors de la cognition orientée futur et du changement de perspective (Buckner & Carroll, 2007; Schacter et al., 2007) sont communes, la question de la représentation autobiographique – dimension fondamentale de la cognition orientée future – se pose dans ce cas particulier.

Des profils prédisposés à la cognition orientée future

Si cette capacité de projection dans le futur peut-être amplifiée, il est aussi possible de s'intéresser à des profils d'individus qui peuvent avoir une plus grande propension à se projeter dans le futur. En effet, Brosch et al. (2018) ont réalisé une étude dans laquelle ils mesuraient l'activation neuronale de participants lors de tâches de projection dans un futur proche et dans un futur lointain, en fonction de leurs valeurs. Les participants avec de fortes valeurs liées à l'autoamélioration (portés sur la maximisation des intérêts personnels) présentaient une activation plus importante lors de projection dans un futur proche, alors que les participants avec de fortes valeurs liées à la transcendance de soi (portés sur la considération des besoins des autres) présentaient une activation plus importante lors de projection dans un futur lointain. Les auteurs expliquent que les individus avec de fortes valeurs liées à l'autoamélioration souffriraient d'une « myopie du futur », car ils se focalisent sur les conséquences qui les concernent à court terme, alors que les individus avec de fortes valeurs liées à la transcendance de soi sont autant concernés par les conséquences personnelles que les conséquences sur les autres et donc sur les générations futures.

1.2.4 La mesure de la qualité de l'expérience futur imaginée

Pour s'assurer du fonctionnement des méthodes visant à amplifier la cognition orientée futur il faut s'intéresser aux déterminants qui accompagnent sa réalisation : la localisation subjective dans le futur (*subjective location in the future*)(Debus, 2016), le caractère ouvert (*openness*) (Debus, 2016), la spécificité (*specificity*)(D'Argembeau, 2016; D'Argembeau et al., 2008; D'Argembeau & Van der Linden, 2012), l'incarnation (*embodiment*) (D'Argembeau & Van der Linden, 2012; Nelis et al., 2014;

Sheehan, 1967), la précision/clarté (*vividness*) (Marks, 1973; Nelis et al., 2014) et la plausibilité (*plausibility*) (D'Argembeau, 2016; Szpunar & Schacter, 2013) de l'épisode futur.

La localisation subjective dans le futur : il s'agit de vérifier si l'individu identifie l'événement comme se produisant dans le futur (par opposition à des événements situés dans le passé ou indistincts).

Le caractère ouvert : il s'agit de vérifier si l'individu est conscient qu'il ou d'autres personnes pourraient agir de manière à provoquer ou à contrecarrer l'événement.

La spécificité : il s'agit de vérifier que l'individu s'est bien projeté dans une expérience distincte et unique. D'Argembeau (2008) propose par exemple de vérifier que l'épisode se déroule dans un lieu particulier, à un moment donné, et qu'il ne dure pas plus d'une journée.

L'incarnation : il s'agit de vérifier que le participant a bien construit un épisode dans lequel il s'incluait et qu'il a préexpérencé. Pour cela on peut mesurer le nombre de descriptions sensorielles (visuelles, auditives, olfactives, et kinesthésiques) (D'Argembeau et al., 2011; Nelis et al., 2014; Sheehan, 1967).

La précision : il s'agit de vérifier que le participant a construit une représentation précise et claire. Nelis et al. (2014) reprennent par exemple un questionnaire proposé par Mark (1973) à l'aide duquel les participants doivent évaluer dans quelle mesure une situation imaginée est claire. Par exemple, sur une échelle de Likert, ils doivent évaluer dans quelle mesure une situation imaginée est « Parfaitement claire et aussi vivante que l'expérience réelle ». Il est aussi possible de s'intéresser au niveau de précision des descriptions concernant les objets, le lieu, les personnes et le contexte (date, heure lieu etc.) (D'Argembeau & Van der Linden, 2004; Noël et al., 2017).

La plausibilité : il s'agit de la vraisemblance de l'épisode pour l'individu, sa probabilité d'advenir.

Par ailleurs, des indicateurs utilisés pour des tâches de créativité (fluidité, nouveauté, faisabilité et pertinence) peuvent également être utilisés pour évaluer les idées émises lors ou consécutivement à une tâche de cognition orientée futur (Frederiks et al., 2019). Ces indicateurs sont développés dans le chapitre 4 (voir 4.2 L'évaluation des idées qui portent sur le futur).

1.2.5 La cognition orientée futur dans la conception

Cooper (2019) considère que la tendance actuelle en conception consiste à porter de l'importance à la conception orientée sur l'avenir. En parallèle de l'ergonomie prospective, d'autres courants s'inscrivent dans cette perspective : les *future literacies* (Miller, 2007), le *needfinding* (Faste, 1987) et le *design fiction* (Sterling, 2005) par exemple. Cependant, les processus cognitifs qui permettent aux humains de se représenter l'avenir ne sont pas intégrés dans ces pratiques.

L'identification de l'intérêt de la cognition orientée futur pour l'ergonomie prospective et la conception est récent, et les études à ce sujet quasi-inexistantes (Colin et al., 2020; Colin & Martin, 2019). Dans une étude exploratoire, Colin et Martin (2019) ont testé l'effet d'une tâche de cognition orientée futur comme amorce à la verbalisation de besoins futurs. Leurs résultats indiquent des besoins sensiblement plus élaborés pour les participants qui ont été amorcés avec la tâche de cognition orientée futur par rapport à ceux qui n'avaient pas été amorcés. Frederiks et al. (2019) ont comparé l'effet d'une amorce avec une tâche de cognition orientée futur, une tâche de changement de perspective et une tâche de raisonnement contrefactuel, sur la génération d'idées de nouveaux produits et services. Ils observent que les idées issues de la condition avec une tâche de cognition orientée futur sont les plus qualitatives, suivies par les idées issues de la condition avec une tâche de changement de perspective. Leurs résultats ne montrent pas de différence entre la condition contrôle et la condition avec une tâche de raisonnement contrefactuel, suggérant un intérêt limité du raisonnement contrefactuel dans la génération d'idées de nouveaux produits et services.

La cognition orientée futur est un processus qu'il convient donc d'incorporer à la démarche d'ergonomie prospective, et plus largement à la conception orientée sur l'avenir. C'est un processus sur lequel s'appuyer et qu'il faut favoriser via la mise en place de méthodes structurées, pour permettre aux utilisateurs et aux concepteurs d'enrichir leurs représentations futures, pour les aider à anticiper des besoins futurs, à définir de futurs contextes d'usages, à imaginer de futurs artefacts et les activités qu'ils peuvent engendrer.

1.3. Des méthodes spécifiques à l'anticipation de besoins

Alors que la cognition orientée futur permet d'amplifier la représentation du futur, il existe aussi des méthodes qui visent spécifiquement à améliorer l'anticipation de besoins. Si certaines méthodes évoquées ci-dessous stimulent très probablement la cognition orientée futur, le recours à ce processus cognitif n'est pas explicitement mentionné.

Ces méthodes d'anticipation des besoins utilisateurs, peuvent être classées en 2 catégories :

- Celles qui visent à améliorer la représentation qu'ont les utilisateurs du futur ou de l'artefact, en partant du principe que l'exposition à une représentation de l'artefact quel que soit son état de conception permet de stimuler l'évocation de nouveaux besoins (Loup-Escande et al., 2014) ;
- Celles qui proposent de se passer d'un recours direct aux utilisateurs et d'outiller les concepteurs ou experts pour leur permettre de spéculer et d'imaginer les besoins des utilisateurs.

1.3.1 Des méthodes d'enrichissement de la représentation de l'utilisateur

L'interaction avec un prototype : un prototype est une représentation concrète d'un artefact, qui correspond à la matérialisation de la représentation de l'artefact par le concepteur. Il est une représentation incomplète, mais peut tout de même présenter des caractéristiques fonctionnelles, interactionnelles et esthétiques de l'artefact (Anastassova et al., 2007). En permettant à l'utilisateur d'interagir ou de se confronter au prototype, on facilite la compréhension de l'artefact par l'utilisateur et on améliore la représentation qu'il s'en fait, ce qui lui permet d'exprimer plus facilement des besoins pour un artefact qui lui était auparavant inconnu (Anastassova et al., 2007; Anastassova & Mayora-Ibarra, 2009). Le niveau de fidélité du prototype aurait une influence sur l'identification de nouveaux besoins. Un prototype haute-fidélité – c'est-à-dire un prototype qui est au plus proche de l'artefact final et qui est hautement fonctionnel – permettrait l'expression d'un plus grand nombre de besoins (Anastassova et al., 2007). Cependant, les prototypes basse-fidélité, présentent aussi un intérêt en amont des projets lorsque le niveau de définition est faible.

Par exemple, Elias et al. (2019) ont utilisé des maquettes de maison basse-fidélité et des figurines, que devaient manipuler les utilisateurs pour représenter leurs futures activités.

Le scénario : un scénario est une représentation abstraite d'une situation. Il peut décrire une situation générale (ex. le futur) ou spécifique (ex. l'utilisation d'un artefact). Tout comme le prototype, le scénario est une cristallisation de la représentation de l'artefact par le concepteur (Nelson et al., 2013). Il peut prendre la forme d'un récit écrit, d'un récit illustré (« *story-board* ») ou encore d'une vidéo (Lenté et al., 2014). Le scénario a pour objectif d'aider l'utilisateur à penser le futur ou l'utilisation d'un artefact sur la base de sa description (Bourgeois-Bougrine et al., 2018). Les scénarios peuvent aussi être implémentés dans des simulateurs pour permettre à l'utilisateur d'avoir une interaction (Nelson et al., 2013, 2014). Par ailleurs, les méthodes du prototype et du scénario sont parfois combinées pour bénéficier des avantages de ces deux solutions (Anastassova & Mayora-Ibarra, 2009).

L'entretien d'anticipation des besoins : l'entretien d'anticipation des besoins est une méthode qui vise à construire une situation de production verbale de besoins, activités et expériences futurs. Cette méthode vise à produire des connaissances sur les besoins et les activités futurs, en favorisant la construction mentale d'une représentation du futur, et en s'appuyant sur les expériences vécues positives et négatives relatives à l'activité, au domaine ou à un artefact (Brangier, Brangier et al., 2019; Dörrenbächer & Hassenzahl, 2019). L'entretien porte dans un premier temps sur l'expérience vécue de l'utilisateur, puis dans un second temps, l'entretien se concentre sur l'expérience future, d'abord en amenant les participants à construire une représentation incarnée de l'avenir, puis en les amenant à imaginer des besoins et activités futurs, en utilisant comme déclencheur les expériences vécues positives et négatives précédemment détectées. Il s'agit donc à la fois de détecter des besoins et des activités et de les faire évoluer dans une représentation mentale du futur, et d'imaginer de nouvelles idées de besoins et activités adaptées à cette représentation du futur. Cette méthode peut être utilisée en combinaison d'autres méthodes. Nguyen et Cahour (2014) ont par exemple mené une étude dans laquelle elles proposaient aux utilisateurs d'exprimer leurs besoins concernant le futur des véhicules électriques, en se basant à la fois sur leur l'expérience vécue, sur la construction d'une représentation du futur et sur la confrontation à des prototypes. Allinc et al. (2019) ont combiné scénario prospectif et entretien

d'anticipation des besoins pour projeter l'utilisateur dans l'utilisation future d'un service émergeant. Ils décrivaient à l'utilisateur un scénario prospectif qui concernait le service émergeant, et l'accompagnait à se projeter mentalement dans son utilisation pour pouvoir recueillir des données sur son expérience future probable. À noter que cette méthode est majoritairement utilisée avec des utilisateurs, mais qu'elle a déjà été utilisée avec des experts (Brangier, Brangier et al., 2019).

1.3.2 Des méthodes d'amplification de la capacité du concepteur à spéculer

Le persona : le persona est une représentation fictive et archétypale des utilisateurs. Il prend la forme d'une description textuelle et visuelle d'un utilisateur, construite sur la base de données récoltées auprès des utilisateurs (Marshall et al., 2015; Pruitt & Grudin, 2003). Les personas peuvent être construits soit sur la base des représentations qu'ont les concepteurs des utilisateurs, auquel cas il s'agit d'*assumptions based personas* (« personas basées sur des hypothèses »), ou ils peuvent être construits sur la base d'une recherche utilisateur rigoureuse, auquel cas on les appelle des *data rich personas* (« personas riches en données ») (Marshall et al., 2015). Dans la mesure où les personas sont utilisés pour enrichir les représentations qu'ont les concepteurs des utilisateurs et de leurs besoins (Bonnardel & Pichot, 2020), les personas basés sur des hypothèses ne présentent pas un grand intérêt. Dans le cas de l'anticipation des besoins, le persona est un outil pour le concepteur, il vise à enrichir sa représentation des utilisateurs et prendre la perspective de l'utilisateur (« *perspective taking* ») – le changement de perspective est la capacité d'un individu à considérer le monde du point de vue d'un autre individu (Galinsky & Ku, 2004) –, afin de spéculer sur les besoins futurs qu'ils pourront éprouver (Barré et al., 2018; Bornet & Brangier, 2013, 2016). Le persona peut être combiné à d'autres méthodes d'anticipation des besoins. Il a notamment été associé à la technique EPMcreate (Barré et al., 2018) qui consiste à générer des besoins utilisateurs en réalisant des opérations logiques sur des profils d'utilisateurs (ex. « Quels sont les besoins communs de l'utilisateur 1 et de l'utilisateur 2 ? », « Quels sont les besoins de l'utilisateur 1 qui ne sont pas des besoins de l'utilisateur 2 ? »). Dans cette association, les personas servaient à représenter les profils d'utilisateurs.

La séance de créativité : il s'agit de mettre en place une séance structurée qui vise à améliorer la créativité des participants. Cette méthode est habituellement utilisée lors des phases de définition

de l'artefact, et elle peut aussi être mise en place lors de l'anticipation des besoins (Nelson et al., 2014). Dans ce cas, les concepteurs ont pour objectifs de produire des idées nouvelles de besoins et activités que pourraient rencontrer les utilisateurs futurs.

Le staff d'experts de communauté : le staff d'experts de communauté est une forme de focus group qui consiste à réunir dans une situation d'interaction sociale des experts reconnus de différentes communautés, pour qu'ils expriment leurs besoins et les besoins des utilisateurs (Bastien et al., 2009). Dans le cas de l'anticipation des besoins, il est demandé aux experts de décrire leur vision des besoins utilisateurs et comment ils pensent qu'ils vont évoluer dans le futur (Brangier, Vivian, et al., 2019). Dans cette méthode, on se base sur le croisement de différentes expertises professionnelles pour déterminer des besoins et activités futurs.

1.4. Des profils avec une aptitude à l'anticipation de besoins futurs

En plus de méthodes d'amplification de la cognition orientée futur et de méthodes spécifiques d'anticipation de besoins, il est important de considérer la propension de certains profils à l'anticipation de besoins. Si les utilisateurs et les concepteurs sont limités dans leur capacité à anticiper des besoins futurs, certains individus sont présumés avoir une meilleure capacité à imaginer des besoins futurs (Brangier, Brangier et al., 2019).

1.4.1 Les experts scientifiques et techniques

Certaines méthodes d'anticipation des besoins reposent sur la participation d'experts, sans recours direct aux utilisateurs. Ces experts sont reconnus pour avoir une expertise professionnelle dans le domaine visé, acquise grâce à leur formation et à leur expérience professionnelle. Cette expertise est liée à une connaissance expérientielle et théorique qu'ils utilisent pour prendre des décisions pertinentes et élaborées (Brangier, Brangier et al., 2019; Cegarra & Hoc, 2006; Visser & Falzon, 1988). Elle peut être scientifique ou technique. Par ailleurs, les experts sont reconnus comme représentant légitimement une communauté (Bastien et al., 2009).

Si les experts sont considérés comme réalisant de meilleures performances que les novices, la performance n'est pas suffisante pour définir l'expertise. En effet, l'expertise si elle améliore la résolution de problèmes classiques, peut entraîner une baisse de performance concernant les

problèmes atypiques. De plus, les performances individuelles des experts peuvent varier fortement indépendamment du niveau d'expertise (Cegarra & Hoc, 2006). Johanna et Van der Heidjen (2000) indiquent que l'expertise professionnelle peut être opérationnalisée par cinq dimensions :

- La connaissance : l'expert a une connaissance approfondie de son domaine ;
- La connaissance métacognitive : l'expert a une connaissance sur l'étendue de ses connaissances et sait reconnaître celles des autres ;
- La compétence : l'expert a des compétences qui lui permettent de réaliser de façon qualitative les tâches propres à sa profession ;
- La reconnaissance sociale : l'expert est reconnu et respecté par les membres de son organisation ou par ses pairs ;
- Le développement et la flexibilité : l'expert est capable d'acquérir une expertise dans des domaines proches voire radicalement différents.

Il a été montré que les experts ont une représentation élaborée de l'avenir du domaine ciblé et qu'ils sont créatifs (Brangier, Brangier et al., 2019). Effectivement, les experts construisent des représentations plus globales et fonctionnelles que les novices, et ils ont une meilleure capacité à réaliser des inférences et à anticiper (Cegarra & Hoc, 2006). Cette capacité d'anticipation serait basée sur leur expertise qui leur permettrait de présenter une faible charge cognitive pour un niveau de complexité important (Cegarra & Hoc, 2006) et qui leur permettrait de mettre en place de nouvelles stratégies et d'inventer de nouvelles règles pour répondre à des situations inconnues ou inattendues (Pellegrin et al., 2021).

Du fait de leurs connaissances avancées du domaine, qui peuvent éventuellement porter sur les utilisateurs et de leur capacité d'anticipation, le recours à des experts pour l'anticipation de besoins futurs paraît légitime. Seulement, cela soulève la question des représentations qu'ont les experts vis-à-vis des utilisateurs. En effet, les experts, et notamment les experts techniques, ont une représentation qui se rapporte à celle du concepteur : c'est la représentation de l'activité probable ou souhaitée de l'artefact par l'utilisateur, qui ne correspond pas nécessairement à la réalité (Hassenzahl, 2018; Norman, 1988).

1.4.2 Les utilisateurs précurseurs

L'implication d'utilisateurs à l'anticipation des besoins est nécessaire pour ne pas tomber dans l'écueil d'une conception qui ne prend pas en compte la réalité des utilisateurs. Leur implication dans la phase d'analyse des besoins est reconnue comme possible et efficace, même dans le cas de technologies émergentes (Loup-Escande et al., 2014; Muller et al., 1997). Dans cette phase, les utilisateurs permettent de recueillir de l'information concernant leur activité et leur expérience, ce qui rend possible la spécification de leurs besoins (Barcellini et al., 2008). De plus, les utilisateurs évoquent des éléments qui ne sont pas identifiés par les concepteurs (Loup-Escande et al., 2014). Pour accéder aux représentations des utilisateurs, il est nécessaire de les impliquer à ce stade précoce, mais il apparaît que les limites des utilisateurs en matière d'anticipation des besoins sont fortes. Une réponse possible à cette difficulté consiste à impliquer des utilisateurs particuliers.

Le recours à des utilisateurs spécifiques pour identifier des besoins singuliers

L'idée d'avoir recours à des publics spécifiques pour concevoir des artefacts n'est pas nouvelle. La conception inclusive (*inclusive design*) propose par exemple de focaliser la conception sur l'adaptation des artefacts à des utilisateurs marginaux ou extrêmes, notamment des personnes en situation de handicap, pour concevoir des artefacts à destination de tous les utilisateurs. Ce courant affilié à la conception centrée utilisateur, s'oppose aux approches plus classiques qui consistent à concevoir des artefacts pour la population générale et éventuellement des artefacts spécifiques à destination des utilisateurs marginaux (Keates & Clarkson, 2004). L'intérêt de la conception inclusive est de concevoir pour un spectre d'utilisateurs plus large, de concevoir des produits accessibles aux utilisateurs marginaux et d'améliorer l'expérience d'utilisation pour l'ensemble des utilisateurs. En effet, la conception inclusive permettrait de concevoir des artefacts dont les caractéristiques bénéficient à l'ensemble des utilisateurs : en répondant aux besoins et contraintes spécifiques de ces utilisateurs, les concepteurs ont amélioré l'artefact pour d'autres utilisateurs (Keates & Clarkson, 2004; Waller et al., 2015). Un bon exemple de cette stratégie est celui du SMS (*Short Message System*), qui a été à l'origine inventé pour aider les personnes malentendantes et qui a révolutionné la communication. Plus récemment et dans la continuité, Buisine et al. (2018) proposent d'intégrer des utilisateurs extraordinaires dans la conception, et de réaliser l'analyse des besoins auprès de ces utilisateurs, plutôt qu'auprès des utilisateurs ordinaires, afin de redécouvrir

les besoins fonctionnels fondamentaux liés à l'artefact. Cette approche repose sur l'inclusion de différents profils d'utilisateurs : les *lead users* (« utilisateurs pilotes »), les enfants, les personnes en situation de handicap, les séniors et les non-utilisateurs. Selon les auteurs, l'intérêt de se focaliser sur ces profils est qu'on y rencontre des besoins exacerbés, des contraintes inconnues des autres utilisateurs, des stratégies de compensation importantes, un sens critique important, un niveau d'exigence élevé, des capacités limitées et des usages précurseurs. Ces éléments sont à la fois l'occasion de découvrir des données qui n'auraient pu être recueillies auprès d'utilisateurs ordinaires, et sont autant d'éléments qui permettent d'améliorer la créativité des concepteurs.

Les utilisateurs précurseurs : des utilisateurs en avance

La proposition faite par Busine et al. (2018), d'avoir recours à des *lead users* est particulièrement pertinentes dans le cas de l'anticipation des besoins, compte tenu du caractère pionnier de ces utilisateurs. Robert et al. (2019) ont également souligné les avantages potentiels de l'inclusion de ce profil d'utilisateurs dans la phase d'anticipation des besoins. Néanmoins, il apparaît que le *lead users* est plus à proprement parler une méthode (Lilien et al., 2002), qu'un profil d'utilisateurs. Utilisée dans les domaines du marketing et du management de l'innovation, la méthode a été introduite par Von Hippel en 1986. Elle repose sur le constat que la majorité des innovations a été initialement développée par les utilisateurs (Brem et al., 2018). La méthode consiste à impliquer dans le processus de conception des utilisateurs qui sont "à la pointe" du marché visé ou d'un marché connexe (von Hippel, 1986), afin de recueillir des besoins et des idées de solutions (Lilien et al., 2002). Cette méthode est soutenue par le fait que ces utilisateurs :

- Expérimentent en avance ce que le reste des utilisateurs expérimenteront plus tard (von Hippel, 1986) et font donc face à de nouveaux besoins plus tôt que les utilisateurs ordinaires (Brem et al., 2018);
- Sont créatifs (Faullant et al., 2012; Lilien et al., 2002; von Hippel, 1986) ;
- Sont fortement engagés dans l'innovation (Lilien et al., 2002) ;
- Ne sont pas satisfait par les produits existants et ont donc des activités de développement ou de modification des produits (Brem et al., 2018).

Par ailleurs, ces utilisateurs sont rares et il peut être difficile de les identifier (von Hippel et al., 2009). La méthode se déroule en 4 phases (Brem et al., 2018; Lilien et al., 2002). D'abord, un

groupe est constitué dans l'entreprise pour préciser les objectifs du projet. Ensuite, ce groupe identifie les tendances fortes du marché. Troisièmement, des utilisateurs "à la pointe du marché" rejoignent le groupe de travail pour partager les besoins qu'ils rencontrent et les solutions qu'ils mettent en place. Enfin, l'ensemble du groupe travaille à l'amélioration des solutions définies lors de la phase précédente. La méthode du *lead users* est plus propice à la génération d'idées de solutions, même si elle permet à la fois de recueillir des besoins (Brem et al., 2018; Lilien et al., 2002). Cette méthode de conception participative vise donc à innover par les utilisateurs en identifiant des besoins qui sont expérimentés dès maintenant par des utilisateurs particuliers et qui seront éventuellement expérimentés dans le futur par des utilisateurs ordinaires.

Par souci de clarté, nous proposons de différencier le *lead user*, qui est une méthode, et les utilisateurs précurseurs, qui peuvent être définis comme des individus qui font l'expérience d'activités ou d'artefacts identifiés comme précurseurs ou prospectifs. Dans la mesure où ce profil d'utilisateurs n'est pas lié à un trait distinctif de l'individu, mais est spécifique au domaine (Brem et al., 2018), tous les utilisateurs précurseurs ne sont pas nécessairement, mais peuvent, être créatifs, être attachés à l'innovation ou avoir des activités de développement ou modification d'artefacts. Cette dernière caractéristique – avoir des activités de développement ou modification d'artefacts – faisant plutôt référence aux *produser* (« développeur-utilisateur »), qui sont des utilisateurs qui sont impliqués dans le développement des artefacts qu'ils utilisent (Bruns, 2006). Les utilisateurs précurseurs sont aussi à différencier des *advanced users* (« utilisateurs avancés »), qui sont des utilisateurs qui présentent une importante pratique, connaissance ou compétence vis-à-vis d'un artefact ou d'une activité (Kristensson et al., 2004). Ainsi, la caractéristique minimum nécessaire pour définir un utilisateur précurseur est qu'il fasse l'expérience d'activités ou d'artefacts identifiés comme précurseurs. Néanmoins, il peut aussi présenter des caractéristiques que l'on prête aux *produser* et aux *advanced users*.

Cette notion d'utilisateurs précurseurs peut être rapprochée des travaux sur la théorie de la diffusion de l'innovation (Rogers, 1995) qui décrit la dynamique d'adoption des produits par les consommateurs en fonction de leur profil, avec dans l'ordre : les innovateurs, les adeptes précoces (*early adopters*), la majorité précoce, la majorité tardive et les retardataires. L'adoption se fait à des temporalités différentes par ces différents groupes et est expliquée par les caractéristiques des

consommateurs : les ressources financières, le statut social, les connaissances et compétences technologiques et l'attitude générale à l'égard de la nouveauté (voir Figure 11).

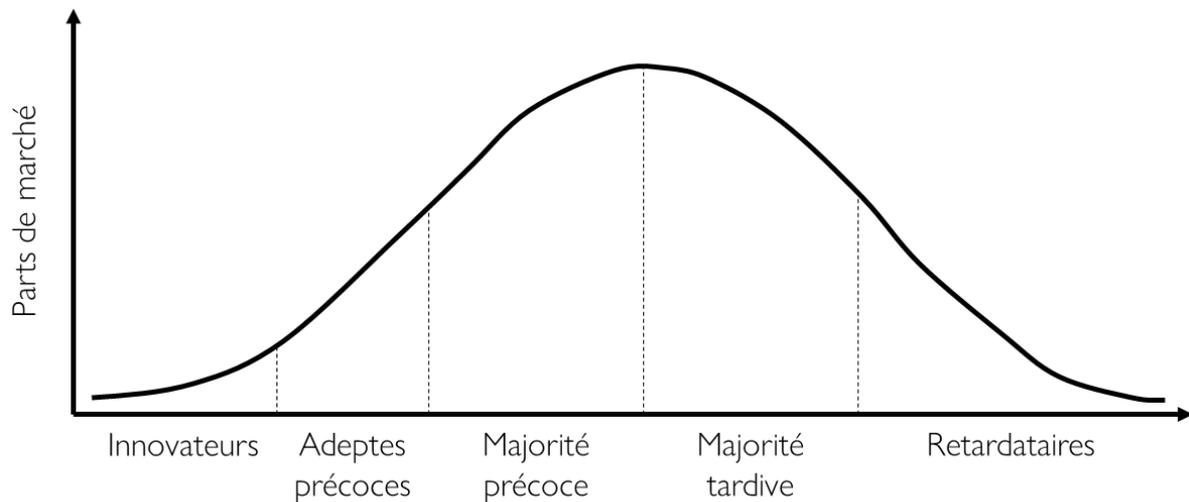


Figure 11 : Schéma de la théorie de la diffusion de l'innovation (inspiré de Rogers, 1995)

La théorie de la diffusion de l'innovation vient conforter cette idée que certains utilisateurs expérimentent en avance des artefacts et donc des activités avant le reste des utilisateurs. S'intéresser aux utilisateurs précurseurs permettrait donc de contourner une partie des limites des utilisateurs concernant leur représentation du futur et d'artefacts qui n'existent pas. Ainsi, à travers ces utilisateurs il est possible d'avoir accès en avance, à certains besoins futurs des utilisateurs. Ces besoins futurs étant les besoins actuels des utilisateurs précurseurs, besoins qui ne sont pas encore ressentis par les utilisateurs ordinaires.

Pour favoriser l'anticipation de besoins futurs, il est donc possible d'avoir recours à la cognition orientée futur, à des méthodes spécifiques et à des profils particuliers. Dans le cadre de la conception exploratoire future, une fois que les besoins futurs ont été analysés et identifiés, ils doivent être transmis aux concepteurs pour que ceux-ci puissent définir des idées d'artefacts. Pour cela, l'ergonome peut :

- Créer un catalogue de solutions inspirées des données qu'il a recueilli (ici l'ergonome prend la place de concepteur et d'initiateur de projet);

- Produire des supports pour les concepteurs, afin d'enrichir leurs représentations des futurs utilisateurs, de leurs besoins et de leurs activités.

2. Le soutien de la définition d'idées d'artefacts futurs

2.1. La définition d'idées d'artefacts futurs à travers la conception conceptuelle

Lorsque les besoins futurs des utilisateurs ont été anticipés, ils doivent être introduits auprès des concepteurs pour que ces derniers puissent les implémenter dans des concepts d'artefacts. L'objectif de cette étape désignée « conception conceptuelle » (*conceptual design*), est de définir de façon préliminaire et imparfaite, des idées d'artefacts et leurs caractéristiques (Bonnardel, 2009; Frederiks et al., 2019). Il s'agit de déterminer à quoi va servir l'artefact, quelle activité il va soutenir et dans les grandes lignes comment il va le faire. La finalité de cette étape est de fournir des premières spécifications pour une conception ultérieure (Zhang et al., 2016). Dans le cas de la conception exploratoire future qui caractérise l'ergonomie prospective, cette étape vise à définir des concepts d'artefacts qui s'inscrivent dans un contexte futur, qui soutiennent des activités futures et qui répondent aux besoins de futurs utilisateurs.

2.1.1 Une activité de conception créative

Cette étape de conception conceptuelle, est considérée comme une activité de résolution de problème, puisqu'aucune solution existante ne peut directement répondre au problème posé (Bonnardel, 2000, 2012). Ces problèmes de conception sont la plupart du temps mal définis (*ill-defined*) et ouverts (*open-ended*) (Bonnardel, 2000, 2009, 2012; Bourgeois-Bougrine et al., 2018; Eastman, 1969). C'est particulièrement le cas avec l'ergonomie prospective, dont la conception porte sur des artefacts et des besoins émergents ou qui n'existent pas, dans un contexte futur que l'on ne peut pas forcément prédire (Bonnardel & Pichot, 2020). On caractérise ces problèmes de mal définis, car toutes les informations nécessaires à leur résolution ne sont pas énoncées (Bourgeois-Bougrine et al., 2018; Eastman, 1969; Simon, 1977) et leurs objectifs ne sont pas clairement donnés (Eastman, 1969). On les caractérise d'ouverts, car ils n'admettent pas de solution

unique, mais une multitude de solutions dont l'appréciation n'est pas universelle (Bonnardel & Lubart, 2019; Bourgeois-Bougrine et al., 2018). Il s'agit donc de problèmes dont la spécification ou la définition est incomplète et pour lesquelles plusieurs solutions peuvent être proposées. La conséquence de cette définition floue est que la représentation des concepteurs à propos du problème et de l'artefact à concevoir est incomplète et imprécise (Bonnardel, 2009, 2012). Pour résoudre le problème et définir l'artefact, le concepteur va devoir faire évoluer cette représentation du problème, il va devoir le redéfinir, notamment sur la base de ses connaissances et expériences (Bonnardel, 2000, 2009; Eastman, 1969).

On parle de conception créative (*creative design*) pour définir ces activités de conception non routinières, c'est-à-dire qui portent sur la conception d'artefacts qui ne sont pas déjà développés et pour lesquels la conception n'est pas possible en appliquant des schémas de conception prédéfinis (Bonnardel, 2009; Eastman, 1969). Cette notion de créativité est induite par le problème de conception dont l'objet est nouveau, ce qui implique, en plus de générer des solutions qui répondent au problème, de générer des solutions qui sont inédites.

Dans le cas de l'ergonomie prospective, la définition d'artefacts porte sur des idées, des concepts incomplets dont la production nécessite d'être créatif.

2.1.2 L'implémentation des besoins futurs : une tâche difficile pour les utilisateurs et les concepteurs

Dans la définition d'idées d'artefacts futurs, les besoins des utilisateurs visent à la fois à inspirer des idées d'artefacts nouvelles et à déterminer les conditions qui feront que ces artefacts seront adaptés aux utilisateurs. Les utilisateurs présentent des difficultés à réaliser cet exercice car ils :

- N'ont pas une connaissance suffisante du domaine cible, nécessaire à la définition d'idées pertinentes (Borillo & Goulette, 2002) ;
- Évoquent parfois des idées infaisables (Van Schaik, 1999).

Les concepteurs semblent être les plus à même d'implémenter les besoins futurs préalablement identifiés dans la définition d'idées d'artefacts. Cependant, ils présentent des limitations qui sont dues aux faits qu'ils :

- Se focalisent sur les aspects technologiques, en particulier dans les projets de développement de technologies émergentes qui sont pour les concepteurs le moyen d'exprimer leurs succès techniques (Anastassova, 2006; Anastassova et al., 2007) ;
- Ont du mal à accepter et intégrer les utilisateurs avant la fin de la conception, car ils les perçoivent comme conservateurs et résistants au changement (Loup-Escande et al., 2014)
- Sont victimes de l'effet de conformité (*design fixation*), c'est-à-dire qu'ils se fient trop à leur connaissances actuelles du domaine concernant les artefacts et les utilisateurs, ce qui limite leur capacité à imaginer des idées de solutions nouvelles (Dane, 2010; Kristensson et al., 2002; Youmans & Arciszewski, 2014). Le recours à des méthodes rétrospectives d'analyse des besoins est notamment montré du doigt (Nelson et al., 2013).

La définition d'idées d'artefacts futurs requiert donc de nouvelles méthodes et connaissances pour surmonter ces limitations.

2.2. Des processus cognitifs pour favoriser la créativité

2.2.1 La créativité une capacité adaptative

On peut définir la créativité comme la capacité à générer une idée ou une production nouvelle, adaptée à son contexte et qui a de la valeur (Bonnardel & Pichot, 2020; Bonnardel, 2009; Hennessey & Amabile, 2010). La créativité est considérée comme une caractéristique adaptative individuelle, qui permet aux individus d'assurer leur survie à travers la résolution de problèmes leur permettant d'assurer des activités vitales (ex. accéder à la nourriture, se protéger) et de s'adapter à leur environnement (Bonetto et al., 2021). Cependant, pour obtenir des solutions nouvelles, les activités créatives nécessitent d'aller à l'encontre de comportements ou règles ayant valeur de standard par le groupe social. Elles peuvent donc être aussi à l'origine de conséquences négatives pour l'individu (ex. exclusion) qui peuvent entraîner des répercussion négatives sur sa survie (ex. difficulté d'accéder à la nourriture). Pour Bonetto et al. (2021), ce paradoxe s'explique par la nécessité d'un compromis entre stabilité et exploration, entre une recherche de sécurité et de nouveauté.

2.2.2 L'amplification de la créativité

Dans le cas de la conception conceptuelle, on fait alors appel à la créativité du concepteur pour qu'il définisse des idées qui sont nouvelles, qui respectent les contraintes du problème de conception et qui sont adaptées aux utilisateurs (Bonnardel, 2009, 2012; Bonnardel & Pichot, 2020; Bonnardel, 2009). Par ailleurs, il existe un lien entre créativité et innovation. L'innovation consistant en l'adoption d'une invention par les utilisateurs, la recherche d'idées créatives – c'est-à-dire nouvelles, adaptées et qui ont une valeur – s'inscrit directement dans cet objectif. La recherche d'idées créatives permettrait d'identifier des idées disruptives apportant une innovation radicale, car la créativité permettrait de changer de paradigme de conception (Bourgeois-Bougrine et al., 2018).

Cette étape de conception conceptuelle, qui nécessite de résoudre un problème mal défini, pose deux questions au concepteur : il doit d'abord redéfinir un problème de conception qui est mal défini, puis il doit ensuite trouver des idées qui sont nouvelles et adaptées (Bonnardel, 2012). Cela passe par l'évolution de la représentation du problème et de l'artefact par le concepteur, il doit compléter une représentation qui est à l'origine approximative (Bonnardel et al., 2015). Pour cela, il doit définir des contraintes appropriées pour circonscrire sa représentation du problème, appelée : « espace problème » (*space problem*) (Bonnardel, 2009; Eastman, 1969) et étendre sa représentation des solutions qui peuvent s'appliquer au problème de conception, appelée : espace de recherche (*search space* ou *solution space*) (Bonnardel, 2012). Ces deux activités sont supportées par deux processus cognitifs : la gestion de contraintes et le raisonnement analogique (Bonnardel, 2009).

La gestion de contraintes

Ce processus a pour objectif la redéfinition de l'espace problème par la définition de contraintes de conception. Ces contraintes permettent au concepteur d'enrichir et de délimiter sa représentation du problème (Bonnardel, 2009). C'est le respect de ces contraintes qui permet à l'artefact créé d'être adapté à son contexte et à ses utilisateurs (Bonnardel, 2009, 2012). En ce sens, les contraintes ont aussi pour objectifs de restreindre ou de redéfinir l'espace de recherche, pour conserver les solutions qui sont adaptées (Bonnardel, 2009). Les contraintes peuvent être (Bonnardel, 2012; Bonnardel & Lubart, 2019) :

- Externes ou prescrites : ce sont des contraintes qui proviennent de l'énoncé du problème de conception, elles peuvent être explicites lorsqu'elles sont directement énoncées ou implicites lorsqu'elles sont induites par des éléments qui définissent le problème ;
- Internes ou construites : ce sont des contraintes issues des connaissances et de l'expérience du concepteur ;
- Dédouées : ce sont des contraintes qui proviennent de l'analyse par le concepteur de contraintes préalablement définies.

Ainsi, le concepteur redéfinit sa représentation du problème de conception et de l'artefact à concevoir en ajoutant des contraintes à celles qui lui sont prescrites. Ces contraintes sont des informations qu'il prend en compte de façon consciente ou non (Bonnardel & Lubart, 2019) et qui lui permettent d'enrichir sa représentation du problème de conception et de délimiter les solutions qu'il envisage.

Le raisonnement analogique

Ce processus vise à étendre l'espace de recherche à des domaines ou des idées qui ne sont pas nécessairement liés au problème de conception, mais qui peuvent inspirer la génération de nouvelles idées (Bonnardel, 2009). Ce transfert par analogie favorise la génération d'idées par le transfert de caractéristiques de la source d'inspiration vers l'artefact à concevoir (Bonnardel, 2009). Il a été montré que ce type de raisonnement fonctionne dans le cas où les sources d'inspirations sont interdomaines – qu'elles proviennent d'un autre domaine que celui sur lequel porte le problème de conception (Bonnardel, 2000; Bonnardel, 2009), alors qu'il est à l'origine d'un effet de conformité lorsque les sources sont intradomaines – qu'elles proviennent du domaine sur lequel porte le problème de conception (Bonnardel & Lubart, 2019).

Ces deux processus cognitifs, la gestion de contraintes et le raisonnement analogique permettent au concepteur de faire évoluer sa représentation de l'espace problème et de l'espace de recherche. Ils permettent la redéfinition de l'espace problème, l'ouverture et la délimitation de l'espace de recherche. La gestion de contraintes guide la résolution du problème et le raisonnement analogique inspire la recherche d'idées nouvelles. Ces processus sont en interaction continue lors du processus créatif, dans des phases de pensée divergente dont l'objectif est de rechercher un grand nombre

d'idées de manière ouverte, et des phases de pensée convergente dont l'objectif est de réduire l'espace de recherche pour élaborer des idées adaptées (Bonnardel & Lubart, 2019).

2.3. Des méthodes et outils pour favoriser la génération d'idées d'artefacts

Pour faciliter la définition d'idées d'artefacts futurs, la créativité des individus peut être améliorée par des processus cognitifs spécifiques. Dans cet objectif, il est aussi possible de mettre en place des outils et méthodes structurés.

Le brainstorming : le brainstorming est une méthode classique qui consiste à générer en groupe et sous la supervision d'un animateur, des idées qui répondent à un problème posé (Osborn, 1957). Cette méthode consiste dans un premier temps à proposer aux participants de générer un grand nombre d'idées librement. Ensuite, une deuxième phase de génération d'idées plus structurée peut être proposée, elle repose sur des méthodes qui visent à transformer les idées précédemment générées (ex. « Est-il possible de combiner deux idées ? »). Enfin les idées sont évaluées par les participants pour être sélectionnées. Cette méthode repose sur l'idée que générer un grand nombre d'idées engendre nécessairement la génération d'idées originales. Cependant, il a été montré que la génération d'idées peut être gênée par le groupe et donc entraîner une perte de la quantité et qualité des idées émises (Nijstad et al., 2003). En effet, les participants peuvent par exemple avoir peur que leurs idées soient jugées négativement par les autres participants (Nemeth & Nemeth-Brown, 2003). Pour répondre à cette critique, le brainstorming peut se réaliser dans un premier temps individuellement. Cette méthode connaît d'autres variantes, elle peut être réalisée en ligne ou encore de façon dessinée (*braindrawing*).

L'atelier C-K : l'atelier C-K est issu de la théorie C-K (*Concept-Knowledge*). Cette théorie de la conception soutient que le raisonnement de conception peut être représenté par deux espaces logiques, l'espace C (*concept*) et l'espace K (*knowledge*), et les interactions qu'ils entretiennent (Hatchuel & Weil, 2009). L'espace K contient l'ensemble des connaissances en rapport avec le projet, et l'espace C contient la ou les propositions de concepts d'artefacts. Lors de l'atelier C-K, il s'agit d'étendre de façon concomitantes ces deux espaces. Les connaissances sont à l'origine de

nouvelles idées de concepts et les nouveaux concepts nécessitent d'acquérir de nouvelles connaissances.

TRIZ : la Théorie de Résolution des Problèmes Inventifs (du russe *Teorija Reshenija Izobretateliskih Zadatch*) (Altshuller, 1996) considère que les concepteurs sont bloqués par une inertie psychologique qui provient de leurs connaissances du domaine et du problème à résoudre. Cette inertie les empêcherait d'identifier la solution optimale au problème qu'ils rencontrent. L'approche proposée dans TRIZ se déroule en trois temps. D'abord, les concepteurs doivent reformuler le problème de façon générique de manière à ce qu'il ne soit plus spécifique du domaine ou de la discipline. Ensuite, ils doivent résoudre le problème générique à l'aide d'outils proposés par TRIZ, qui permettent d'identifier des solutions et stratégies génériques ou qui proviennent d'autres disciplines ou domaines, qui permettront alors de résoudre le problème générique. Enfin, la solution trouvée au problème générique est traduite en des termes qui permettent de résoudre le problème spécifique.

Environnement virtuel propice à la créativité : il est possible d'exposer des individus à des environnements qui favorisent la créativité. Guegan et al. (2017) ont par exemple réalisés une expérience dans laquelle des participants étaient exposés à un environnement virtuel qui avait des caractéristiques susceptibles d'améliorer la créativité (ex. bibliothèque, vue sur un paysage naturel). Leurs résultats indiquent que les participants exposés à cet environnement ont produit plus d'idées originales à une tâche de pensée divergente que le groupe contrôle. Dans une autre étude, Nelson et Guegan (2019) ont montré que les participants produisent des idées en relation avec les thèmes des environnements virtuels (ex. environnement sous-marin) auxquels ils étaient exposés. Ainsi, les individus utilisent ces environnements comme sources d'inspiration.

Environnement numérique de conception : les environnements numériques de conception sont des logiciels qui visent à soutenir la créativité des concepteurs. Ces logiciels proposent à leurs utilisateurs de soutenir l'idéation d'idées nouvelles en leur permettant d'élargir leur espace de recherche à travers des suggestions portant sur des domaines différents (Bonnardel & Bouchard, 2014). Le logiciel SKIPPI propose par exemple d'explorer ces domaines à travers des mots, et le logiciel TRENDS à travers des images. La présentation de ces stimuli inter-domaines permettant aux concepteurs de faire émerger des idées créatives.

Le persona : Il est possible d'utiliser les personas pour anticiper des besoins utilisateurs, aider la définition de l'artefact à concevoir ou pour évaluer l'artefact conçu ou en cours de conception (Pruitt & Adlin, 2006). Lorsqu'ils sont utilisés pour la définition d'artefacts, les personas sont considérés comme des outils cognitifs favorisant la créativité, car ils permettent la gestion de contraintes et le changement de perspective, à travers la communication d'un modèle d'utilisateur (Bornet & Brangier, 2013). La gestion de contraintes permet de réduire l'espace problème pour mieux comprendre le problème de conception et aider à la recherche d'idées adaptées. Tandis que le changement de perspective permet au concepteur d'envisager le monde du point de vue de l'utilisateur, ce qui facilite sa compréhension des utilisateurs et motive leur prise en compte dans la conception (Brangier et al., 2012). Par ailleurs, les personas ont l'avantage de permettre de prendre en compte des utilisateurs qui ne sont pas accessibles (Bornet & Brangier, 2013). Plusieurs études ont montré un effet positif des personas sur la créativité, notamment lors de son utilisation avec d'autres méthodes. Dans une étude en contexte écologique, qui portait sur l'amélioration d'une bibliothèque numérique, Brangier et Bornet (2012) ont montré que les experts ont produit plus d'idées, des idées plus originales et qui portaient sur plus de domaines différents lorsqu'on leur présentait des personas et les fonctions de la bibliothèque, que lorsqu'il ne leur était pas présenté de matériel spécifique. Lors d'entretiens réalisés à la suite de la génération d'idées, les participants indiquent que l'utilisation de personas a été un exercice qui était contraignant. Dans une autre étude Bornet & Brangier (2016) ont comparé la génération d'idées chez un groupe à qui l'analyse de l'activité était présentée dans un format écrit classique, à un groupe chez qui l'analyse de l'activité était présentée sous la forme de personas. Ils ne retrouvent pas de résultats significatifs concernant le nombre d'idées émises, l'originalité des idées et le nombre de thèmes qu'elles adressent. Cependant, ils observent que les idées sélectionnées par le client proviennent en grande majorité du groupe avec persona. So et Joo (2017) ont testé l'efficacité du persona en tant qu'amorce pour une tâche créative (brainstorming). Les participants dans la condition persona se voyaient présenter un persona avant de réaliser le brainstorming, mais ne pouvaient pas l'utiliser pour faire le brainstorming. Leurs résultats montrent que les participants qui étaient amorcés avec un persona, produisent des idées plus originales que les participants dans la condition contrôle. Enfin, Bonnardel et Pichot (2020) ont comparé la différence à une tâche de créativité réalisée en condition expérimentale pour des participants qui utilisaient une persona classique (ou statique)

face à des participants qui utilisaient un persona dynamique – persona représenté par un avatar et mis en action par l'expérimentateur en suivant un script. Leurs résultats indiquent un score de créativité plus important pour le persona dynamique que pour le persona classique. Cette dernière étude suggère qu'il existe des méthodes de persona plus efficaces que d'autres. Dans le cas de l'ergonomie prospective, les personas visent à permettre aux concepteurs d'appréhender des utilisateurs qui n'existent pas, en spéculant sur les besoins futurs des utilisateurs (Bornet & Brangier, 2013, 2016).

En plus des processus cognitifs favorisant la créativité et des différentes méthodes et outils permettent de soutenir la définition d'idées d'artefacts, certains individus présentent des caractéristiques qui leur confèrent une meilleure capacité à imaginer des idées d'artefacts futurs.

2.4. L'expertise du domaine et de la conception pour faciliter la génération d'idées d'artefacts

La contribution des utilisateurs étant principalement bénéfique lors des phases d'analyse des besoins et d'évaluation de l'artefact (Loup-Escande et al., 2014), la phase de définition de l'artefact est le plus souvent laissée aux concepteurs dont le rôle est d'implémenter les besoins des utilisateurs dans l'artefact (Loup-Escande & Burkhardt, 2017). Si la conception conceptuelle nécessite une certaine expertise du domaine cible (Borillo & Goulette, 2002), il apparaît que la capacité de chacun à être créatif varie (Bonnardel & Lubart, 2019; Bonnardel, 2009). En effet, la connaissance préalable du domaine apparaît être un facteur déterminant de la capacité à produire des idées créatives, tant en quantité qu'en qualité (Ardichvili et al., 2003; Arentz et al., 2013; Frederiks et al., 2019; Shepherd & DeTienne, 2005). Bonnardel et Lubart (2019) indiquent que les experts évoquent plus d'idées car ils disposent d'une « bibliothèque de cas » plus importante qui les inspire. De plus, ils sont capables d'étendre leur recherche d'idée lorsqu'on leur présente des sources interdomaines, ce qui leur permet d'être plus créatifs, alors que les non-experts restent focalisés sur le domaine cible. Cependant, l'expertise et la connaissance préalable du domaine sont aussi reconnues pour inhiber la recherche d'idées nouvelles (Dane, 2010; Kristensson et al., 2002), puisqu'elles favorisent la mise en place de solutions préétablies (Rudolph et al., 2009) et restreignent les idées à leur faisabilité technique (Kristensson et al., 2002). Kristensson et al. (2004)

ont trouvé que les idées générées par des experts (professionnels et utilisateurs avancés) étaient moins originales et apportaient moins de valeur que les idées générées par les utilisateurs non experts. Cependant les idées des profils experts étaient plus faisables. Par ailleurs, Bonnardel (2000) a montré que l'expertise de la conception – et pas seulement du domaine – revêt aussi une importance. Dans cette étude, l'auteure trouve que les experts en conception (designers) ont une approche plus générale de la conception que des étudiants dans ce domaine.

La recherche d'idées créatives par les concepteurs nécessite à la fois des connaissances du domaine et une expertise en conception. Cependant, ces connaissances peuvent être à l'origine d'un effet de conformité, qui ne favorise pas la génération d'idées nouvelles. Néanmoins, il est possible de mettre en place des méthodes qui permettent de supporter la créativité et d'éviter l'effet de conformité chez les experts.

3. Synthèse du chapitre 3

La conception exploratoire future a pour finalité la définition de concepts d'artefacts futurs inspirés des besoins futurs des utilisateurs. Ces concepts sont des idées préliminaires d'artefacts qui servent de premières spécifications pour une conception potentielle et ultérieure. Cette phase de conception exploratoire future se décompose en deux étapes.

La première étape l'anticipation de besoins futurs, part du principe que les besoins futurs des utilisateurs sont des constructions mentales qui correspondent à l'opérationnalisation de besoins fondamentaux pragmatiques et hédoniques dans un contexte futur, pour un utilisateur ; et que leur anticipation consiste à les développer et à les identifier prématurément. Cependant, les utilisateurs sont limités dans leur capacité d'anticipation par une représentation du futur pauvre, et les concepteurs par une représentation des utilisateurs qui ne correspond pas forcément avec la réalité des utilisateurs. Pour s'affranchir de ces limites, la cognition orientée futur peut être amplifiée pour améliorer la représentation du futur et construire des expériences futures qui peuvent être préexpérimentées, afin de faciliter la représentation de besoins futurs. Il existe également des méthodes pour faciliter l'anticipation de besoins futurs. Elles se basent sur l'implication directe des utilisateurs ou font appel aux seuls experts. Enfin, certains individus, les utilisateurs précurseurs et

les experts scientifiques ou techniques, présentent des caractéristiques qui devraient faciliter l'anticipation de besoins futurs.

La seconde étape de définition d'idées d'artefacts futurs vise à implémenter les besoins futurs préalablement identifiés, dans des concepts d'artefacts. Cette étape implique la recherche de nouveauté en plus de la recherche d'idées adaptées. Ce contexte de conception où le problème est mal défini et admet de multiples solutions, nécessite d'être créatif pour générer des idées nouvelles, adaptées et qui ont de la valeur. Pour cette étape aussi, les utilisateurs et les concepteurs sont confrontés à des difficultés. Les utilisateurs n'ont pas les connaissances suffisantes et les concepteurs ont des difficultés à intégrer les utilisateurs, se focalisent sur les aspects techniques et ont tendances à se restreindre à leurs connaissances actuelles des utilisateurs et de l'artefacts. Pour limiter ces difficultés, il est possible d'amplifier la créativité des concepteurs en favorisant la gestion de contraintes et le raisonnement par analogie. Il existe aussi des méthodes structurées et des outils qui visent à favoriser la génération d'idées d'artefacts. Enfin, l'expertise du domaine et l'expertise de la conception sont reconnues pour être des éléments permettant de faciliter le développement d'idées d'artefacts, même si elles peuvent être à l'origine d'un effet de conformité. Ainsi, l'ergonomie prospective repose sur deux étapes majeures : l'anticipation de besoins futurs des utilisateurs et la définition d'idées d'artefacts futurs. Les utilisateurs et les concepteurs présentent des limites qui contraignent leur capacité à réaliser ces tâches. Néanmoins, certaines méthodes, l'amplification de processus cognitifs et le recours à certains profils d'individus pourraient faciliter la réalisation de ces tâches.

Le chapitre suivant articule ces trois chapitres théoriques afin de formuler la problématique de ce travail de recherche.

Chapitre 4

Problématique

Résumé du chapitre

Ce chapitre constitue la problématique de ce travail de recherche. Dans un premier temps, il propose un bilan du cadre théorique réalisé à travers les chapitres 1, 2 et 3. Dans un deuxième temps, il décrit les questions de recherche méthodologiques et appliquées à l'hydrogène énergie, que nous cherchons à instruire ; et les propositions que nous formulons. Dans un troisième temps, ce chapitre décrit la démarche de recherche entreprise pour instruire ces questions de recherche.

1. Bilan du cadre théorique

La demande pour des projets orientés sur la conception d'artefacts futurs se développe et a conduit à la formalisation d'une nouvelle modalité d'intervention : l'ergonomie prospective. Ce mode d'intervention se place dans une vision non prédictible du futur, il propose de tenter de percevoir et d'imaginer des futurs réalistes et pertinents qui peuvent advenir. L'ergonomie prospective s'inscrit dans une approche de conception foncièrement centrée sur l'utilisateur, puisqu'elle propose que les connaissances sur les utilisateurs futurs soient le point de départ des projets de conception. L'ergonomie intègre donc la phase amont et est tournée vers le futur de la conception exploratoire future. Cette phase consiste à définir à partir de besoins futurs des utilisateurs, des concepts préliminaires d'artefacts futurs qui feront éventuellement l'objet d'une conception ultérieure. La conception exploratoire future s'articule donc en deux étapes (1) l'anticipation de besoins futurs et (2) la définition d'idées d'artefacts futurs.

Dans une approche de conception centrée sur l'utilisateur, l'identification des besoins des utilisateurs et leur intégration dans la conception est importante. Elle vise à enrichir les représentations qu'ont les concepteurs des utilisateurs et de leur activité, afin de leur permettre de concevoir des artefacts adaptés. Les besoins des utilisateurs fondamentaux sont de nature

pragmatique – ils sont liés à l'activité et à l'interaction avec l'artefact – et de nature hédonique – ils sont liés au développement psychologique et social de l'individu. En ergonomie nous nous intéressons à des besoins plus microscopiques que l'on peut appeler besoins généraux et détaillés. Ces besoins sont une opérationnalisation des besoins fondamentaux auprès d'un utilisateur, dans une situation d'utilisation donnée et avec un artefact en particulier. L'analyse de l'expérience utilisateur pour identifier les besoins permet à la fois d'accéder à des aspects pragmatiques et hédoniques ; et permet aussi d'accéder à des situations non observables. L'analyse de l'expérience utilisateur est une approche qui permet à la fois une approche globale des besoins et une approche prospective puisqu'elle est dynamique et peut être anticipée. Ceci peut être d'une grande importance lorsque les situations d'utilisations ou les artefacts n'existent pas. Cette approche paraît donc particulièrement pertinente pour l'analyse de besoins futurs. Cette notion de besoins futurs est rendue possible par le fait que les besoins généraux et détaillés (les besoins fondamentaux sont stables) sont dynamiques, c'est-à-dire qu'ils varient en fonction de l'artefact, de la situation d'utilisation, de l'environnement social et de la représentation que se fait l'utilisateur de ces éléments. On considère donc les besoins futurs comme étant une construction mentale qui correspond à l'opérationnalisation de besoins fondamentaux pragmatiques et hédoniques dans un contexte futur, par un utilisateur. Leur anticipation consiste à les développer et à les identifier prématurément. Toutefois, l'anticipation de besoins futurs est rendue difficile dans la mesure où les utilisateurs ont une représentation pauvre du futur, des artefacts et activités futurs ; et que les concepteurs ont une représentation des utilisateurs qui ne correspond pas nécessairement à la réalité et qu'ils se basent sur l'analyse de situations présentes pour inférer des besoins futurs. L'intégration des besoins futurs dans l'implémentation d'idées d'artefacts est aussi problématique. En effet, les utilisateurs n'ont pas les connaissances suffisantes. Les concepteurs ont des difficultés à intégrer les utilisateurs, se focalisent sur les aspects techniques et ont tendance à se restreindre à leurs connaissances actuelles des utilisateurs et de l'artefact.

Différents moyens d'amplification cognitif, méthodologique ou encore liés aux profils des participants existent pour surmonter les difficultés inhérentes à ces 2 étapes de conception exploratoire future. Néanmoins, leur étude n'est pas exhaustive et nécessite d'être approfondie. Notamment en ce qui concerne (1) l'implication des utilisateurs à l'anticipation de besoins futurs

pour des artefacts qui n'existent pas et (2) l'intégration directe des besoins futurs des utilisateurs dans la définition d'artefacts futurs.

Concernant l'implication des utilisateurs à l'anticipation de besoins, il apparaît que les méthodes concernant l'anticipation de besoins pour des artefacts qui n'existent pas, repose plutôt sur l'implication d'experts ou de concepteurs. Non sans raison, puisque les utilisateurs sont fortement limités dans leur capacité de se représenter le futur et leur interaction avec un artefact qui n'existe pas. Des méthodes d'anticipation impliquant les utilisateurs existent, mais elles nécessitent majoritairement l'existence d'un prototype ou tout autre forme de représentation intermédiaire de l'artefact. Cette approche d'anticipation des besoins futurs pour un artefact qui n'existe pas n'est pas satisfaisante car elle ne permet d'accéder à des besoins futurs que sur la base d'inférences faites par les concepteurs à partir de leurs connaissances des utilisateurs. Qui plus est, les utilisateurs sont reconnus pour être particulièrement bénéfiques à la conception lors de l'analyse des besoins.

En ce qui concerne l'intégration directe des besoins futurs des utilisateurs dans la définition d'artefacts futurs, les méthodes de créativité utilisées reposent parfois sur l'intégration dans la phase de définition de concepts d'artefacts, de besoins présents des utilisateurs, sur la base desquels les concepteurs doivent spéculer pour inférer des besoins futurs. Cette approche pose deux problèmes, celui de la justesse de l'inférence des besoins par les concepteurs et celui du risque de limiter la créativité des concepteurs à des idées qui répondent aux besoins présents.

2. Questions de recherche méthodologiques

Ainsi, cette thèse a pour objectif de répondre à la question de recherche d'ordre méthodologique suivante : **comment l'ergonomie prospective peut-elle soutenir une idéation centrée sur les utilisateurs futurs lors de la phase de conception exploratoire future ?**

Cette question de recherche peut être scindée en deux sous-questions :

- **Question de recherche méthodologique 1** : Comment soutenir l'idéation de besoins futurs des utilisateurs par les utilisateurs ?
- **Question de recherche méthodologique 2** : Comment soutenir l'idéation par les concepteurs, de concepts d'artefacts qui répondent aux besoins futurs des utilisateurs ?

Ce travail de recherche défend la thèse selon laquelle l'implication des utilisateurs à l'anticipation de besoins est nécessaire pour identifier des besoins futurs qui correspondent à une réalité potentielle des utilisateurs. Pour cela il est possible de mobiliser des utilisateurs au profil particulier et de les placer dans une situation d'idéation favorisant la représentation d'expériences futures probables, rendant ainsi l'accès aux besoins futurs possible via l'analyse de l'expérience utilisateur. Recueillir les besoins futurs des utilisateurs auprès de ces derniers permet aussi de les injecter directement dans la définition de concepts d'artefacts pour actualiser la représentation des concepteurs et favoriser la génération d'idées nouvelles et adaptées aux futurs utilisateurs.

2.1. Description de la méthodologie de conception exploratoire future

Dans cette logique, ce travail cherche à évaluer une proposition de méthodologie de conception exploratoire future qui repose sur l'implication d'utilisateurs précurseurs dans le cadre d'entretiens d'anticipation des besoins, pour l'anticipation de besoins futurs et sur le recours à la méthode du persona prospectif avec des experts du domaine, pour la définition d'idées d'artefacts futurs (voir Figure 12).

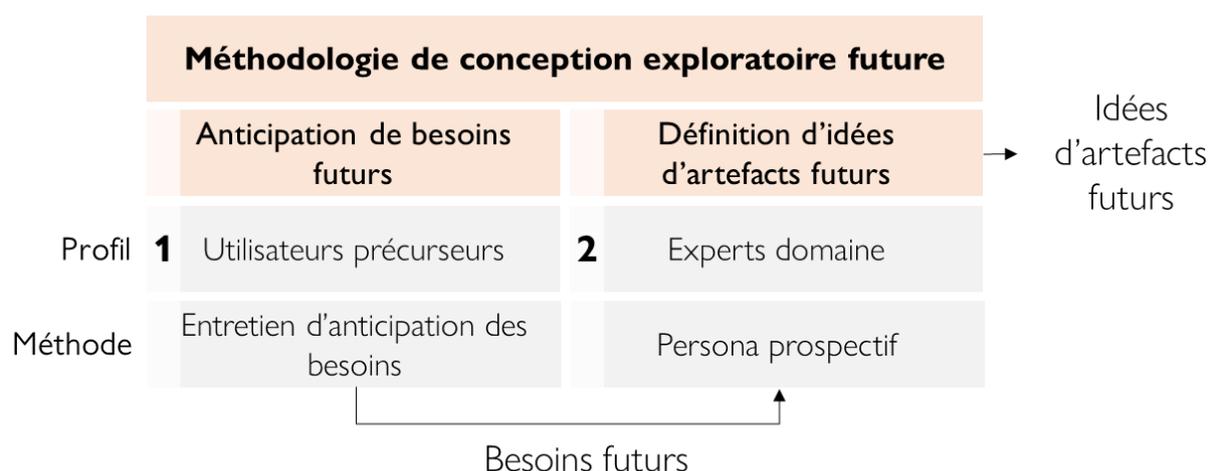


Figure 12 : Proposition de méthodologie de conception exploratoire future

Cette méthodologie s'inscrit dans une approche d'analyse des besoins futurs avec des utilisateurs, qui sont par ailleurs rares et dont la participation à l'ensemble du processus de conception exploratoire future peut être de fait plus contraignante ou impossible. La définition des idées d'artefacts sur la base des besoins futurs analysés, est ainsi laissée à des concepteurs ayant une connaissance du domaine et le recours au persona permet donc de prendre en compte des utilisateurs qui ne sont pas disponibles à cette étape de conception.

2.2. Description de la méthode du persona prospectif

Dans le cas de l'ergonomie prospective, les personas visent à permettre aux concepteurs d'appréhender des utilisateurs qui n'existent pas (Bornet & Brangier, 2013, 2016). Néanmoins, La littérature rapporte l'utilisation de personas ordinaires – qui correspondent à des utilisateurs présents et qui n'ont pas de caractéristiques extraordinaires – pour spéculer sur les besoins et les activités futurs des utilisateurs afin de générer de nouvelles idées d'artefacts (Barré et al., 2018; Bonnardel & Pichot, 2020; Bornet & Brangier, 2013, 2016; Brangier et al., 2012; Brangier, Vivian et al., 2019). Nous proposons donc d'introduire l'usage du persona prospectif. Nous définissons le persona prospectif comme un persona ayant la spécificité de représenter des utilisateurs futurs. Il est construit sur la base de données collectées auprès d'utilisateurs précurseurs sur leurs besoins présents et futurs. Il s'agit de passer d'un paradigme dans lequel nous proposons aux concepteurs, pour créer des artefacts nouveaux et adaptés, d'anticiper les besoins des futurs utilisateurs par spéculation, à un paradigme dans lequel nous décrivons aux concepteurs des besoins futurs et des utilisateurs futurs. Étant donné que les concepteurs ont (1) une représentation de l'artefact et de son utilisation par l'utilisateur qui ne correspond pas nécessairement à la réalité, (2) qu'ils ont plutôt une représentation qui correspond à des rétrospectives sur les usages, (3) que leurs représentations de l'espace problème notamment concernant les besoins futurs des utilisateurs est vague, et (4) qu'ils ont du mal à prendre en compte les utilisateurs dans la conception d'artefact émergeant, le persona prospectif semble être une piste prometteuse pour passer outre ces freins. En effet, le persona est un outil qui permet de communiquer les données issues de la recherche utilisateur afin de permettre aux concepteurs de se représenter les utilisateurs et leurs besoins. Dans le cas du persona prospectif, il doit faciliter la créativité en permettant au concepteur d'améliorer sa représentation d'un problème futur par l'ajout de contraintes qui portent sur le

futur, et il doit faciliter la prise en compte de l'utilisateur par le concepteur grâce au changement de perspective.

2.3. Hypothèses méthodologiques

Cette méthodologie repose sur deux hypothèses concernant les deux étapes de la conception exploratoire future :

- **Hypothèse liée à l'anticipation de besoins futurs** : Les utilisateurs précurseurs expérimentent avant les autres des activités et des artefacts, leur permettant de développer précocement une expertise et des besoins concernant des activités et artefacts qui seront expérimentés par la majorité des utilisateurs dans le futur. Par leur expertise d'usage, ils devraient aussi développer des représentations du domaine, des activités et des artefacts riches, qui peuvent leur fournir la capacité d'anticiper des besoins futurs. L'implication des utilisateurs précurseurs à l'anticipation de besoins futurs devrait permettre d'identifier des besoins qu'ils expérimentent actuellement et qui peuvent être considérés comme des besoins futurs des utilisateurs et devrait permettre de générer de nouvelles idées de besoins futurs.
- **Hypothèse liée à la définition d'idées d'artefacts futurs** : Le persona prospectif doit permettre de favoriser la prise en compte des besoins futurs des utilisateurs par les concepteurs – grâce au changement de perspective – et l'enrichissement de la représentation qu'ont les concepteurs de ces besoins – grâce à la gestion de contraintes –, par la description de futurs utilisateurs et de leurs besoins. Dans la mesure où le persona prospectif décrit des besoins et activités futurs, moins accessibles et donc peu connus des concepteurs, l'utilisation du persona prospectif lors de la définition d'idées d'artefacts futurs doit permettre de générer des idées d'artefacts nouvelles et adaptées, c'est-à-dire qui répondent aux besoins futurs des utilisateurs.

3. Questions de recherche appliquées à l'hydrogène énergie

Cette thèse cherche aussi à instruire la question de l'hydrogène énergie dans la transition énergétique, en prenant une perspective centrée sur l'utilisateur.

Les technologies de l'hydrogène énergie sont dans leur grande majorité des technologies émergentes (Ogawa et al., 2018; World Energy Council, 2020) et elles s'intégreront dans les systèmes énergétiques futurs. Concernant cet objet d'étude, le rôle de l'ergonomie prospective est d'étudier en amont les questions relatives aux utilisateurs de ces futurs systèmes énergétiques.

Cette thèse vise donc aussi à répondre aux questions de recherche appliquées suivantes :

- **Question de recherche appliquée 1** : Quels sont les besoins futurs des utilisateurs liés à l'hydrogène énergie ?
- **Question de recherche appliquée 2** : Quels concepts d'artefacts futurs intégrant l'hydrogène énergie peut-il être pertinent de concevoir ?

Pour répondre à ces questions, la méthodologie de conception exploratoire future évaluée dans ce travail, est appliquée au cas de l'hydrogène énergie.

4. Démarche de recherche

4.1. Présentation générale des études

Le versant empirique de ce travail de recherche s'articule autour de trois études, qui avaient pour objectifs de répondre à la fois aux objectifs scientifiques méthodologiques – relatifs à l'ergonomie prospective – et appliqués – relatifs à l'hydrogène énergie (voir Tableau 4). Pour ce faire, ces 3 études déclinent la méthodologie de conception exploratoire future que nous proposons et l'applique à l'hydrogène énergie. Une étape préalable au déroulement de cette méthodologie a été ajoutée, il s'agit de la formulation de la demande appliquée que doit résoudre cette intervention ergonomique. En effet, compte tenu du caractère à priori non défini et imprécis de l'objet d'étude appliqué de ce travail de recherche, la formulation de la demande, c'est-à-dire la définition et construction de l'objet d'étude par l'ergonome, a dû être réalisée.

Tableau 4 : Synthèse des études

	Objectif	Méthodologie	Condition de recueil des données
<p>Étude 1 : Les utilisateurs dans la conception de systèmes énergétiques intégrant l'hydrogène énergie</p>	<p>Méthodologique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proposer une méthode de formulation ou d'initiation de la demande en ergonomie prospective <p>Appliqué</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définir l'objet d'étude appliqué du travail de recherche - Extraire des données sur les utilisateurs et l'hydrogène énergie - Comprendre comment l'utilisateur est pris en compte dans la conception d'artefacts qui intègrent l'hydrogène énergie 	<ul style="list-style-type: none"> - Meta-analyse de 152 publications sur l'hydrogène énergie - Revue de littérature non systématique - Benchmark 	<ul style="list-style-type: none"> - Recueil numérique
<p>Étude 2 : Contribution des utilisateurs précurseurs, des utilisateurs ordinaires et des experts à l'anticipation de besoins futurs liés à l'hydrogène énergie pour l'habitat</p>	<p>Méthodologique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mesurer la contribution d'experts, d'utilisateurs précurseurs et d'utilisateurs ordinaires à l'étape d'anticipation de besoins futurs <p>Appliqué</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anticiper des besoins futurs relatifs à l'hydrogène énergie pour l'habitat 	<ul style="list-style-type: none"> - 36 entretiens d'anticipation des besoins sur le thème de l'énergie pour l'habitat, avec des experts, des utilisateurs précurseurs et des utilisateurs ordinaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Recueil en présentiel individuel (France)
<p>Étude 3 : Génération d'idées d'artefacts futurs avec la méthode du persona prospectif</p>	<p>Méthodologique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mesurer l'efficacité de la méthode du persona prospectif sur la définition d'idées d'artefacts futurs <p>Appliqué</p> <ul style="list-style-type: none"> - Générer des idées d'artefacts relatives à l'hydrogène énergie pour l'habitat 	<ul style="list-style-type: none"> - Séances de créativité individuelles réalisées avec des étudiants spécialisés dans le domaine de l'énergie et de l'habitat (conditions : persona ordinaire, persona prospectif et sans persona) 	<ul style="list-style-type: none"> - Recueil présentiel en groupe (Metz et Nancy)

Étude 1 - Les utilisateurs dans la conception de systèmes énergétiques intégrant l'hydrogène énergie (Chapitre 5) :

Cette première étude constituait en quelque sorte la formulation de la demande, qui comme cela peut être le cas en ergonomie prospective est parfois à la charge de l'ergonome. L'objectif de cette étude était triple : définir l'objet d'étude appliqué de notre travail, extraire des données sur les utilisateurs et l'hydrogène énergie, et comprendre comment l'utilisateur est pris en compte dans la conception d'artefacts qui intègrent l'hydrogène énergie. L'étude prend la forme d'une méta-analyse de la littérature scientifique (152 publications analysées). Les données recueillies ont fait l'objet d'une combinaison d'analyse lexicale et d'analyse de données manuelle. Pour approfondir la demande établie à travers la méta-analyse, une revue de littérature et un benchmark ont été effectués. Cette étude a permis de circonscrire notre objet d'étude à l'utilisation d'hydrogène énergie pour l'habitat. Elle constitue une proposition méthodologique concernant la formulation ou l'initiation d'une demande en ergonomie prospective.

Étude 2 - Contribution des utilisateurs précurseurs, des utilisateurs ordinaires et des experts à l'anticipation de besoins futurs liés à l'hydrogène énergie pour l'habitat (Chapitre 6) :

Cette deuxième étude est la contribution principale de ce travail de recherche, elle avait pour objectifs d'anticiper des besoins futurs relatifs à l'hydrogène énergie pour l'habitat, et de mesurer la contribution d'experts, d'utilisateurs précurseurs et d'utilisateurs ordinaires à l'étape d'anticipation de besoins futurs. Pour cela, 36 entretiens d'anticipation des besoins sur le thème de l'énergie pour l'habitat ont été réalisés auprès des publics concernés. Les données récoltées ont été traitées par des méthodes d'analyse lexicale et d'analyse de données manuelle, pour permettre la comparaison de chaque profil de participants à la phase d'anticipation des besoins. Cette étude cherche à répondre à la première question de recherche méthodologique : comment soutenir l'idéation de besoins futurs des utilisateurs par les utilisateurs ?

Étude 3 - Génération d'idées d'artefacts futurs avec la méthode du persona prospectif (Chapitre 7) :

La troisième et dernière étude visait à générer des idées d'artefacts relatives à l'hydrogène énergie pour l'habitat, et à mesurer l'efficacité de la méthode du persona prospectif sur la définition

d'artefacts futurs. L'étude a pris la forme de séances de créativité individuelles réalisées avec des étudiants spécialisés dans le domaine de l'énergie et de l'habitat. En fonction des conditions, les participants disposaient pour réaliser l'exercice d'un persona ordinaire, d'une persona prospectif ou d'aucun support. Les données recueillies ont fait l'objet de traitements statistiques permettant de comparer l'efficacité des différentes méthodes sur la créativité des productions des participants. Cette étude cherche à répondre à la seconde question de recherche méthodologique : comment soutenir l'idéation par les concepteurs, de concepts d'artefacts qui répondent aux besoins futurs des utilisateurs ?

Ces études sont consécutives, dans le sens où les premières alimentent les suivantes. Ainsi, la première étude a permis de définir l'objet d'étude appliqué sur laquelle portent les suivantes. Celle-ci a permis d'identifier des besoins futurs des utilisateurs, qui ont alimenté la construction du matériel pour la dernière étude qui visait à définir des idées d'artefacts futurs. À noter que des idées d'artefacts futurs ont aussi directement été définies par l'ergonome lors de l'étude 2 (voir Figure 13).

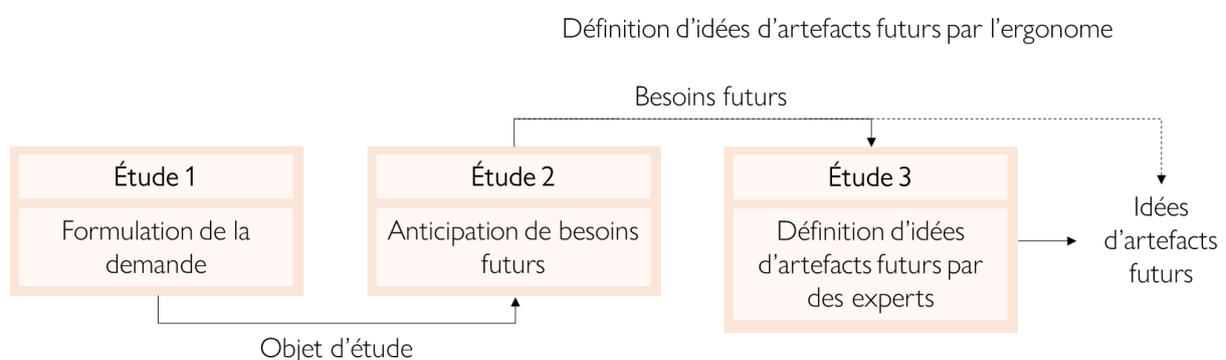


Figure 13 : Articulation des études

4.2. L'évaluation des idées qui portent sur le futur

Pour évaluer les idées issues de l'étude 2 qui portent sur des besoins futurs, et les idées issues de l'étude 3 qui portent sur des idées d'artefacts futurs, nous nous appuyons sur des indicateurs classiquement utilisés pour mesurer la créativité, c'est-à-dire le caractère nouveau et adapté des

idées. En effet, dans la phase amont d'un projet de conception, l'analyse et l'anticipation des besoins (étude 2) sont considérées comme des activités de conception pour lesquelles on recherche des idées de besoins nouveaux et adaptés au contexte futur (ou réalistes) (Bonnardel, 2012; Bonnardel & Pichot, 2020). La génération d'idées d'artefacts (étude 3) est considérée comme une activité de conception créative dont l'objectif est de générer des idées nouvelles et adaptées au contexte futur (Bonnardel & Pichot, 2020; Brangier & Robert, 2014; Robert & Brangier, 2012). Ces activités de conception sont couramment évaluées par la mesure de leur créativité (Barré et al., 2018; Bonnardel & Pichot, 2020; Bornet & Brangier, 2016). Pour l'étude 2 il s'agit de mesurer le caractère nouveau et adapté au contexte futur des idées de besoins, alors que pour l'étude 3 il s'agit de mesurer le caractère nouveau et adapté au contexte futur des idées d'artefacts. Ces indicateurs de créativité nous permettent d'un point de vue méthodologique de mesurer la qualité des productions pour éprouver nos hypothèses, et d'un point de vue appliqué à identifier les idées qui ont le plus de valeur. Pour évaluer la qualité créative des idées, nous avons suivi la méthode de Bonnardel et Pichot (2020), qui repose sur les dimensions classiques de la fluidité et de l'originalité (Torrance et al., 1966) en plus de la nouveauté, de la faisabilité et de la pertinence (Dean et al., 2006) :

- **Fluidité (nombre total d'idées produites)** ;
- **Originalité (rareté statistique des idées)** : c'est un indicateur de la rareté d'une idée utilisée pour mesurer la nouveauté d'une idée (Dean et al., 2006) ;
- **Nouveauté (caractère surprenant et réformateur des idées)** : c'est un indicateur de nouveauté qui permet de distinguer les idées surprenantes des idées communes, et les idées qui sont à l'origine d'une transformation du domaine. Dean et al. (2006) soutiennent que l'originalité est un critère insuffisant pour mesurer la nouveauté, une idée pouvant être peu évoquée, peut pour autant être tout à fait banale ;
- **Faisabilité (caractère acceptable et implémentable des idées)** : est un indicateur utilisé pour mesurer que l'idée ne viole pas des contraintes du domaine et qu'il est possible de la réaliser (Dean et al., 2006) ;
- **Pertinence (caractère applicable et efficace des idées)** : c'est un indicateur utilisé pour mesurer dans quelle mesure l'idée s'applique au problème auquel elle répond et sa capacité à répondre

au problème auquel elle se réfère (Dean et al., 2006). C'est le niveau d'adéquation entre l'idée et les objectifs auxquelles elle doit répondre. Cet indicateur permet notamment d'exclure des idées qui sont nouvelles mais qui sont étranges (Pichot, Bonnardel, et al., 2020).

Le calcul d'un score de créativité globale par la moyenne de ces différentes dimensions n'est pas recommandé, car elles sont indépendantes (Pichot, Bonetto, et al., 2020; Pichot, Bonnardel, et al., 2020).

Partie 2 - Contribution empirique

Chapitre 5

Étude 1 : Les utilisateurs dans la conception de systèmes énergétiques intégrant l'hydrogène énergie

Résumé de l'étude

Ce chapitre présente la première étude de ce travail de recherche. L'objectif de cette étude était de définir l'objet d'étude appliqué de notre travail (la demande) et d'extraire des données sur les utilisateurs et l'hydrogène, tout en questionnant la façon dont l'utilisateur est pris en compte dans la conception d'artefacts qui intègrent l'hydrogène énergie. L'étude prend la forme d'une méta-analyse de la littérature scientifique (152 publications analysées) sur l'hydrogène énergie et les utilisateurs. Les données recueillies ont fait l'objet d'une combinaison d'analyse lexicale et d'analyse de données manuelle. Dans un objectif d'approfondissement de la demande établie à travers la méta-analyse, une revue de littérature et un benchmark ont été effectués.

Ce chapitre a fait l'objet de publications et d'une communication (ci-dessous). Il en est inspiré et en comprend des extraits.

Publications et communication associées

Martin, A., Agnoletti, M-F., & Brangier, É. (2019). Hydrogen Energy Technologies' Acceptance Review and Perspective: Toward a Needs' Anticipation Approach. Dans Bagnara, S., Tartaglia, R., Albolino, S., Alexander, T. & Fujita, Y. (dirs). *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*. IEA 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 825, 638-646. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96068-5_69

Martin, A., Agnoletti, M-F., & Brangier, É. (2020). Users in the design of Hydrogen Energy Systems: A systematic review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(21), 11889–11900. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.163>

1. Contexte et questions de recherches

Dans le cas particulier de l'ergonomie prospective, la demande à laquelle doit répondre l'ergonome n'est pas nécessairement formulée (Brangier & Robert, 2014; Robert & Brangier, 2012). C'est donc à l'ergonome de la construire et de la préciser. Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre du projet ULHyS (Université de Lorraine Hydrogène Science et Technologies), dont l'ambition est d'instruire la question de l'hydrogène énergie dans la transition énergétique. Cependant, aucune demande spécifique n'est ici formulée à l'ergonome, c'est donc à lui d'être à l'initiative de la formulation de la demande. Cette première étude a donc pour objectif de faire le panorama de la situation concernant les travaux sur les utilisateurs et l'hydrogène énergie. Ce panorama doit permettre :

- D'identifier comment les recherches ont traité la question des utilisateurs dans les systèmes énergétiques à base d'hydrogène ;
- De faire un inventaire actualisé des principaux résultats concernant les utilisateurs et les systèmes énergétiques à base d'hydrogène.

Ces connaissances sont à la fois utiles pour les acteurs de l'hydrogène énergie, qui peuvent se saisir de cette synthèse pour alimenter leurs travaux, et pour la définition de la demande à laquelle notre projet de recherche doit répondre.

Cette étude s'est déroulée en deux temps. Dans un premier temps, un examen global de la demande a été réalisé à travers une méta-analyse de la littérature sur les utilisateurs et l'hydrogène énergie. À la différence des revues de la littérature existantes (Altmann et al., 2003; Huijts et al., 2012; Ricci et al., 2008; Yetano Roche et al., 2010) qui se sont concentrées sur l'acceptation de l'hydrogène énergie pour résumer les principales tendances des résultats et mettre en évidence les limites méthodologiques et théoriques des études, notre étude adopte une approche plus large et compréhensive de la littérature qui porte sur les utilisateurs et l'hydrogène énergie. Cette méta-analyse nous a permis d'identifier la demande à laquelle notre travail de recherche doit répondre. Dans un second temps, cette demande a fait l'objet d'un examen plus détaillé à travers une revue de littérature non systématique et un benchmark. Cet examen visait à approfondir la demande.

2. Méthode

2.1. Examen global de la demande : Meta-analyse des publications sur les utilisateurs et l'hydrogène énergie

2.1.1 Recueil des données

Les documents ont été recueillis par le biais de deux recherches sur les bases de données pour des publications liées aux questions de l'hydrogène énergie et des utilisateurs (voir Figure 14). Les recherches dans les bases de données ont porté sur les publications les plus anciennes enregistrées jusqu'aux publications de janvier 2018. Les recherches ont été effectuées sur les bases de données en ligne suivantes : *Academic Search Index*, *Complementary Index*, *Science direct*, *Academic OneFile*, *Psyc Info*, *BASE*, *Social Sciences Citation Index* et *Directory of Open Access Journals*. La procédure de recherche a permis d'identifier 2238 publications avec les mots clés suivants dans le titre ou le résumé : « *hydrogen* », « *fuel cell* », « *preference* », « *acceptance* », « *acceptability* », « *willingness* », « *perception* », « *attitude* », « *user needs* », « *expectation* », « *anticipation* », « *user requirements* », « *prospective* » and « *forecasting* ». Les mots clés ont été choisis sur la base du vocabulaire identifié par les revues de littérature existantes. Les doublons ont été éliminés et 1318 publications ont été exclues lors de la phase de *screening* (exclusion des publications non conformes sur la base de la lecture du titre et du résumé) et 31 lors de la phase de *scanning* (exclusion des publications non conformes sur la base de la lecture de la publication complète) :

- 1312 ne concernaient pas les utilisateurs ;
- 6 ne concernaient pas l'hydrogène énergie ;
- 8 n'étaient pas rédigées en anglais ;
- 16 n'étaient pas de nature scientifique ;
- 8 n'avaient pas de document accessible.

152 publications ont finalement été incluses dans l'étude (voir Annexe 1 : Publications incluses dans l'étude 1), dont 150 ont fait l'objet d'une analyse lexicale (2 publications n'avaient pas de résumé disponible) et 148 on fait l'objet d'une analyse de données manuelle (4 publications n'étaient pas entièrement disponibles).

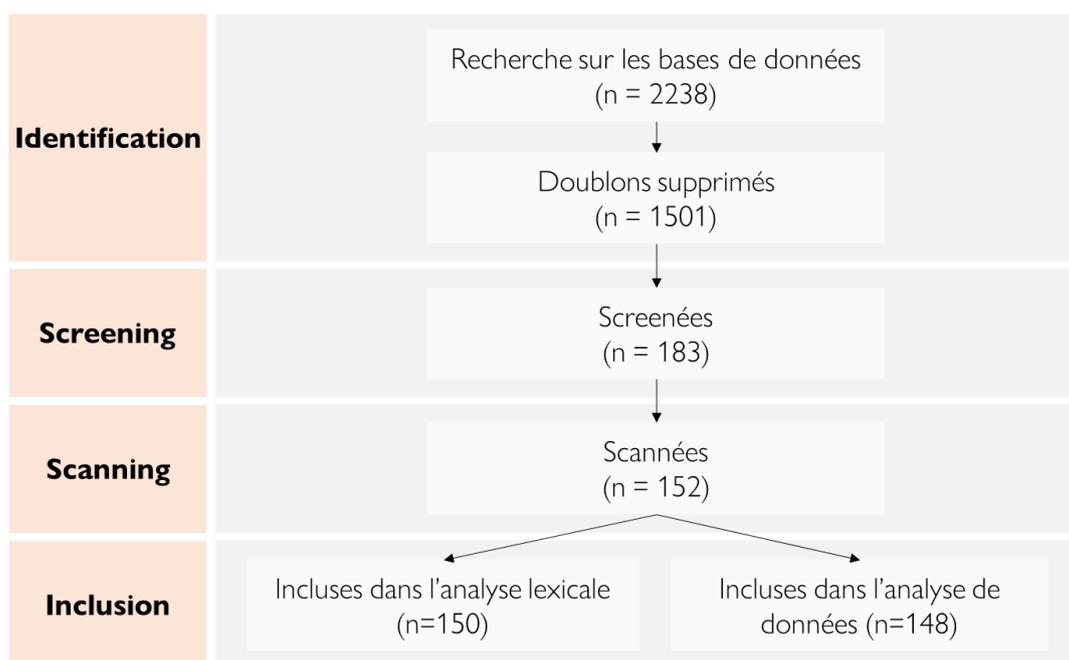


Figure 14 : Processus de recueil des données

2.1.2 Traitements

Analyse lexicale

L'analyse lexicale est une méthode dont l'objectif est de dégager et résumer les classes lexicales évoquées, la structure et l'organisation d'un corpus textuel. Ici, l'analyse lexicale est utilisée pour objectiver le lexique du texte et non pour faire une analyse lexicale au sens d'une analyse tournée vers le lexique comme objet d'étude. Cette méthode permet d'objectiver le traitement d'importants corpus de données, en s'appuyant sur les statistiques textuelles (fréquence, cooccurrence, χ^2 etc.).

L'analyse lexicale des résumés des publications a été réalisée dans le but de mettre en évidence les thèmes les plus utilisés. Nous avons choisi de limiter l'analyse aux résumés parce qu'ils constituent un résumé concis et scénarisé, mais complet, plutôt homogène et rigoureux de la publication (Crosnier, 1993).

Le logiciel d'analyse lexicale assistée par ordinateur IRaMuTeQ 7.2 a été utilisé. Il permet d'effectuer des analyses statistiques sur un corpus de textes segmentés par des balises identifiant des variables.

Tout d'abord une classification hiérarchique descendante (Reinert, 1983) a été effectuée, pour retrouver les classes lexicales structurantes du corpus. Dans cette analyse, le corpus est découpé en segments de mots, ces segments sont ensuite lemmatisés (changement des verbes à l'infinif, des noms au singulier et des adjectifs au masculin singulier), pour être ensuite regroupés de façon itérative en classes en fonction de la distribution des mots dans le corpus analysé. Les classes lexicales obtenues font ensuite l'objet d'une interprétation par l'analyste, qui vise à leur attribuer un nom. Cette interprétation est faite sur la base des mots et variables qui contribuent significativement à la classe, des segments de texte représentatifs de la classe et de l'opposition ou de la proximité de la classe avec d'autres classes. On peut considérer la classe lexicale interprétée comme un thème, dans le sens où « *le thème est ce dont parle le texte* » (Lemaire, 2002). Ainsi, les classes lexicales lorsqu'elles sont interprétées nous renseignent sur les thèmes abordés dans un corpus textuel.

Ensuite, une analyse factorielle des correspondances a été réalisée pour comprendre les facteurs de structuration du corpus. Dans cette seconde analyse les classes sont projetées sur des axes factoriels en fonction de leur inertie, afin d'identifier leurs rapprochements et leurs oppositions. Enfin, un suivi de l'évolution des thèmes extraits dans la classification hiérarchique descendante dans le temps a été fait, en suivant les mots les plus représentatifs de chaque classe pour chaque année.

Analyse manuelle de données

Le corpus a été analysé à travers des critères concernant le contexte de la publication (lieu et application de l'hydrogène énergie), la méthode (temporalité de l'étude, exposition des participants à la technologie, outils méthodologiques, participants) et les résultats (déterminants de la relation humain-technologie et nature des recommandations). Les critères ont été codés sur la base des publications complètes et en utilisant NVIVO 12 (logiciel d'analyse qualitative assistée par ordinateur). Les critères ont été utilisés à la fois dans un but descriptif et comme variable pour l'analyse lexicale.

2.2. Examen détaillé de la demande : Benchmark et revue de littérature

La demande identifiée dans la méta-analyse de la littérature sur les utilisateurs et l'hydrogène énergie a été approfondie par une revue de la littérature et un benchmark.

La revue de littérature a été réalisée de façon non systématique sur des publications concernant les utilisateurs des systèmes identifiés comme constituant la demande à travers la méta-analyse.

Le benchmark consistait à analyser des dispositifs commerciaux et expérimentaux relatifs à la demande et identifiés dans des salons industriels et sur internet. L'analyse portait sur les fonctionnalités, les caractéristiques techniques et les activités prise en charge par les utilisateurs.

3. Résultats

3.1. Résultats de l'examen global de la demande : utilisateurs et hydrogène énergie

Cette partie présente les résultats de l'examen globale de la demande à travers la méta-analyse des publications sur les utilisateurs et l'hydrogène énergie.

3.1.1 Synthèse des publications recueillies

Nous constatons que les publications recueillies proviennent de tous les continents, avec une part plus importante en Amérique du Nord, en Asie de l'Est et en Europe (voir Figure 15). Si l'on zoome sur l'Europe, on remarque que la majorité des publications de cette zone géographique proviennent du Royaume-Uni, de l'Allemagne et des Pays-Bas (voir Figure 16).

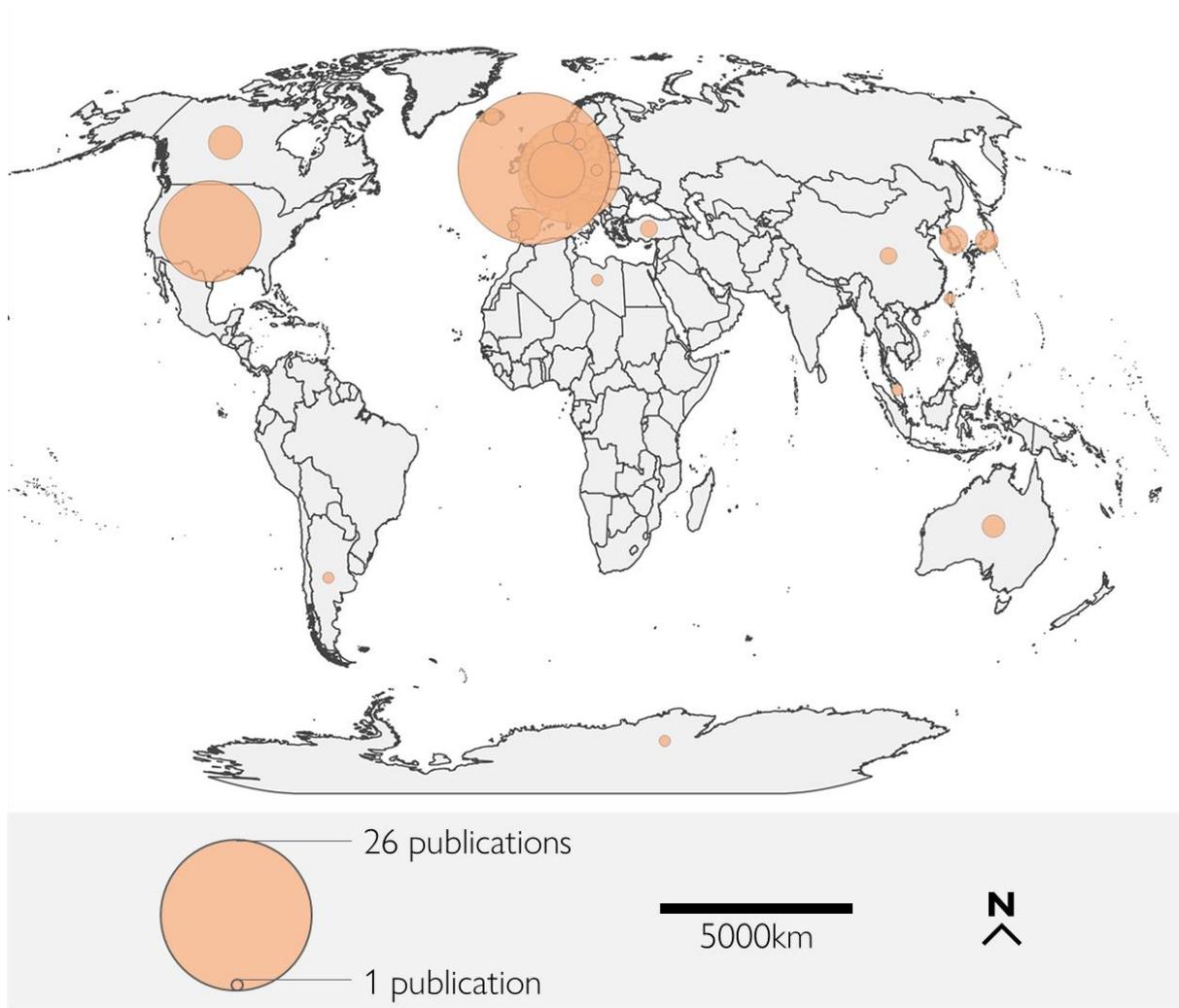


Figure 15 : Distribution géographique des publications (monde)

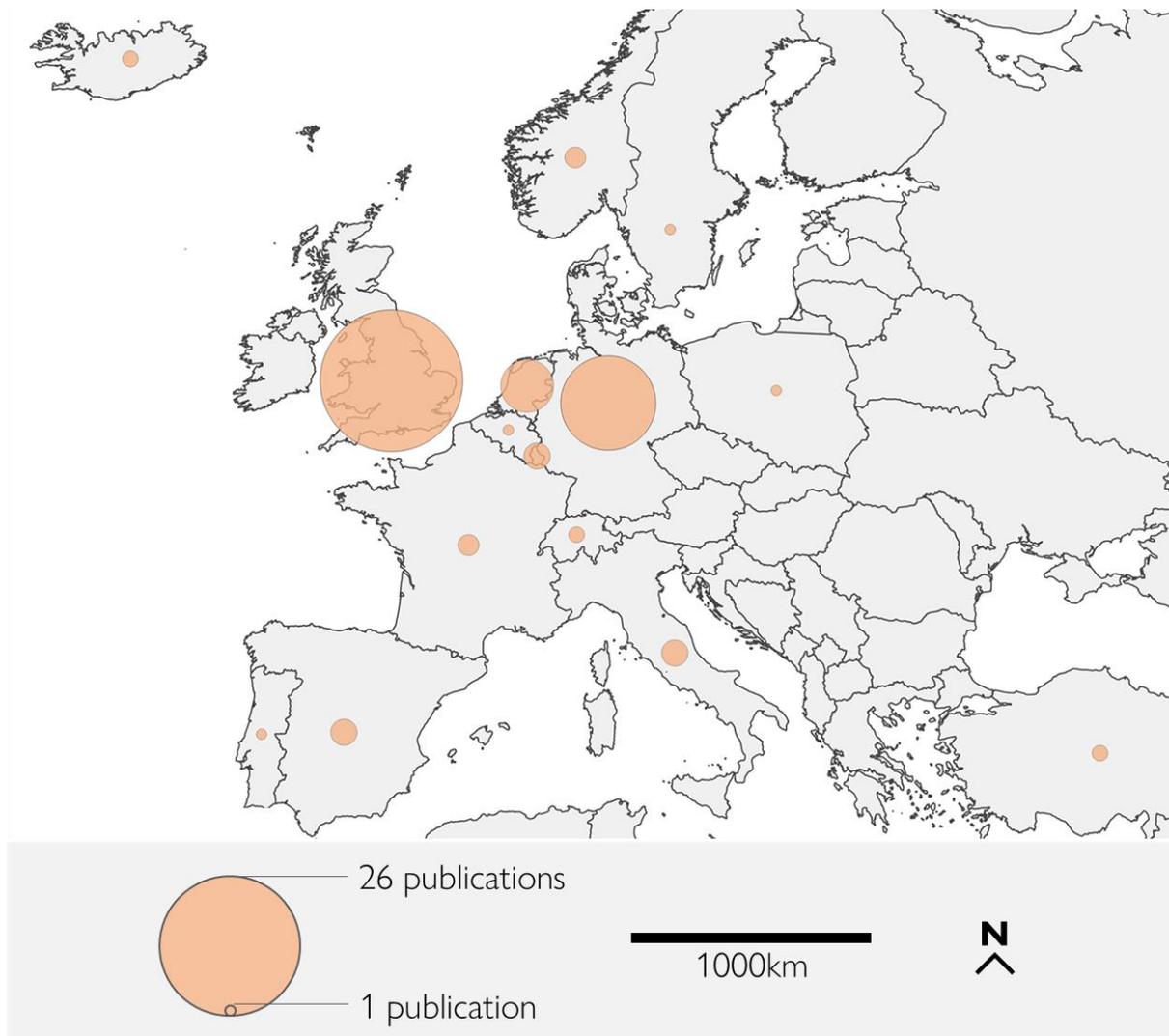


Figure 16 : Distribution géographique des publications (zoom sur l'europe)

Les 152 publications incluses dans l'analyse couvrent la période de 1982 à 2018 (voir Figure 17). On observe un nombre faible et plutôt stable de publications entre 1982 et 2002, puis une augmentation importante du nombre de documents de 2003 à 2018 (les résultats pour l'année 2018 sont partiels car le recueil des publications a eu lieu début 2018).

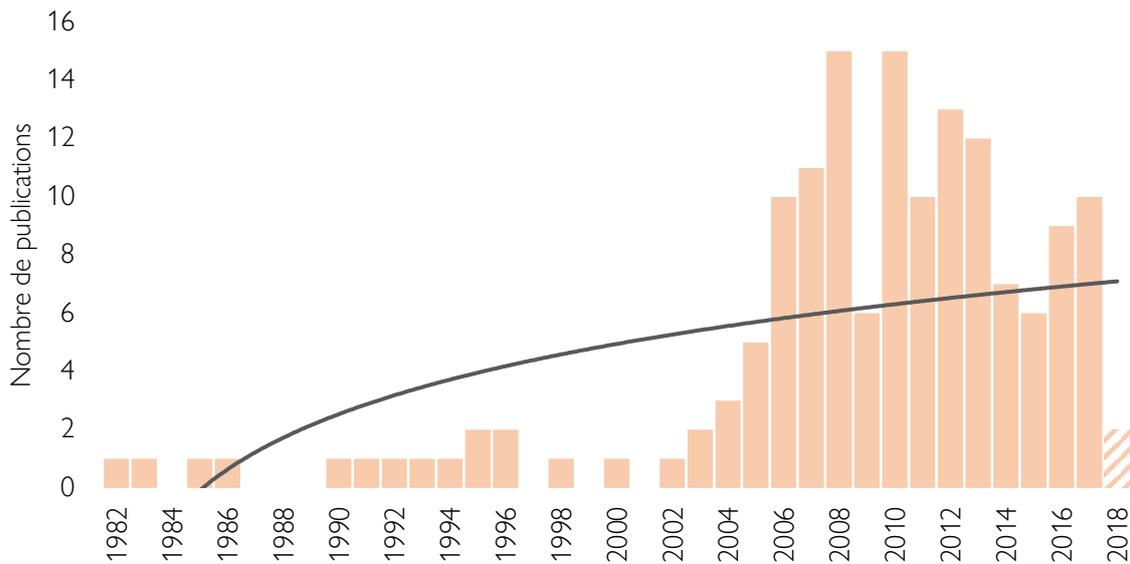


Figure 17 : Distribution des publications dans le temps (// résultats partiels pour 2018)

Les trois principales sources de publications sont *Journal of Power Sources*, *Energy Policy* et *International Journal of Hydrogen Energy* qui comptabilisent la majeure partie des publications (voir Figure 18).

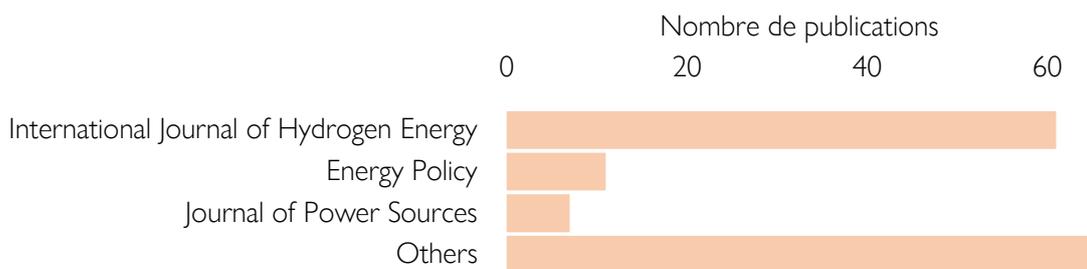


Figure 18 : Sources principales des publications

En ce qui concerne les applications de l'hydrogène énergie traitées, plus de la moitié des publications couvrent les applications de transport (ex. bus à hydrogène, voitures à hydrogène etc.), environ un tiers portent sur des applications indéterminées (l'application n'est pas précisée) ou ne se concentrent pas sur une application spécifique (porte sur l'hydrogène énergie de façon

générale), 11 % se concentrent sur des applications stationnaires (ex. chauffage des bâtiments, capteurs autonomes hors réseau etc.) et seulement 1 % couvrent des applications portables (ex. smartphones) (voir Figure 19).

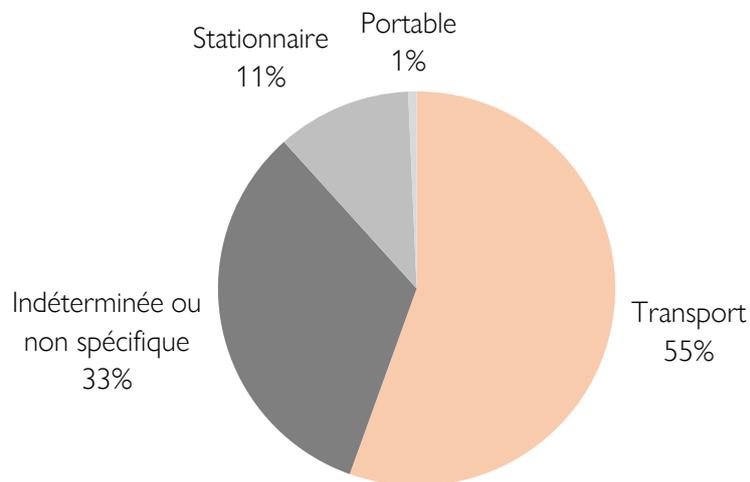


Figure 19 : Applications de l'hydrogène énergie abordées dans les publications

3.1.2 Résultats de l'analyse lexicale

Les résultats de la classification hiérarchique descendante indiquent que notre corpus de publications est composé de six classes thématiques, qui représentent 98,68% des segments de texte du corpus (voir Figure 20). Ces classes représentent les thèmes qui sont significativement mentionnés dans le corpus. Ils sont regroupés en trois catégories principales : le déploiement technologique, l'énergie et la relation humain-technologie, qui représentent respectivement 35,4%, 27,6% et 37% du lexique classifié.

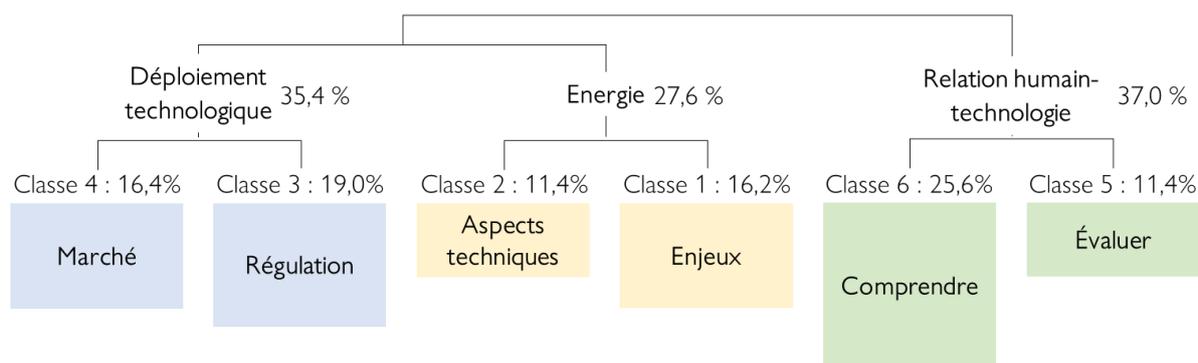


Figure 20 : Classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des publications

Les classes 4 et 3 sont liées pour caractériser un discours sur le thème du déploiement technologique (voir Tableau 5) :

- La classe 4 se réfère au déploiement des technologies de l'hydrogène énergie sur le marché ;
- La classe 3 se réfère à la réglementation du déploiement des technologies de l'hydrogène énergie par les États.

Le lexique des classes 2 et 1 est lié à l'énergie :

- La classe 2 se réfère aux aspects techniques de la transition énergétique ;
- La classe 1 se réfère aux défis de la transition énergétique.

Les classes 5 et 6 sont liées pour décrire un discours relatif à la relation humain-technologie :

- La classe 6 se réfère à des approches qui visent à comprendre la relation entre les utilisateurs et les systèmes énergétiques à base d'hydrogène ;
- La classe 5 se réfère à des approches qui visent à évaluer la réaction des utilisateurs aux systèmes énergétiques à base d'hydrogène (existants ou futurs).

Tableau 5 : Description des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des publications ([n] avec n l'identifiant de la publication)

	Mots représentatifs	Verbatim représentatif
Classe 4 : Marché	<ul style="list-style-type: none"> - Marché - Pile à combustible - Commercialisation 	« Le stockage de l'hydrogène est largement reconnu comme une technologie essentielle pour la commercialisation et l'acceptation par le marché des véhicules à hydrogène » [112]
Classe 3 : Régulation	<ul style="list-style-type: none"> - État - Fond - Développement 	« Les fonds d'État pour l'énergie propre et les bureaux du développement économique pourraient soutenir et mener des études d'évaluation des opportunités pour identifier des flottes, des partenaires » [80]
Classe 2 : Aspects techniques	<ul style="list-style-type: none"> - Électricité - Puissance - Densité 	« Les principales conclusions de l'analyse du cycle de vie complet du CO2 sont que les véhicules légers utilisant la technologie de propulsion par pile à combustible sont très dépendants de la filière de production d'hydrogène » [16]
Classe 1 : Enjeux	<ul style="list-style-type: none"> - Énergie - Fossile - Sécurité 	« L'hydrogène offre une capacité potentiellement inégalée de fournir un système énergétique décarboné » [81]
Classe 6 : Comprendre	<ul style="list-style-type: none"> - Publique - Perception - Risque 	« La perception de l'hydrogène énergie sera d'une grande importance à mesure que nous nous rapprocherons de la mise en œuvre des technologies » [27]
Classe 5 : Évaluer	<ul style="list-style-type: none"> - Londres - Intention d'acheter - Résident 	« Plus d'un tiers sont clairement favorables à l'introduction de véhicules à hydrogène à Londres » [135]

L'analyse factorielle des correspondances réalisée sur les classes obtenues lors de la classification hiérarchique descendante nous permet d'identifier les facteurs de structuration de notre corpus (voir Figure 21) :

- Le facteur 1 (28,49% de l'inertie totale) représenté sur l'axe horizontal, montre une opposition entre une logique technique (ex. « charbon », « combustion ») et une logique humaine (ex. « personnelle », « psychologique ») ;

- Le facteur 2 (22,83% de l'inertie totale) représenté sur l'axe vertical, montre une opposition entre une logique prescriptive (ex. « feuilles de route », « initiative ») et une logique descriptive (ex. « affectif », « opposant »).

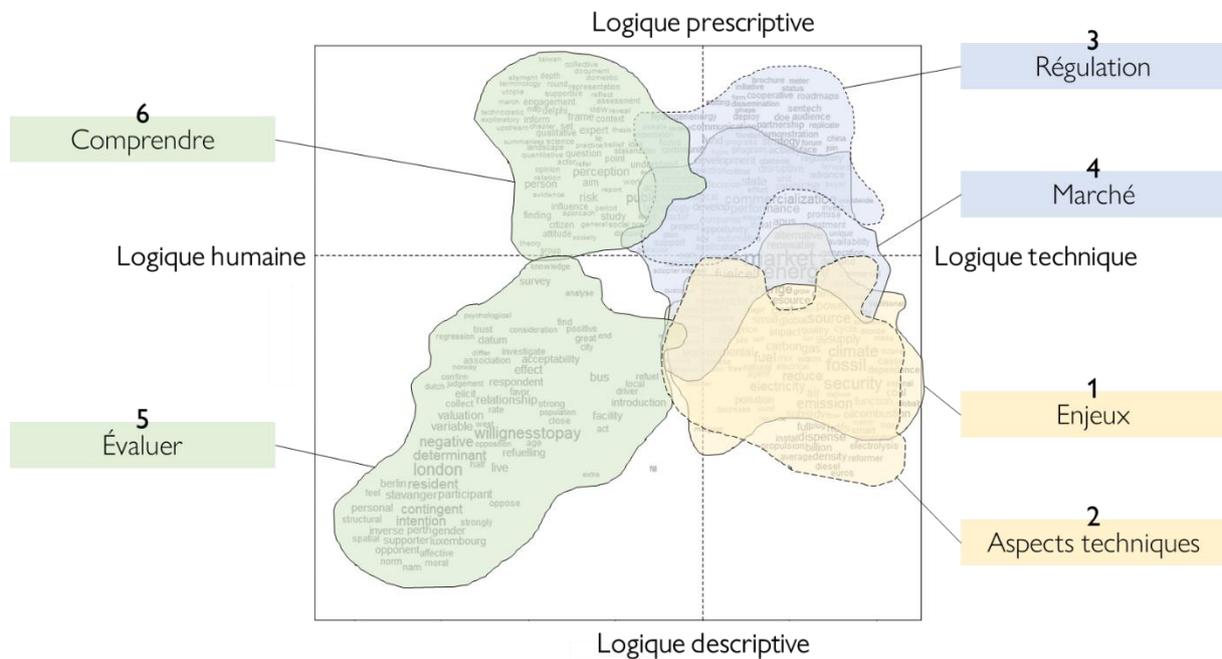


Figure 21 : Analyse factorielle des correspondances pour les classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des publications

On remarque que les classes 3 et 4 relatives à la régulation et au marché s'inscrivent dans une logique technique et prescriptive, il s'agit d'un discours sur ce qu'il faut faire pour que l'économie de l'hydrogène énergie se développe. Les classes 1 et 2, sur les enjeux de la transition énergétique et sur les aspects techniques de l'hydrogène énergie, s'inscrivent dans une logique descriptive et technique, c'est un discours qui décrit les problèmes auxquels doit répondre l'hydrogène énergie et comment elle peut y répondre. Enfin, les classes 5 et 6 sur l'évaluation et la compréhension de la relation humain-technologie s'inscrivent dans une :

- Logique humaine et descriptive pour la classe 5 (évaluer), il s'agit d'un discours sur l'appréciation de la relation humain-technologie dans des projets particuliers ;
- Une logique humaine et prescriptive pour la classe 6 (comprendre), c'est un discours sur les déterminants de la relation humain-technologie qu'il faut prendre en compte pour s'assurer de l'acceptation de l'hydrogène énergie.

Si l'on regarde l'évolution de ces thèmes dans le temps (voir Figure 22), on remarque que le thème de l'énergie est d'abord prédominant, puis diminue légèrement au cours de la période observée, tout en restant élevé. Le thème du déploiement technologique est important pendant toute la période observée et augmente pour devenir le thème principal à partir de la période [1994 - 1999]. Le thème de la relation humain-technologie commence au plus bas pour augmenter de manière significative à partir de la période [1994 - 1999] et devenir plus important que le thème de l'énergie à partir de [2012 - 2018].

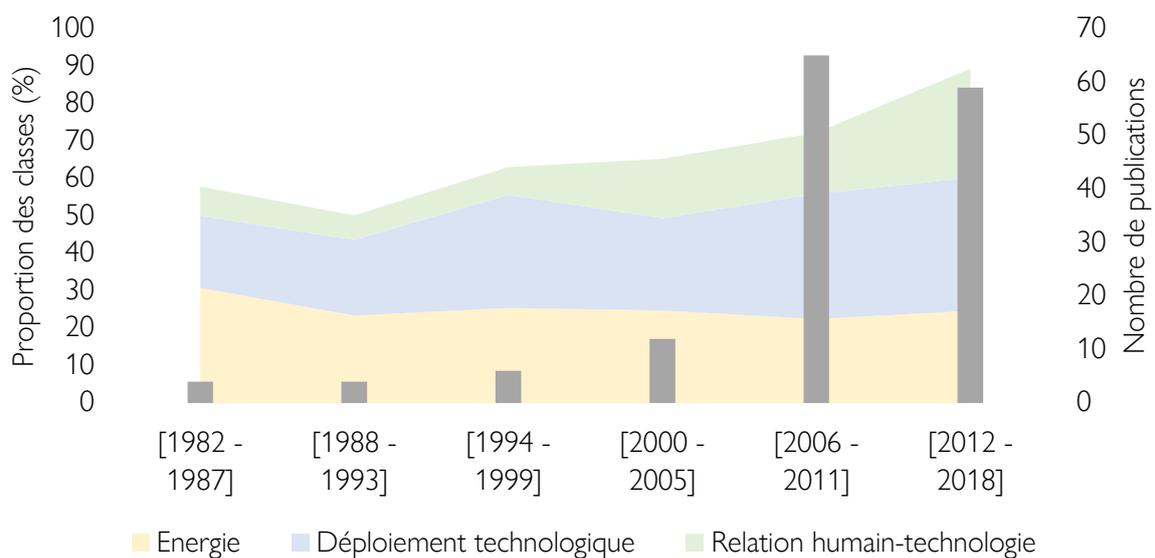


Figure 22 : Évolutions dans le temps des principaux thèmes des publications

3.1.3 Résultats de l'analyse manuelle de données manuelle

Approche méthodologique des publications

La plupart des publications sont orientées vers l'avenir (voir Figure 23). C'est-à-dire qu'elles se concentrent sur des technologies qui n'existent pas encore ou sur l'interaction future entre les utilisateurs et la technologie (par exemple, une étude de la probabilité d'utilisation d'une technologie future, en mesurant l'intention d'utilisation). La faible part des études qui portent sur le présent, se concentrent sur des démonstrations de technologie ou sur des technologies déjà commercialisées (par exemple, les voitures à pile à combustible).

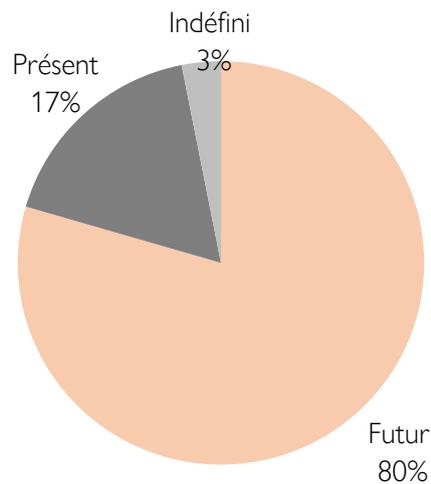


Figure 23 : Visée temporelle des publications

Environ la moitié des publications portent sur des études empiriques (voir Figure 24). La moitié de ces études empiriques ont été menées sans exposition des participants aux technologies de l'hydrogène (voir Figure 25). Les méthodes utilisées étaient principalement des questionnaires, des groupes de discussion et des entretiens (voir Figure 26). Les participants étaient pour environ trois quarts des utilisateurs (actuels ou potentiels), pour un 13% des experts et pour 13% des acteurs des projets liés à l'hydrogène énergie (entreprise, collectivité etc.) (voir Figure 27).

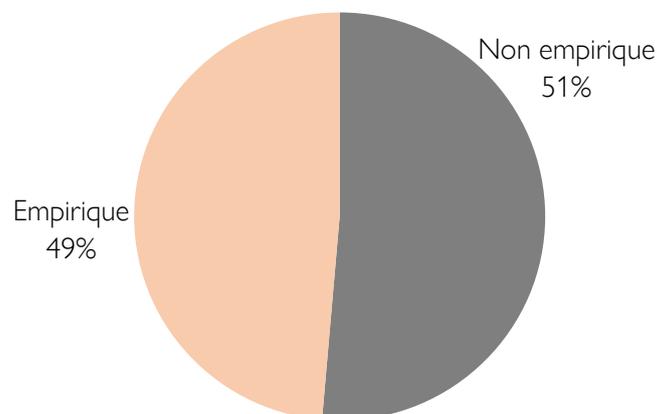


Figure 24 : Type de contribution scientifique des publications

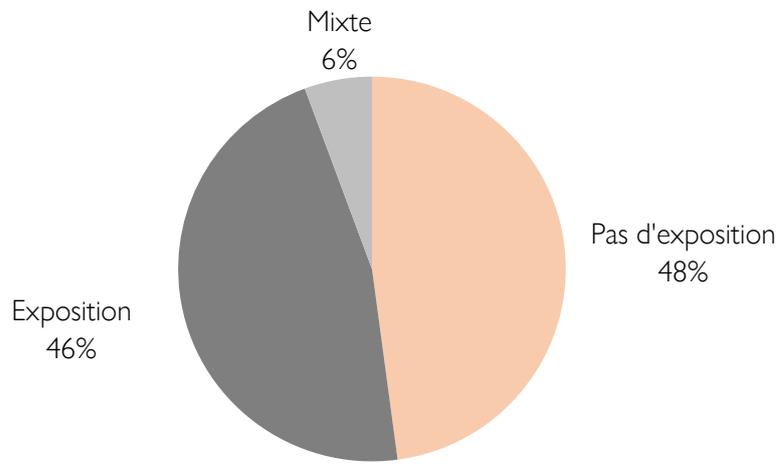


Figure 25 : Exposition à la technologie pour les études empiriques

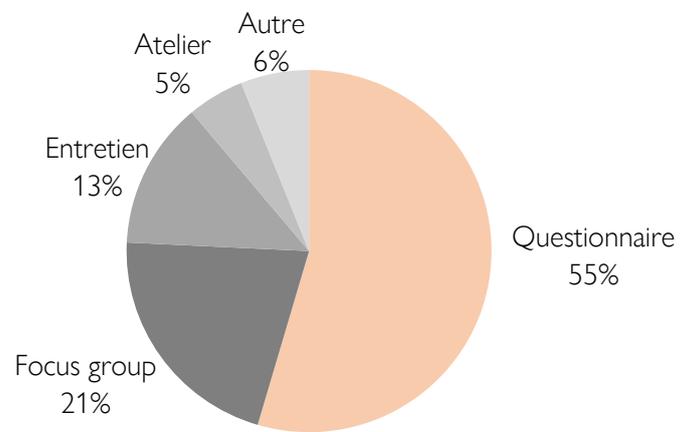


Figure 26 : Méthodes utilisées dans les études empiriques

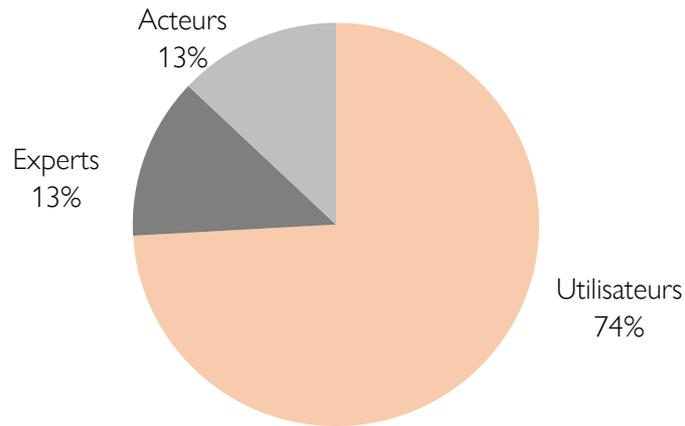


Figure 27 : Publics mobilisés dans les études empiriques

Déterminants de la relation utilisateur-système hydrogène

Les déterminants de la qualité de la relation utilisateur-système hydrogène identifiés dans notre corpus sont liés à la technologie, à l'utilisateur, à l'interaction entre l'utilisateur et la technologie, et au système sociopolitique (voir Figure 28, Figure 29, Figure 30 et Figure 31). Les plus importants de chaque catégorie sont respectivement :

- **La technologie** : coûts de la technologie, risques et sécurité de la technologie, et avantages environnementaux de la technologie
- **L'utilisateur** : préoccupations environnementales des utilisateurs, connaissances des utilisateurs et leur sensibilisation à l'énergie hydrogène
- **L'interaction entre l'utilisateur et la technologie** : facilité d'utilisation de la technologie, exposition et familiarité de l'utilisateur avec la technologie et l'information sur la technologie dont dispose l'utilisateur
- **Le système sociopolitique** : influence et normes sociales, conséquences sociales et politique

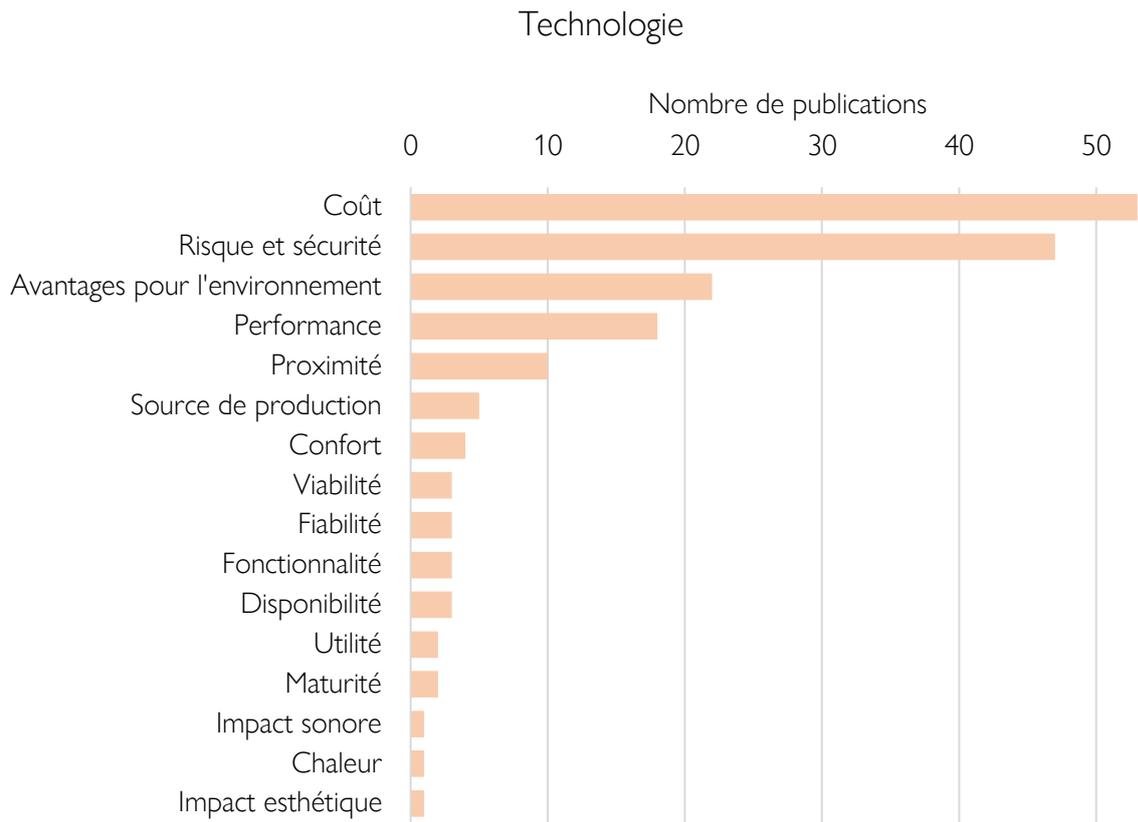


Figure 28 : Déterminants de la relation utilisateur-système hydrogène identifiés dans les publications et relatifs à la technologie

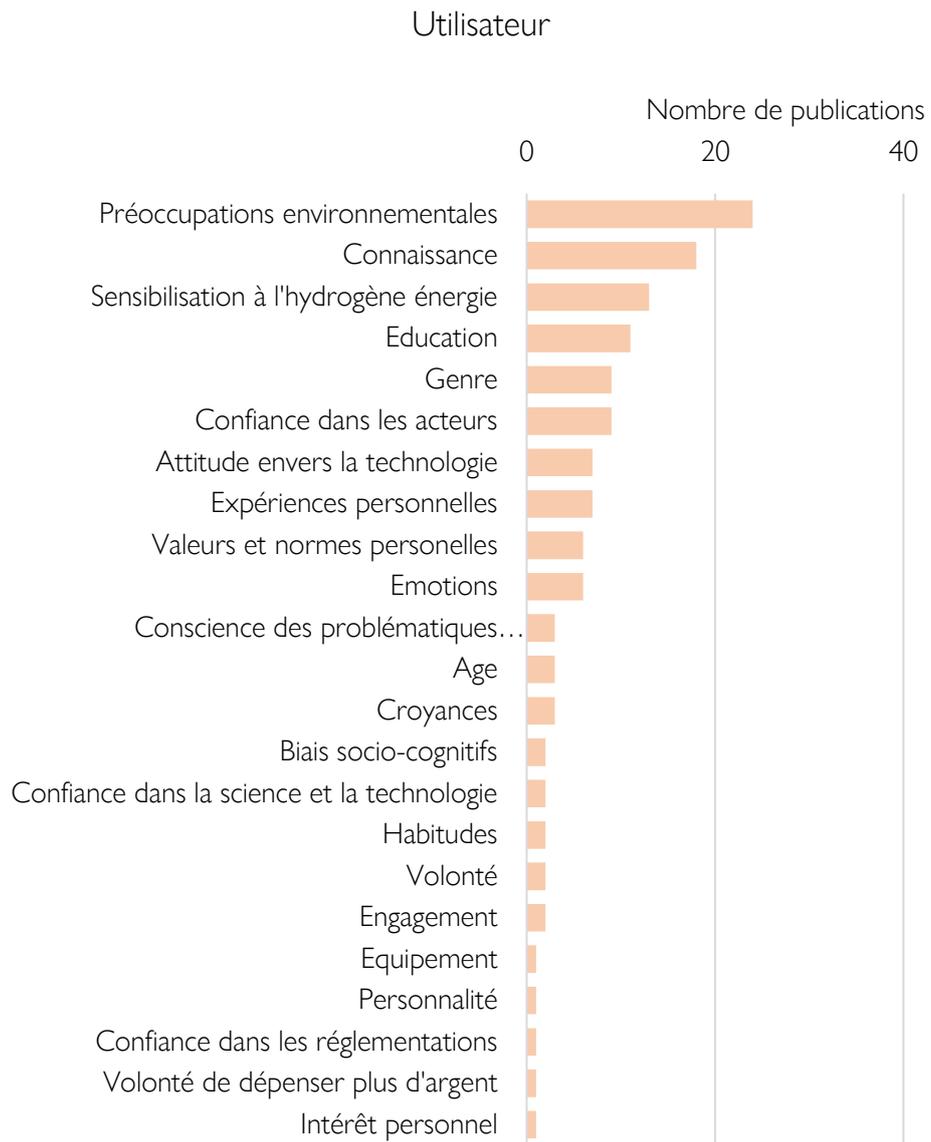


Figure 29 : Déterminants de la relation utilisateur-système hydrogène identifiés dans les publications et relatifs à l'utilisateur

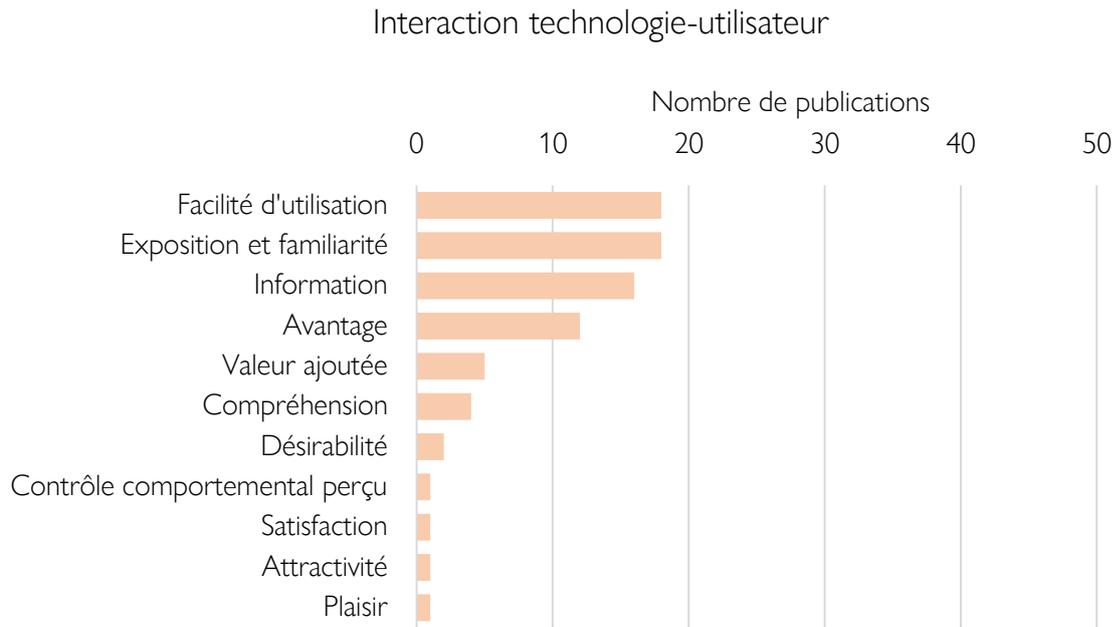


Figure 30 : Déterminants de la relation utilisateur-système hydrogène identifiés dans les publications et relatifs à l'interaction technologie-utilisateur



Figure 31 : Déterminants de la relation utilisateur-système hydrogène identifiés dans les publications et relatifs au système sociopolitique

Recommandations des publications

Moins de la moitié des études proposent des recommandations (voir Figure 32), dont seulement 13 % sont liées à la conception (ex. «certaines améliorations ciblées sur l'utilité pratique du véhicule sont nécessaires avant que la viabilité commerciale ne soit possible, notamment en ce qui concerne l'infrastructure et l'autonomie » [114]), les autres étant principalement axées sur les modalités de déploiement telles que la communication (ex. « fournir des informations précises sur les risques

conduira à une meilleure acceptation » [100]) ou la politique (ex. « les politiques nationales en matière d'hydrogène devraient donc soutenir les stratégies régionales et les activités locales dans ce domaine » [43]).

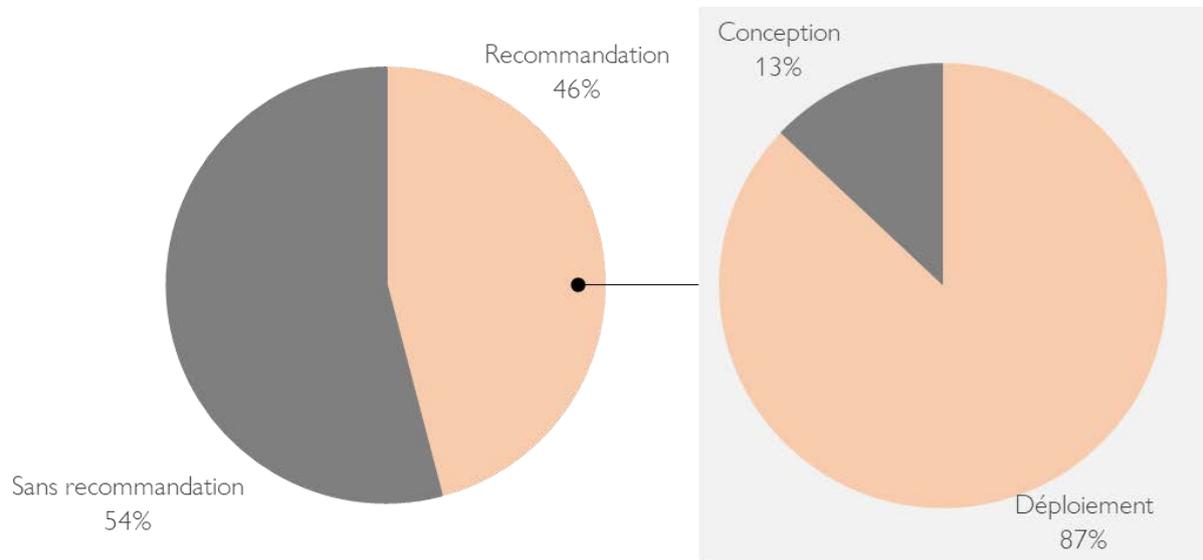


Figure 32 : Nature des recommandations des publications

Les résultats de l'examen détaillé de la demande font apparaître un faible intérêt pour les utilisateurs, avec une approche plutôt techno-centrée ; et une quantité peu importante d'études sur les applications stationnaires, notamment concernant l'habitat. Nous faisons donc le choix de focaliser notre demande sur l'utilisation d'hydrogène énergie pour l'habitat.

3.2. Résultats de l'examen détaillé de la demande : l'hydrogène énergie pour l'habitat

Cette partie présente les résultats de l'examen détaillé de la demande à travers la revue de littérature et le benchmark. Il porte sur l'utilisation d'hydrogène énergie pour l'habitat.

3.2.1 Résultats de la revue de littérature

L'habitat : un enjeu énergétique

L'habitat est le deuxième secteur de consommation d'énergie finale en France, avec une part importante d'énergie carbonée notamment pour le chauffage (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018a). De plus, les bâtiments résidentiels (logements collectifs et individuels) par opposition aux bureaux sont ceux dont le niveau carbone et énergétique sont les moins bons (Carbone 4, 2020). Si le secteur du bâtiment résidentiel est oublié du Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique, qui se concentre principalement sur les utilisations de l'hydrogène pour l'industrie et les transports (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018b), des auteurs et institutions (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, 2012, 2018; Philibert, 2020; Scott & Powells, 2020) indiquent que l'hydrogène a un potentiel dans la décarbonisation du secteur résidentiel, et que les recherches sur les usages de l'hydrogène dans les foyers sont insuffisantes (Scott & Powells, 2020).

L'habitant garant du succès des systèmes énergétiques pour l'habitat

Il est reconnu que le rôle des utilisateurs est d'une grande importance dans la réussite des projets énergétiques, selon certains auteurs, ils ont autant d'influence que les technologies (Fournis & Fortin, 2017). Dans les cas les plus extrêmes, les technologies peuvent ne pas être acceptées, c'est le cas du déploiement des parcs éoliens, qui ont parfois été l'occasion de forts rejets de la part des populations locales (Ellis et al., 2007; Hall et al., 2013). Par ailleurs, le fait d'être accepté et utilisé n'est pas un critère de succès suffisant. Il est important d'accorder une attention particulière aux comportements et aux activités générés par les systèmes techniques. Ainsi, dans le secteur du bâtiment, des expériences visant à réduire la consommation d'énergie ont eu lieu en mettant l'accent sur l'efficacité énergétique des bâtiments et des équipements. Sachant que le comportement des résidents est une source importante d'incertitude et peut fortement affecter la consommation d'énergie (Delzende et al., 2017; Swan & Ugursal, 2009), les réductions de consommation attendues n'ont pas été observées (Blaise & Glachant, 2019; Sidler, 2011). Cet écart peut s'expliquer par les différences entre les activités et les besoins réels des utilisateurs, et la représentation des activités et des besoins des utilisateurs qu'ont les concepteurs des bâtiments et des systèmes énergétiques, ce qui entraîne un manque de conformité des utilisateurs aux

instructions d'utilisation du bâtiment et des équipements (Zélem et al., 2013). Revell et Stanton (2017) ont par ailleurs montré que les utilisateurs peuvent augmenter leur consommation d'énergie alors même qu'ils cherchent à la réduire, s'ils ne disposent pas d'un dispositif qui soit adapté à leur modèle mental de l'activité (ex. se chauffer), c'est-à-dire à la représentation qu'ils en ont. Une autre hypothèse est que les habitants sont sujets à des compensations comportementales (Maki et al., 2019), comme par exemple la compensation morale : lorsqu'une action moralement positive (ex. investir dans des équipements énergétiquement efficaces) est utilisée pour légitimer une action moralement moins positive (ex. ne plus surveiller sa consommation d'énergie).

Ces phénomènes soulignent l'importance qui doit être accordée aux utilisateurs, afin de garantir que les systèmes énergétiques sont acceptés et utilisés de manière souhaitable. Ils révèlent aussi que les systèmes énergétiques pour l'habitat aussi énergétiquement efficaces qu'ils soient d'un point de vue technique ne le sont que s'ils sont adaptés à leurs utilisateurs. Ainsi, la recherche technique d'efficacité énergétique et l'accompagnement à la maîtrise de la consommation d'énergie doivent s'accompagner d'un travail pour garantir une réelle compatibilité entre les dispositifs techniques et les habitants. L'utilisateur est donc un facteur primordial dans le succès des systèmes énergétiques, seulement, c'est l'élément le moins étudié et le moins intégré dans la conception (Delzendeh et al., 2017).

Activités liées à l'énergie dans l'habitat

Il n'existerait pas à proprement parler d'activités liées à l'énergie dans l'habitat, en tout cas pas d'activités dont l'objectif est l'efficacité énergétique. La littérature fait référence à des activités domestiques qui sont à l'origine d'une consommation d'énergie (Bonnin, 2016; Bovay, 1987; Guibourdenche, 2013; Guibourdenche et al., 2015) (voir Figure 33). Par exemple si un habitant cuisine, l'objectif de son activité n'est pas orienté vers la consommation d'énergie, cependant elle est à l'origine d'une consommation d'énergie. Conjointement à ces activités domestiques, des activités de maîtrise de la consommation d'énergie – dont l'objectif est de diminuer la consommation d'énergie liée à une activité ou à l'utilisation d'un équipement – et des activités de gestion du système énergétique – dont l'objectif est de gérer la production et la revente d'énergie – sont observées de manière anecdotique chez des habitants qui produisent de l'énergie (Lahoual & Fréjus, 2013). Même dans le cas des activités de maîtrise de la consommation, ce ne serait pas

l'efficacité énergétique qui motiverait l'activité, mais plutôt le coût et le confort (Guibourdenche et al., 2015; Lévy et al., 2014).

1. Activités domestiques	2. Maitriser l'énergie	3. Gérer le système énergétique
Entretenir	Arrêter	Échanger avec ses pairs
Se divertir	Acheter	Vérifier le fonctionnement
Climatiser	Éteindre	Vérifier la rentabilité
S'alimenter	Isoler	
Éclairer	Déplacer	
Travailler	Regrouper	
Se nettoyer	Réduire	

Figure 33 : Activités liées à l'énergie dans l'habitat

3.2.2 Résultats du benchmark

Pour mieux identifier les solutions de systèmes énergétiques qui existent dans l'habitat, nous avons réalisé un benchmark. Il porte sur des dispositifs de production, stockage et valorisation d'énergies renouvelables pour l'habitat. 22 dispositifs commercialisés et expérimentaux ont été étudiés dont (voir Annexe 2 : Dispositifs étudiés dans le benchmark) :

- Des systèmes avec hydrogène ;
- Des systèmes avec batterie (marché mature de référence) ;
- Autres (ex. logiciels, système sans stockage).

Les dispositifs peuvent être catégorisés en 6 types :

- Système d'autoproduction et stockage pour autoconsommation d'un logement individuel (ex. Smart Hydrogen Hub de AREVA) ;
- Distribution d'hydrogène à destination de logements individuels pour micro-valorisation (ex. ENE-Farm de Panasonic) ;
- Système d'autoproduction et stockage pour autoconsommation d'un logement collectif (ex. Smart Energy Hub de Sylfen) ;

- Centrale locale de production, stockage et valorisation avec injection d'électricité et/ou de chaleur dans un microgrid, à l'échelle du village, quartier ou îlot (ex. Smart Autonomous Green Energy System de Powidian, Autonomous Decentralised Power Plant de AREVA) ;
- Centrale de production, stockage et valorisation à grande échelle avec injection d'électricité dans le réseau ou d'hydrogène dans le réseau de gaz (ex : Jupiter 1000, GRHYD) ;
- Des systèmes de gestion de l'énergie et de maîtrise de la consommation (ex. Monabee).

On constate qu'il est fait proposition de (1) solutions centralisées⁴ pour lesquelles les utilisateurs n'ont pas à s'impliquer, (2) de solutions distribuées dans lesquelles les utilisateurs doivent faiblement s'impliquer (dans le cas d'installations individuelles ou collectives) et (3) de façon minoritaire des solutions pour lesquelles les utilisateurs doivent fortement s'impliquer (voir Figure 34). Les dispositifs avec hydrogène s'inscrivent dans des logiques où l'utilisateur est passif dans son interaction avec le système énergétique. Il est un consommateur d'énergie passif dans le cas des systèmes centralisés et un producteur/consommateur d'énergie passif dans le cas des systèmes distribués.

⁴ On parle de système énergétique centralisé pour qualifier un système énergétique dans lequel une grande quantité d'énergie est produite par une petite quantité d'unités, qui redistribuent ensuite l'énergie vers les utilisateurs finaux. Par opposition, on qualifie de système énergétique distribué un système énergétique dans lequel l'énergie est produite par une grande quantité d'unités réparties sur le territoire, à proximité des utilisateurs finaux et parfois même in-situ.

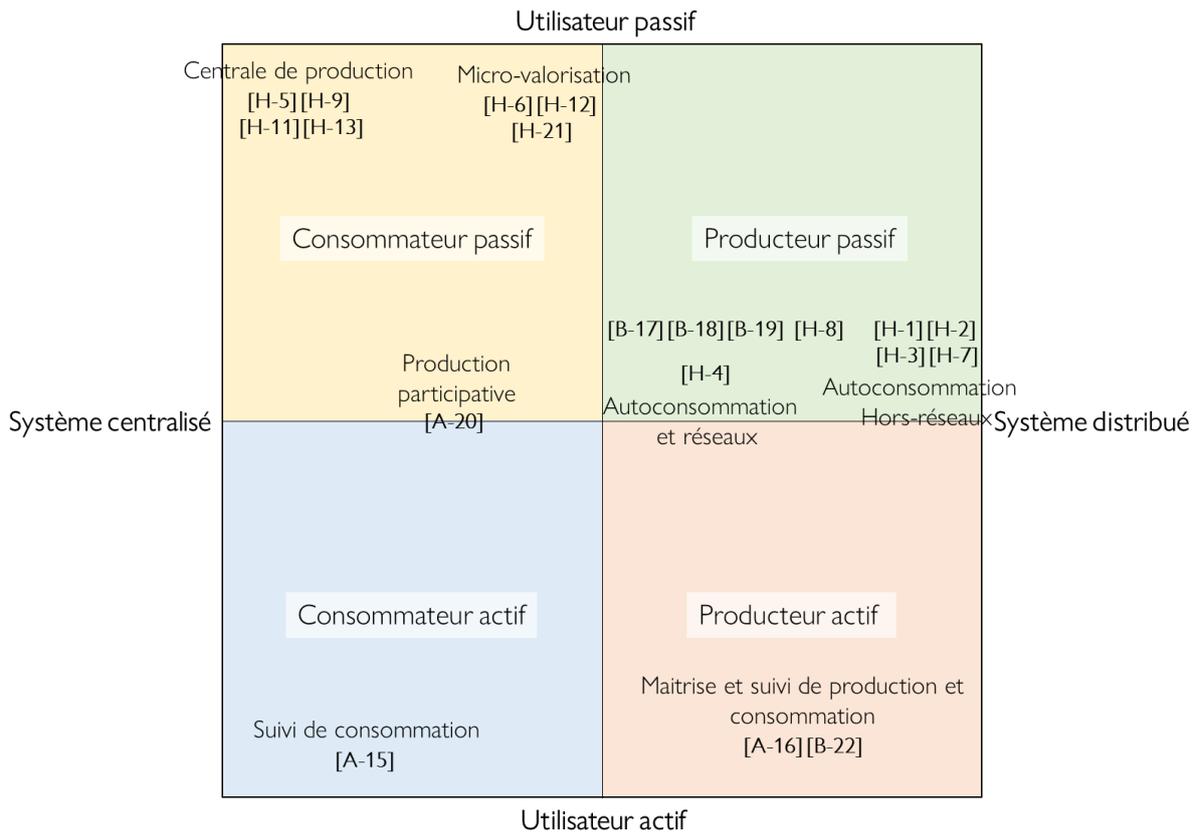


Figure 34 : Catégorisation des dispositifs étudiés dans le benchmark ([H-n] système avec hydrogène, [B-n] système avec batterie, [A-n] autre ; avec n l'identifiant du dispositif)

4. Discussion de l'étude 1

L'objectif de cette étude était de comprendre comment les recherches ont traité la question des utilisateurs dans les systèmes énergétiques à base d'hydrogène et de faire un inventaire actualisé des principaux résultats concernant les utilisateurs et les systèmes énergétiques à base d'hydrogène. Pour cela, nous avons effectué une analyse lexicale et une analyse des données manuelle sur un corpus de 152 publications relatives aux utilisateurs finaux de l'énergie hydrogène. Ces analyses devaient nous permettre de faire émerger une demande à laquelle notre projet de recherche doit répondre. Cette demande a ensuite été approfondie par une revue de littérature et un benchmark.

4.1. Apports appliqués

4.1.1 Une prise en compte tardive des utilisateurs dans les recherches sur l'hydrogène énergie

Cette étude nous a permis d'identifier comment les utilisateurs sont pris en compte dans la recherche sur les systèmes énergétiques à base d'hydrogène.

Nos résultats montrent que les approches mobilisées sont centrées sur la technologie avec l'objectif d'améliorer l'adoption des technologies. Une part majoritaire du discours porte notamment sur les aspects techniques de l'hydrogène énergie et sur son déploiement. Concernant la prise en compte de l'utilisateur, nos résultats indiquent une mobilisation d'approches à la fois compréhensives pour identifier les déterminants de la relation humain-technologie qu'il faut prendre en compte pour s'assurer de l'acceptation de l'hydrogène énergie, et d'approches évaluatives, pour apprécier la qualité de la relation humain-technologie dans des projets particulier. Par ailleurs, d'un point de vue diachronique, on remarque que la préoccupation pour les utilisateurs ne devient un thème important dans notre corpus que récemment, il était principalement question des aspects techniques et liés au déploiement de l'hydrogène énergie.

Si presque toutes les études sont en amont du développement des artefacts, et se concentrent sur l'avenir de la relation entre humain-technologie, la plupart des recommandations ne concernent pas la conception des artefacts, mais leur déploiement. De plus, même si les utilisateurs sont considérés en amont, ils sont souvent perçus comme une contrainte à la technologie (ex. « Parmi les obstacles possibles à une telle transition, l'attitude du public a été identifiée comme une contrainte importante » [49]).

Ainsi, il semble que les études tendent à suivre une approche techno-centrée, qui soutient une stratégie globale *technology driver* (Jaruzelski et al., 2014) consistant à développer un produit, à identifier un marché potentiel et à s'assurer ensuite de son acceptation par les utilisateurs finaux. Cette approche semble insuffisante dans un contexte de transition énergétique qui appelle à l'innovation (Tyfield, 2018). En outre, de nombreuses études dont l'objectif est de récolter des informations sur les utilisateurs afin de faciliter l'acceptation de l'hydrogène énergie, proposent des recommandations sur le déploiement d'artefacts intégrant l'hydrogène énergie plutôt que pour

enrichir le processus de conception et favoriser la définition d'artefacts adaptés. Ceci est cohérent avec Delzende et al. (2017), qui indiquent que si les humains sont un facteur important dans les systèmes énergétiques, ils sont les facteurs les moins étudiés et surtout ils ne font pas partie de la « conception énergétique ».

4.1.2 L'hydrogène énergie pour l'habitat : une application peu instruite

Cette étude nous a également permis de synthétiser les facteurs identifiés dans la littérature comme déterminant la qualité de la relation humain-technologie dans le cas de l'hydrogène énergie. Ces facteurs sont à la fois spécifiques aux caractéristiques de la technologie et de l'utilisateur, mais aussi à l'interaction entre eux, et enfin au contexte sociopolitique dans lequel ils s'inscrivent. Il est donc nécessaire de tenir compte de ces différents objets d'étude (humain et technologie) et du niveau de zoom (individuel et sociopolitique) lors de la conception des systèmes énergétiques à base d'hydrogène.

Un autre résultat intéressant, concerne la prédominance des études axées sur les applications dans le domaine des transports. Dans la continuité de ce que nous avons observé, les ambitions politiques du Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique de la France se concentrent principalement sur les utilisations de l'hydrogène pour l'industrie et les transports (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018b). Ces objectifs ont été confirmés récemment par la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France, qui n'inclut pas l'application de l'hydrogène énergie pour l'habitat ou alors de façon non explicite dans la troisième priorité énoncée : « soutenir la recherche, l'innovation et le développement de compétences afin de favoriser les usages de demain » (Ministère de la Transition écologique & Ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance, 2020). Cependant, les applications stationnaires et notamment l'habitat, très peu représenté dans notre étude, constitue le deuxième secteur de consommation d'énergie finale en France, avec une part importante d'énergie carbonée notamment pour le chauffage (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018a). Les bâtiments résidentiels seraient aussi les bâtiments qui ont le moins bon niveau carbone et énergétique (Carbone 4, 2020). En ce sens, Scott et Powells (2020) dans leur « programme de recherche en sciences sociales pour la transition hydrogène », préconisent que l'hydrogène soit

utilisé pour décarboner le secteur résidentiel, notamment le chauffage. Ils précisent aussi que les travaux sur l'utilisation de l'hydrogène énergie dans les foyers sont trop peu nombreux. L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie identifie aussi le potentiel de l'hydrogène énergie pour décarboner le secteur du résidentiel (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, 2012, 2018). L'application de l'hydrogène énergie à l'habitat peut aussi représenter un potentiel intéressant dans le cadre de la directive 2018/2001 du Parlement européen relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (2018). Le Parlement européen permet avec cette directive, la création de "communautés d'énergies renouvelables", avec pour objectifs de mobiliser les citoyens dans la transition énergétique et d'améliorer la flexibilité du système électrique. Cette directive permet aux communautés (groupes de ménages) de produire, stocker, consommer et vendre collectivement de l'énergie renouvelable. En France, la loi 2017-227 du 24 février 2017 relative à l'autoconsommation d'électricité (2017), rend possible l'autoconsommation individuelle et collective d'électricité autoproduite.

Par ailleurs, nous constatons que l'étude des dispositifs expérimentaux, suggère que le marché de l'hydrogène énergie dans l'habitat s'oriente vers des applications où l'habitant est passif dans son interaction avec le système énergétique.

4.1.3 Formulation de la demande

Les différentes analyses effectuées nous permettent de dresser une liste de constats qui conduisent à faire émerger une demande :

- Constat 1 : les systèmes énergétiques à base d'hydrogène sont émergents ;
- Constat 2 : les utilisateurs sont peu ou tardivement pris en compte dans la conception de technologies intégrant l'hydrogène énergie ;
- Constat 3 : l'application de l'hydrogène énergie à l'habitat revêt un caractère stratégique pour la transition énergétique ;
- Constat 4 : peu de travaux portent sur l'hydrogène énergie pour l'habitat ;
- Constat 5 : les utilisateurs jouent un rôle primordial dans le succès des systèmes énergétiques ;
- Constat 6 : les applications de l'hydrogène énergie à l'habitat sont peu investies par les sciences humaines et sociales.

Ainsi, ces constats montrent la nécessité d'une prise en compte en amont des utilisateurs (constats 1 et 2), le potentiel de l'application de l'hydrogène énergie à l'habitat (constats 3 et 4) et l'importance d'intégrer une réflexion sur les habitants dans la conception de systèmes énergétiques pour l'habitat (constats 5 et 6).

Nous proposons donc d'adresser la demande suivante :

- Quels peuvent-être les caractéristiques des systèmes énergétiques pour l'habitat qui intègrent l'hydrogène énergie qui font qu'ils seront adaptés aux utilisateurs futurs ?

4.2. Apports méthodologiques : la formulation de la demande en ergonomie prospective

Dans un mode d'intervention prospectif, il n'existe pas nécessairement de demande d'un client, où cette demande peut être extrêmement floue. L'ergonome peut donc être amené à initier et formuler lui-même la demande à laquelle il va devoir répondre. La formulation de la demande par l'ergonome dans une intervention prospective, n'est pas une question de recherche explicitement posée dans ce travail. Cependant, cette étape a été nécessaire à la réalisation de ce travail de recherche. Cette étude ne repose donc sur aucune littérature et hypothèses vis-à-vis de la formulation de la demande, mais elle constitue cependant une proposition méthodologique concernant la formulation ou l'initiation d'une demande en ergonomie prospective. Cette méthodologie propose de procéder en deux temps :

1. D'abord, un examen global de la demande à travers une analyse systématique de la littérature scientifique sur le sujet dans une conceptualisation large. Cette première étape vise à identifier les enjeux importants et les manques, afin d'identifier les opportunités d'interventions les plus pertinentes.
2. Ensuite, un examen détaillé à travers une revue de littérature non systématique et un benchmark. Cette seconde étape vise à s'assurer de la pertinence de la demande identifiée, à l'affiner et à se familiariser avec l'objet d'étude.

5. Conclusion de l'étude 1

Dans le cadre de la transition énergétique, l'application de l'hydrogène énergie au secteur de l'habitat présente un potentiel bénéfique. Seulement, cette application est peu étudiée, notamment par les sciences humaines et sociales, alors que les habitants jouent un rôle important dans le succès des systèmes énergétiques.

Ainsi, l'application de notre méthodologie de conception exploratoire future à l'hydrogène énergie dans l'habitat semble pertinente. Elle permettrait d'identifier les besoins futurs des utilisateurs en lien avec ces systèmes énergétiques et de générer des idées préliminaires de systèmes, services, technologies ou fonctionnalités qui s'intégreraient dans ces futurs systèmes énergétiques pour l'habitat.

Chapitre 6

Étude 2 : Contribution des utilisateurs précurseurs, des utilisateurs ordinaires et des experts à l'anticipation de besoins futurs liés à l'hydrogène énergie pour l'habitat

Résumé de l'étude

Sur la base de la demande construite à l'issue de l'étude 1, cette seconde étude avait pour objectif appliqué d'anticiper des besoins futurs relatifs à l'hydrogène énergie pour l'habitat, et pour objectif méthodologique de mesurer la contribution d'experts, d'utilisateurs précurseurs et d'utilisateurs ordinaires à la phase d'anticipation de besoins futurs. Pour cela, 36 entretiens d'anticipation des besoins sur le thème de l'énergie pour l'habitat ont été réalisés auprès des profils concernés. Les données récoltées ont été traitées par des méthodes d'analyse lexicale et d'analyse de données manuelle, pour permettre la comparaison de chaque profil de participants à la phase d'anticipation des besoins.

Ce chapitre a fait l'objet de publications et communications (ci-dessous). Il en est inspiré et en comprend des extraits.

Publications et communications associées

Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2019, Août). Contributing to the energy transition with the "Needs and uses ideation interview". Communication orale présentée au *50th Nordic Ergonomics and Human Factors Society Conference (NES 2019)*. Elsinore, Danemark.

Martin, A., Agnoletti, M- F. & Brangier, É. (2019, Octobre). Identification d'idées à fort potentiel innovant : transformer les verbalisations pour construire des scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat. Communication orale présentée au *4ème colloque de psychologie sociale de la communication*. Metz, France.

Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2020, Septembre). Inhabitants' activity and experience as a starting point for the design of collective energy tools. *Communication orale présentée au Colloque Communautés énergétiques, autoproduction, autoconsommation : cadrages, pratiques et outils*. En ligne.

Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2020). Ordinary users, precursory users and experts in the anticipation of future needs: evaluation of their contribution in the elaboration of new needs in energy for housing. Article soumis pour publication.

Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2021, Sous presse). L'apport de l'analyse lexicale des verbalisations à l'ergonomie prospective : le cas de l'étude des besoins futurs liés à l'énergie dans l'habitat. Dans Agnoletti, M.F & Salès-Wuillemin, E. (Dir). *Communication réelle et virtuelle : nouvelles perspectives en psychologie sociale de la communication*. Éditions Universitaires de Dijon.

1. Contexte et questions de recherches

L'étude 1 a permis de circonscrire notre objet d'étude à l'utilisation future d'hydrogène énergie dans l'habitat. Cette étude constitue la première étape de conception exploratoire future : l'anticipation de besoins futurs. Elle a donc pour objectif d'anticiper des besoins futurs relatifs à l'hydrogène énergie pour l'habitat. Cependant, l'hydrogène énergie n'est pas un « objet » directement appréhendable par les utilisateurs, nous avons donc fait le choix de nous intéresser plus largement à l'énergie pour l'habitat, pour ensuite utiliser ces connaissances spécifiquement pour l'hydrogène énergie dans l'habitat. Cette étude cherche donc à répondre à notre première question de recherche appliquée : **Quels sont les besoins futurs des utilisateurs liés à l'hydrogène énergie ?**

Dans le cadre théorique de ce travail, nous avons vu que l'implication des utilisateurs dans l'analyse des besoins est primordiale. Néanmoins, les limites (principalement liées à des représentations insuffisantes du futur) rencontrées par les utilisateurs pour anticiper des besoins futurs, c'est-à-dire développer et identifier prématurément des besoins, sont importantes. Certains moyens peuvent être utilisés pour atténuer ces limites : le recours à certaines méthodes et à la cognition orientée futur, qui permettent d'améliorer les représentations qu'ont les utilisateurs du futur et d'artefacts qu'ils ne connaissent pas. Nous avons aussi souligné l'intérêt potentiel d'inclure dans l'étape

d'anticipation des besoins, des utilisateurs précurseurs, c'est-à-dire des utilisateurs qui expérimentent avant les autres des activités et des artefacts pour lesquels ils développent précocement des besoins et représentations. Ces représentations devraient leur permettre d'anticiper des besoins futurs. Ces utilisateurs devraient donc permettre de recueillir des besoins futurs qu'ils expérimentent dans le présent et de générer de nouveaux besoins futurs. Si la capacité à identifier des besoins non ressentis par les utilisateurs ordinaires et la capacité à générer des solutions ont déjà été démontrées chez les participants à la méthode du lead user, il reste à voir quelle est la capacité des utilisateurs précurseurs à identifier des besoins non ressentis par les utilisateurs ordinaires et à imaginer des besoins futurs, ainsi qu'à identifier quelles sont leurs spécificités par rapport aux experts. Le second objectif de cette étude est donc de répondre à notre première question de recherche d'ordre méthodologique : **Comment soutenir l'idéation de besoins futurs des utilisateurs par les utilisateurs ?**

Pour cela, cette étude cherche à déterminer la contribution des utilisateurs ordinaires, des utilisateurs précurseurs et des experts à la phase d'anticipation des besoins futurs. Au regard de la littérature que nous avons développée dans le cadre théorique, nous faisons les hypothèses suivantes :

- **Hypothèse générale 1** : Les idées de besoins futurs développées par les utilisateurs précurseurs et les experts sont plus nouvelles et adaptées que celles développées par les utilisateurs ordinaires. L'exposition des utilisateurs précurseurs à des activités et artefacts jugés comme précurseurs, leur permet (1) de développer précocement des besoins qui seront expérimentés par la majorité des utilisateurs dans le futur, et (2) des représentations élaborées sur les activités, le domaine et les artefacts, qui facilitent leur capacité à anticiper des besoins futurs. Les experts ont une représentation riche du domaine et sont créatifs, ce qui doit faciliter leur capacité à anticiper des besoins futurs.

Cette hypothèse peut être déclinée en 6 hypothèses opérationnelles :

- **Hypothèse 1.1 (Thèmes des entretiens)** : les experts et les utilisateurs précurseurs mentionnent des thèmes plus originaux que les utilisateurs ordinaires ;
- **Hypothèse 1.2 (Fluidité des idées)** : les experts et les utilisateurs précurseurs génèrent plus d'idées de besoins que les utilisateurs ordinaires ;

- *Hypothèse 1.3 (Originalité des idées) : les experts et les utilisateurs précurseurs génèrent plus d'idées originales et des idées en moyenne plus originales que les utilisateurs ordinaires ;*
 - *Hypothèse 1.4 (Nouveauté des idées) : les experts et les utilisateurs précurseurs génèrent plus d'idées nouvelles et des idées en moyenne plus nouvelles que les utilisateurs ordinaires ;*
 - *Hypothèse 1.5 (Faisabilité des idées) : les experts et les utilisateurs précurseurs génèrent plus d'idées faisables et des idées en moyenne plus faisables que les utilisateurs ordinaires ;*
 - *Hypothèse 1.6 (Pertinence des idées) : les experts et les utilisateurs précurseurs génèrent plus d'idées pertinentes et des idées en moyenne plus pertinentes que les utilisateurs ordinaires.*
- **Hypothèse générale 2** : Les représentations des besoins futurs développés par les utilisateurs précurseurs et les experts sont différentes. Les experts s'appuient sur une représentation hypothétique des utilisateurs, tandis que les utilisateurs précurseurs s'appuient sur une représentation construite sur la base de leur activité réelle.

Cette hypothèse peut être déclinée en 1 hypothèse opérationnelle :

- *Hypothèse 2.1 (Thèmes des entretiens) : les experts et les utilisateurs précurseurs mentionnent des thèmes différents.*

À cet effet, nous avons conduit des entretiens d'anticipation des besoins sur le thème de l'énergie pour l'habitat, avec des experts, des utilisateurs précurseurs et des utilisateurs ordinaires.

Le choix des entretiens d'anticipation des besoins a été fait car cette méthode est adaptée à un objet d'étude étendu qui ne peut faire l'objet d'une représentation simplifiée. Elle est donc adaptée à notre objet d'étude qui est assez étendu et mal défini, et ne rend pas possible la mise en place d'un prototype. Cette méthode d'entretien vise à produire des connaissances sur les besoins et les activités futurs, en favorisant la construction mentale d'une représentation du futur, et en s'appuyant sur les expériences vécues de l'objet d'étude. Cette méthode a déjà été utilisée avec des utilisateurs ordinaires (Nguyen & Cahour, 2014) et des experts (Brangier, Brangier et al., 2019), mais pas avec des utilisateurs précurseurs, et surtout la contribution de ces différents profils n'a pas été comparée. Dans cette étude, les entretiens d'anticipation des besoins ont été construits en suivant les recommandations que nous avons extraites de la littérature sur la cognition orientée futur, afin de favoriser ce processus cognitif qui vise à améliorer les représentations qu'ont les

individus du futur, dans notre cas pour créer un contexte d'utilisation futur propice à l'émergence de besoins futurs.

2. Méthode

2.1. Participants

36 participants ont été recrutés : 14 utilisateurs précurseurs, 11 utilisateurs ordinaires et 11 experts. Il s'agissait de 12 femmes et 24 hommes, âgés de 25 à 74 ans (moyenne = 43,50, écart-type = 14,58). De plus, 9 particuliers autoproducteurs d'énergie ont été recrutés pour réaliser des entretiens exploratoires qui visaient à construire le protocole d'entretien d'anticipation des besoins (voir Figure 35).

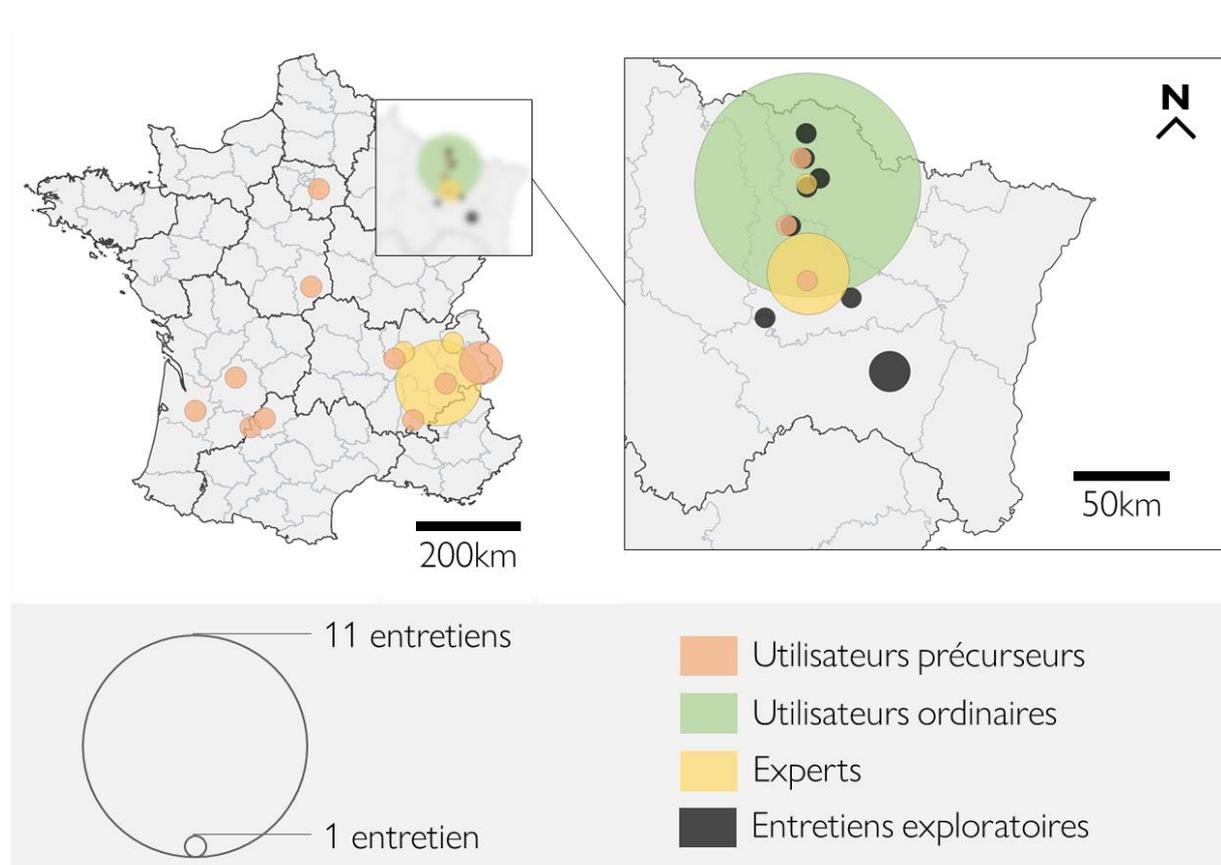


Figure 35 : Distribution géographique des entretiens réalisés

Les utilisateurs précurseurs ont été recrutés pour leurs usages précurseurs dans les domaines de l'énergie et du logement. Ces usages précurseurs ont été identifiés par le biais d'une analyse de la littérature prospective sur l'énergie et l'habitat (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie, 2012, 2016) (voir Tableau 6, Tableau 7 et Figure 36).

Tableau 6 : Description du profil des utilisateurs précurseurs

Participant	Description
1	- Habitant d'un bâtiment non interconnecté avec autoproduction, stockage d'énergie (hydrogène et batterie) et autoconsommation d'énergie
2	- Habitante d'un bâtiment non interconnecté avec autoproduction, stockage (hydrogène et batterie) et autoconsommation d'énergie
3	- Habitante d'un écoquartier
4	- Habitant d'une smarthouse avec autoproduction, stockage auto-construit et autoconsommation d'énergie
5	- Habitant d'un écoquartier participatif et intergénérationnel, avec autoproduction d'énergie
6	-Habitant d'une smarthouse avec autoproduction, stockage et autoconsommation d'énergie
7	- Habitant d'un écoquartier participatif et auto-construit par les habitants, avec autoproduction et autoconsommation d'énergie
8	- Membre d'une centrale villageoise (accueille une partie des panneaux photovoltaïques à son domicile)
9	- Habitant d'un camion avec autoproduction, stockage et autoconsommation d'énergie
10	- Habitant d'une cabane auto-construite, non interconnecté, avec autoproduction, stockage et autoconsommation d'énergie
11	- Habitante d'une maison auto-construite, non interconnectée, avec autoproduction et stockage d'énergie
12	- Habitant d'une tiny house mobile, autonome en énergie et auto-construite - Youtuber
13	- Habitant d'un ecovillage en cours d'auto-construction, participatif et non interconnecté
14	- Utilisateur d'hydrogène énergie (autoproduction et stockage) à son domicile à partir de dispositifs « faits maison »

Tableau 7 : Usages précurseurs de l'énergie et de l'habitat des utilisateurs précurseurs

Usages précurseurs de l'énergie et de l'habitat	Utilisateurs précurseurs													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vivre dans un écohabitation/quartier			×		×		×							×
Vivre dans un logement précaire										×				
Autoconstruire son habitation/système énergétique				×		×	×		×	×	×	×	×	×
Vivre dans une habitation partagée/participative	×	×			×		×							×
Vivre dans une habitation nomade									×			×		
Vivre dans une habitation dans un bâtiment bioclimatique						×	×				×			
Vivre dans une zone non interconnectée	×	×							×	×	×	×	×	
Vivre dans une Smarthouse				×		×								
Autoproduire de l'énergie	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Stocker de l'énergie	×	×		×		×			×	×	×	×	×	×
Vendre de l'énergie				×	×	×	×	×						
Autoconsommer de l'énergie	×	×		×		×	×		×	×	×	×	×	×
Utiliser de l'hydrogène énergie	×	×												×
Avoir recours au financement participatif							×							



Figure 36 : Photographies d'habitations et d'artefacts relatifs aux entretiens. De gauche à droite et de haut en bas : artefact « fait maison » de production, stockage et consommation d'hydrogène ; système domotique et de stockage d'énergie « fait maison » ; tiny house mobile, autonome en énergie et auto-construite ; écoquartier participatif et auto-construit par les habitants, avec autoproduction d'énergie ; bâtiment non interconnecté avec autoproduction d'énergie, stockage d'énergie (hydrogène et batterie) ; smarthouse avec production et stockage d'énergie.

Les experts ont été recrutés pour leur expertise professionnelle dans les domaines de l'énergie et/ou du logement (voir Tableau 8).

Tableau 8 : Description du profil des experts

Participant	Nature de l'expertise professionnelle
1	- Directeur technique d'une entreprise du secteur de l'hydrogène - Ex-directeur de l'innovation d'une entreprise du secteur de l'hydrogène
2	- Dirigeant d'une entreprise du secteur de l'hydrogène énergie - Maire adjoint en charge de l'énergie
3	- Chercheur en science politique et urbanisme sur l'énergie et les smartgrids - Expert du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat - Expert pour la Loi sur la Transition Énergétique
4	- Chercheur en contrôle de systèmes énergétiques
5	- Chercheuse en urbanisme sur les usages des bâtiments énergétiquement performants
6	- Chercheur en psychologie sur l'énergie pour l'habitat
7	- Gestionnaire grands comptes d'un fournisseur d'énergie - Maître de Conférence en énergétique et domotique
8	- Architecte et urbaniste - Directeur d'un Conseil Départemental d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement
9	- Directeur du centre national d'innovation pour le développement durable et l'environnement dans les petites entreprises
10	- Responsable de projets hydrogène énergie dans une université
11	- Chercheuse dans les piles à combustible

Enfin, les utilisateurs ordinaires ont été recrutés pour n'avoir aucune expertise professionnelle ou usage précurseur dans ces domaines. Les utilisateurs précurseurs et les experts ont été identifiés sur les réseaux sociaux, réseaux sociaux professionnels et via des recherches internet. Les participants n'ont pas été rémunérés et ont donné leur consentement éclairé avant de participer à l'étude.

2.2. Matériel

Des cartes d'activités ont été utilisées pour structurer les entretiens, elles avaient pour objectif de supporter la verbalisation d'expériences en lien avec les activités liées à l'énergie dans l'habitat. Elles ont été construites sur la base de l'analyse de la littérature sur les activités liées à l'énergie pour

l'habitat réalisée dans l'étude 1 et d'entretiens exploratoires réalisés avec 9 particuliers autoproducteurs d'énergie (voir Annexe 3 : Entretiens exploratoires). L'objectif de ces entretiens exploratoires était d'affiner nos connaissances sur les activités de gestion du système énergétique, peu étudiées dans la littérature.

Ces cartes d'activités consistent en une description textuelle et visuelle des activités humaines concernant 3 thèmes : l'installation du système énergétique, la gestion du système énergétique et la maîtrise de la consommation d'énergie dans l'habitat.

(1) Installation du système énergétique : cette carte présente les activités réalisées lors de l'installation ou de la rénovation d'un système énergétique : se renseigner et concevoir le système énergétique, convaincre les proches, gérer son installation, financer le système énergétique, installer le système énergétique, vérifier sa conformité et le mettre en service (voir Figure 37).



Figure 37 : Carte d'activités sur le thème (1) Installation du système énergétique

(2) **Gestion du système énergétique** : cette carte représente les activités qui sont déployées pour gérer l'approvisionnement, la production et le stockage d'énergie. Ces activités comprennent la supervision, la maintenance, l'entretien et la réparation, la distribution, le paiement et la vente de l'énergie (voir Figure 38).



Figure 38 : Carte d'activités sur le thème (2) Gestion du système énergétique

(3) **Maitrise de la consommation d'énergie dans l'habitat** : cette carte représente les activités menées pour maitriser la consommation d'énergie : vérifier la consommation, modifier son activité, remplacer ou éteindre des équipements et fabriquer ou modifier soi-même ses équipements (voir Figure 39).



Figure 39 : Carte d'activités sur le thème (3) Maîtrise de la consommation d'énergie dans l'habitat

2.3. Procédure

Les entretiens ont été menés en face à face, individuellement. Ils ont été enregistrés à l'aide d'un enregistreur vocal. Les entretiens se déroulaient en cinq étapes (voir Figure 40) :



Figure 40 : Déroulement des entretiens

(1) **Amorçage** : les participants ont été invités à parler librement de l'énergie pour l'habitat, afin de définir le cadre de l'entretien.

(2) **Expériences** : les participants ont ensuite été invités à verbaliser leurs expériences passées concernant l'énergie pour l'habitat, d'abord librement sur le thème de la carte d'activités en cours (ex. sur l'installation du système énergétique), puis en utilisant la carte d'activités. Il était demandé aux participants d'évoquer les expériences qu'ils trouvaient intéressantes, plaisantes ou déplaisantes pour chaque activité de la carte. Cette étape a été répétée pour chacune des 3 cartes d'activités.

(3) **Projection dans le futur** : l'intervieweur guidait les participants à se projeter dans le futur, en suivant les recommandations de la littérature sur la cognition orientée futur. Après avoir rappelé des expériences passées en lien avec l'énergie dans l'habitat, la projection a été faite en demandant d'abord aux personnes interrogées de décrire de manière générale leur vision à long terme du futur pour construire le contexte général des futurs événements. Il a ensuite été demandé aux participants d'imaginer très précisément le lieu où ils vivraient dans ce futur pour élaborer un contexte autobiographique futur. Pour élaborer une expérience future la plus détaillée possible,

les participants étaient alors invités à décrire oralement de manière aussi détaillée que possible cette représentation du futur dans lequel ils s'imaginaient vivre.

(4) Idéation sur le futur : les participants ont ensuite été invités à émettre des idées sur l'avenir de chacune des trois cartes d'activités. D'abord librement afin d'enrichir le contexte futur du thème et d'initier l'émergence de besoins futurs, ensuite avec la carte d'activités correspondante pour élaborer et enrichir les besoins. Cette étape a été répétée pour chacune des 3 cartes d'activités.

(5) Questionnaire : pour finir les participants devaient remplir un questionnaire qui portait sur les données sociodémographiques classiques et un questionnaire qui portait sur leur expertise perçue en lien avec les domaines de l'énergie et l'habitat. Les questions sur l'expertise étaient inspirées du questionnaire de Johanna et van der Heijden (2000). Les participants devaient évaluer sur une échelle de Likert de 1 (Pas du tout d'accord) à 5 (Tout à fait d'accord) dans quelle mesure ils étaient d'accord avec les propositions suivantes :

- J'ai les connaissances pour m'engager dans des discussions approfondies sur [domaine] ;
- Je suis capable d'identifier lorsque mes connaissances dans le domaine de [domaine] sont insuffisantes pour résoudre un problème ;
- Je me considère compétent pour prendre des décisions dans le domaine de [domaine] ;
- Je considère que je suis compétent pour convaincre et transmettre mes idées dans le domaine de [domaine] ;
- Je considère que je suis compétent pour développer de nouvelles idées dans le domaine de [domaine].

2.4. Traitements

Pour caractériser la contribution des différents profils de participants à l'anticipation des besoins futurs, les entretiens ont été transcrits pour faire l'objet d'une analyse lexicale et d'une analyse détaillée des idées de besoins (voir Figure 41).

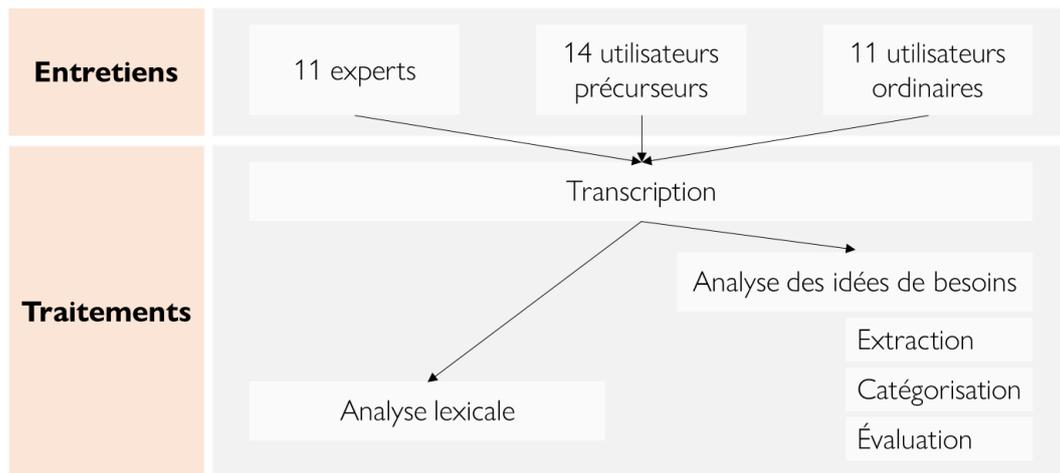


Figure 41 : Schéma du processus de traitement des données

L'objectif de l'analyse lexicale était de caractériser la contribution des différents profils de participants à l'anticipation des besoins, tandis que l'objectif de l'analyse des idées de besoins était de permettre la mesure de la performance à l'anticipation des besoins en termes de quantité et qualité des besoins recueillis.

3 participants (tous des utilisateurs précurseurs) ont été exclus de l'analyse lexicale et de l'analyse des idées de besoins parce que leur entretien s'est déroulé dans des conditions différentes.

Les données ont ensuite été traitées de façon qualitative pour répondre à l'objectif appliqué de l'étude.

2.4.1 Analyse lexicale

De la même façon que dans l'étude 1, nous avons utilisé la méthode de l'analyse lexicale pour comparer les verbalisations des trois profils de participants. Cette méthode est recommandée par Wolff et al. (2005) pour analyser finement le discours recueilli, par exemple lors d'entretiens, des différents acteurs de la conception.

Trois analyses différentes ont été réalisées à l'aide du logiciel IRaMuTeQ 7.2 : la classification hiérarchique descendante, l'analyse factorielle des correspondances et l'analyse des intersections.

Tout d'abord, pour identifier les thèmes qui structurent notre corpus, nous avons réalisé une classification hiérarchique descendante sur l'ensemble du corpus et distinctement sur les sous-corpus de chaque profil de participants. Pour rappel, les classes lexicales, une fois interprétées

peuvent être considérées comme des thèmes. Ces thèmes renseignent sur ce qui est abordé dans le corpus étudié. En considérant que les verbalisations reflètent les objets mentaux (Fallery & Rodhain, 2007; Wolff et al., 2005), ici, les thèmes nous permettent d'inférer les représentations – le contenu et la structure des connaissances sur un sujet – des participants, à travers leur discours. Ensuite, pour identifier les facteurs qui structurent notre corpus, nous avons réalisé une analyse factorielle des correspondances des classes identifiées, sur l'ensemble du corpus et distinctement sur des sous-corpus pour chaque profil de participants.

Enfin, pour identifier les intersections entre les sous-corpus des experts, des utilisateurs précurseurs et des utilisateurs ordinaires, nous avons suivi la méthode des TGens utilisée par Marty et al. (2013) et par Ratinaud et Marchand (2016). Cette méthode consiste à projeter un ensemble de lexiques représentatifs d'une classe (Tgen) sur les classes issues d'une classification hiérarchique descendante cible. Dans notre cas, nous avons projeté les TGens des classes des sous-corpus des experts, des utilisateurs précurseurs et des utilisateurs ordinaires sur les classes issues de la classification hiérarchique descendante de l'ensemble du corpus.

2.4.2 Analyse des idées de besoins

Extraction des idées

La satisfaction de certains besoins est à l'origine d'une expérience positive, tandis que la non-satisfaction d'autres besoins est à l'origine d'une expérience négative (Hassenzahl et al., 2010, 2015; Partala & Kallinen, 2012; Tuch et al., 2013, 2013). Cette expérience peut être prospective, les individus établissant des jugements et des inférences de l'expérience future, sur la base de leurs connaissances (Hassenzahl, 2018, 2008). Dans cette optique, nous avons extrait du corpus les idées relatives à des éléments qui soutiennent (ou pourraient soutenir) une expérience utilisateur positive et les idées d'éléments qui entraînent (ou pourraient entraîner) une expérience utilisateur négative. Les idées relatives à des éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive correspondent à des éléments qui contribuent à la satisfaction des besoins des utilisateurs. Ce sont des éléments sur lesquels il faut s'appuyer pour concevoir des artefacts. Les idées d'éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative correspondent à des éléments qui contribuent à l'insatisfaction des besoins utilisateurs. Ce sont des éléments à éviter et des problèmes à résoudre

lors de la conception d'artefacts. Nous considérons que ces idées correspondent aux expressions les plus significatives des besoins présents et futurs.

Dans la mesure où nos analyses portent sur un discours libre, qui peut relater des expériences positives ou négatives, nous avons construit une grille de codage qui nous permet d'identifier les éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive et les éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative. Sur la base de l'analyse de 15 entretiens (des 3 profils de participants) et en suivant une approche inductive (qui s'inspire du corpus), nous avons spécifié 12 critères d'identification, 6 pour les éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive et 6 pour les éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative (voir Tableau 9).

Tableau 9 : Critères d'identification des idées de besoins

	1. Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative	2. Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive
	1.1 Énonciation d'une source de déplaisir	2.1 Énonciation d'une source de plaisir
Description	Évènement désagréable, évocation d'émotions négatives.	Évènement agréable, évocation d'émotions positives.
Exemple	« les étudiants qui vivent dans des passoires, dans des maisons à 600€ de loyer et faut qu'ils payent une énergie. C'est triste »	« je suis content quand je fais un gain, mais ce n'est pas l'argent que ça rapporte, on apprend des choses sur soi, sur son mode de vie »
	1.2 Énonciation d'une crainte	2.2 Énonciation d'un souhait
Description	Inquiétude de voir un évènement se produire.	Désir d'obtenir quelque chose, de voir un évènement se produire.
Exemple	« que ce soit beaucoup trop intrusif, qu'on soit capable de deviner quand je suis chez moi et quand je ne suis pas chez moi.»	« j'ai envie de parler à ma maison, j'ai envie de lui dire je vais recevoir ce soir, débrouille-toi mais fait en sorte que cela soit bien, et que cela ne me coûte pas trop cher »
	1.3 Énonciation d'une source d'inefficacité	2.3 Énonciation d'une source d'efficacité
Description	Élément qui ne concourt pas à l'efficacité, à l'atteinte des objectifs.	Élément qui concourt à l'efficacité, à l'atteinte des objectifs.
Exemple	« je pense que c'est un travail qui doit être fait en continu la maintenance [...] sinon on va vite tomber sur un système énergétique qui ne fonctionne plus aussi bien qu'il devrait »	« double production, chaleur élec, c'est plus efficace de toute façon »

	1.4 Énonciation d'une difficulté / d'une source de difficulté	2.4 Énonciation d'un élément facilitateur
Description	Élément qui gêne l'utilisation ou l'atteinte des objectifs.	Élément qui facilite l'utilisation ou l'atteinte des objectifs.
Exemple	<i>« Alors ce qui est parfois un petit peu compliqué sur l'action de se renseigner, c'est qu'il y a beaucoup d'acteurs et on ne sait pas forcément qui fait quoi. »</i>	<i>« c'est plus facile globalement dans le collectif de le faire puisque on peut avoir un cadre global de la gestion notamment du chauffage. »</i>
	1.5 Énonciation d'une impossibilité / d'une source d'impossibilité	2.5 Énonciation d'une nouvelle fonction
Description	Élément qui empêche l'utilisation ou l'atteinte des objectifs.	Nouvelle action d'un artefact ou de l'un de ses constituants. Il peut s'agir d'une fonction principale (raison de l'artefact) ou d'une fonction complémentaire (fonction qui complète l'artefact).
Exemple	<i>« on a pas le droit d'autoconsommer. L'autoconsommation est interdite. Donc le stockage et l'énergie est impossible ici. »</i>	<i>« se représenter les besoins de l'habitant, pour savoir quel système énergétique tu vas lui mettre. »</i>
	1.6 Énonciation d'un manque	2.6 Énonciation d'un artefact nouveau
Description	Absence d'un élément nécessaire à l'utilisation du système ou l'atteinte des objectifs.	Technologie, produit, service ou système nouveau.
Exemple	<i>« Il n'y a pas que la quantité d'énergie [...] ça fait un petit peu une boîte noire quoi, il y a des choses derrière qu'on ne connaît pas forcément. »</i>	<i>« Il y aura des outils d'aide à la décision via le numérique, c'est ça qui va permettre d'ajuster plus précisément les pratiques, les ressources qui sont liées à la météo, à l'environnement. »</i>

Ces critères ont ensuite été validés par 16 ergonomes, qui ont dû noter la pertinence de chaque critère (pour identifier la verbalisation d'éléments contribuant à une expérience utilisateur positive ou pour identifier la verbalisation d'éléments contribuant à une expérience utilisateur négative) sur une échelle de Likert allant de 1 (pas du tout adapté) à 7 (très adapté). Tous les critères ont été jugés appropriés (voir Annexe 4 : Évaluation des critères d'identification des idées de besoins). La fiabilité inter-juges a été calculée à l'aide du test Alpha de Cronbach ($\alpha = 0,86$) et a été jugée bonne. Cette grille propose ainsi un spectre de détection plus large que l'extraction de facteurs à l'origine de bons ou mauvais sentiments comme réalisés par Tuch et Hornbæk (2015). Elle répond ainsi au souhait de Partala et Kallinen (2012) de développer des outils pour l'analyse qualitative des besoins et pas seulement leur mesure quantitative. Néanmoins, cette grille de codage ne permet pas

d'identifier la nature des besoins puisque certains besoins bivalents peuvent être à l'origine à la fois d'une expérience positive et d'une expérience négative (Tuch & Hornbæk, 2015), mais simplement d'identifier l'expression de besoins à travers l'évocation d'éléments entraînant une expérience positive ou négative.

Les idées de besoins ont été extraites sur la base de la grille de critères en utilisant le logiciel NVIVO 12.

Catégorisation des idées

Après avoir été extraites, les idées de besoins ont été regroupées pour identifier les propositions originales. Pour cela, les idées dont le contenu était similaire pour les éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative et positive ont été rassemblées distinctement. Les idées de besoins originales similaires évoquées à la fois par des éléments entraînant une expérience positive ou négative n'ont pas été catégorisées ensemble, mais séparément.

Les idées de besoins originales ont ensuite été catégorisées en fonction des trois thèmes d'activités en relations à l'énergie dans l'habitat auxquelles elles appartiennent ((1) installation du système énergétique, (2) gestion du système énergétique ou (3) maîtrise de la consommation d'énergie dans l'habitat).

Évaluation des idées

La créativité des idées a été évaluée à travers la fluidité, l'originalité, la nouveauté, la faisabilité et la pertinence.

La fluidité (nombre total d'idées originales produites) et l'originalité des idées extraites (fréquence d'occurrence d'une idée) ont été calculées. La nouveauté, la faisabilité et la pertinence des idées ont été évaluées indépendamment et sans tenir compte des conditions par le chercheur et un juge indépendant (ergonome travaillant dans le domaine de l'énergie). Les juges ont dû évaluer sur une échelle de Likert allant de 1 (tout à fait d'accord) à 7 (tout à fait en désaccord) les caractères surprenant, réformateur, acceptable, implémentable, applicable et efficace de chaque idée. Les désaccords des juges ont été en partie résolus par la discussion. Le niveau d'accord inter-juges a

été calculé à l'aide du test Alpha de Krippendorff⁵ et a été jugé acceptable ($\alpha = 0,77$). Le caractère nouveau d'une idée correspond à la moyenne de ses scores aux caractères surprenant et réformateur, le caractère faisable d'une idée correspond à la moyenne de ses scores aux caractères acceptable et implémentable, et le caractère pertinent d'une idée correspond à la moyenne de ses scores aux caractères applicable et efficace.

Pour chaque participant, des scores moyens ont été calculés pour l'originalité, la nouveauté, la faisabilité et la pertinence. Le nombre d'idées originales (idées notées comme plus originales que la moyenne), le nombre d'idées nouvelles (idées notées comme plus nouvelles que la moyenne), le nombre d'idées faisables (idées notées comme plus réalisables que la moyenne) et le nombre d'idées pertinentes (idées notées comme plus pertinentes que la moyenne) par participant ont également été calculés. Ces deux mesures (qualité moyenne des idées par participant et nombre d'idées d'une certaine qualité par participant) sont recommandées par Dean et al. (2006). Le score moyen fournit des informations sur le niveau de qualité générale des idées, tandis que le nombre d'idées fournit des informations sur le nombre d'idées d'un certain niveau de qualité, c'est un score de fluidité par qualité des idées. Ce dernier indicateur est particulièrement pertinent pour identifier des idées qualitatives noyées dans une masse d'idées moins qualitatives, car il est indépendant de la fluidité du participant. À titre d'exemple, Nelson et al. (2013) indiquent que les concepteurs commencent par évoquer des idées communes avant d'évoquer des idées plus originales si le temps le permet. Cet indicateur nous permet d'obtenir l'information pertinente du point de vue de la pratique, où l'on cherchera à obtenir des idées nouvelles, plus qu'à obtenir des idées qui sont en moyenne nouvelles. Ainsi nous obtenons les indicateurs suivants :

- Fluidité : nombre total d'idées originales produites par participant ;

⁵ L'Alpha de Krippendorff est un test de fiabilité inter-juges qui ne donne pas uniquement une information sur la cohérence du jugement des juges, mais aussi sur le niveau d'accord entre les juges (Hayes & Krippendorff, 2007).

- Originalité : moyenne de la rareté statistique des idées par participant ; nombre d'idées originales par participant ;
- Nouveauté : moyenne de la nouveauté des idées par participant ; nombre d'idées nouvelles par participant ;
- Faisabilité : moyenne de la faisabilité des idées par participant ; nombre d'idées faisables par participant ;
- Pertinence : moyenne de la pertinence des idées par participant ; nombre d'idées pertinentes par participant.

Des analyses statistiques ont ensuite été effectuées à l'aide de Jamovi 1.2.16 et JASP 0.12.1

3. Résultats

Cette partie présente les résultats, en commençant par les résultats qui visent à répondre à la question de recherche méthodologique, avec dans l'ordre : l'expertise perçue des participants, la description des données recueillies, les résultats de l'analyse lexicale, les résultats de l'analyse des idées de besoins. Ensuite, les résultats qui contribuent à la question de recherche appliquée sont présentés, avec dans l'ordre : les activités liées à l'énergie dans l'habitat, les besoins des utilisateurs, les utilisateurs futurs et les scénarios d'usages futurs et enfin les idées de solutions.

3.1. Expertise perçue des participants

Pour vérifier la normalité des données, nous avons effectué un test de Shapiro-Wilk qui a montré que toutes les variables ne répondaient pas à l'hypothèse de normalité. Pour cette raison, nous avons utilisé le test non paramétrique de Kruskal-Wallis, pour effectuer des comparaisons de scores entre les profils.

Les scores d'expertise pour le domaine de l'habitat et de l'énergie ont été calculés en faisant la moyenne des scores obtenus aux 5 questions concernant chaque domaine. Nous constatons une différence significative concernant l'expertise perçue du domaine de l'habitat ($H(2) = 20$; $p < 0,001$; $\varepsilon^2 = 0,646$) et de l'énergie ($H(2) = 21,5$; $p < 0,001$; $\varepsilon^2 = 0,695$) (voir Tableau 10).

Tableau 10 : Test de Kruskal-Wallis sur l'expertise perçue des participants pour les domaines de l'habitat et de l'énergie

	<i>H</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	ϵ^2
Énergie	21,5	2	<0,001***	0,695
Habitat	20	2	<0,001***	0,646

*** $p < 0,001$.

Un test de comparaison post-hoc par paire de Dunn indique un score significativement plus élevé pour (voir Tableau 11, Figure 42 et Figure 43) :

- Les experts (habitat : moyenne = 4,27 ; écart-type = 0,58 ; énergie : moyenne = 4,52 ; écart-type = 0,37) par rapport aux utilisateurs précurseurs sur le domaine de l'énergie (énergie : moyenne = 3,82 ; écart-type = 0,58) et par rapport aux utilisateurs ordinaires sur les thèmes de l'énergie et de l'habitat (habitat : moyenne = 2,31 ; écart-type = 0,72 ; énergie : moyenne = 2,51 ; écart-type = 0,72) ;
- Les utilisateurs précurseurs par rapport aux utilisateurs ordinaires sur les thèmes de l'énergie et de l'habitat.

Tableau 11 : Moyenne et écart-type pour l'expertise perçue des participants pour les domaines de l'habitat et de l'énergie

		Moyenne	Écart-type
Énergie	Experts	4,52	0,37
	Utilisateurs ordinaires	2,51	0,72
	Utilisateurs précurseurs	3,82	0,58
Habitat	Experts	4,27	0,58
	Utilisateurs ordinaires	2,31	0,72
	Utilisateurs précurseurs	3,71	0,74

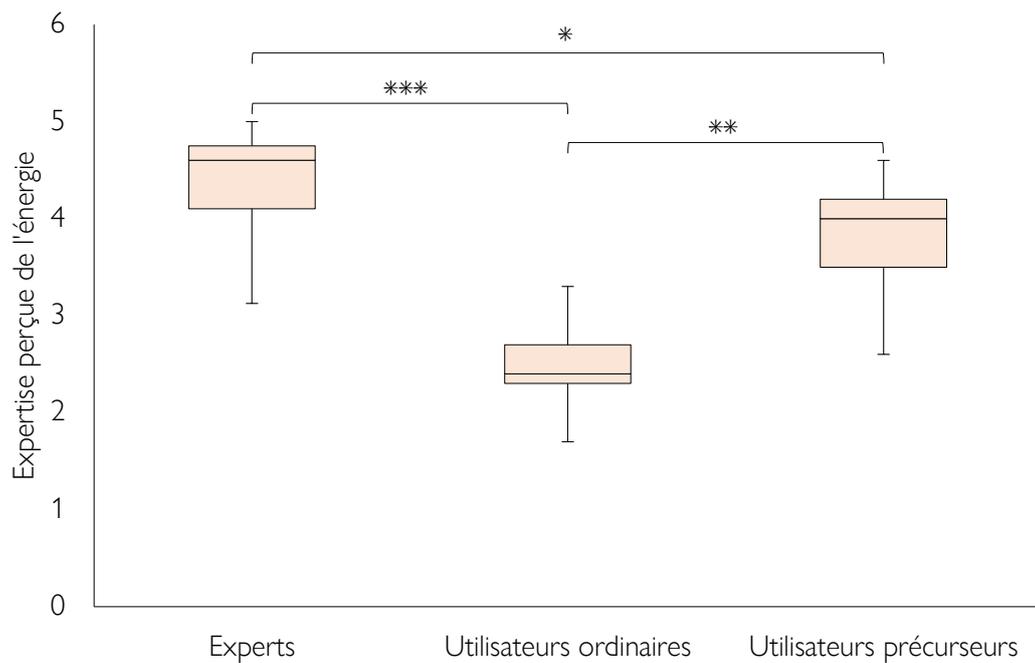


Figure 42 : Expertise perçue de l'énergie (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

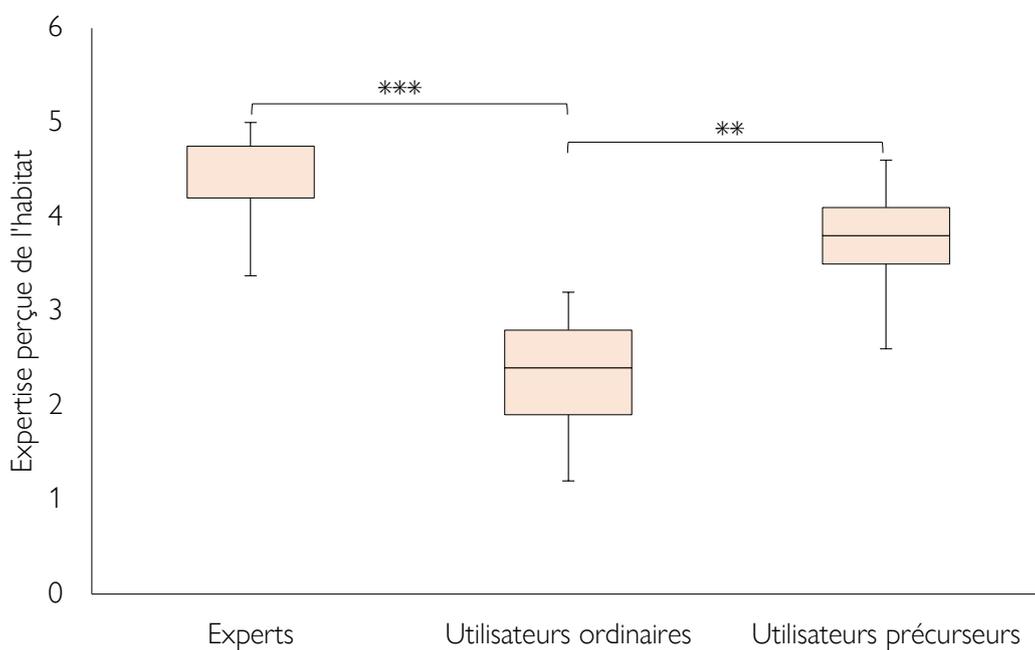


Figure 43 : Expertise perçue de l'habitat (** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

Les utilisateurs précurseurs et les experts présentent donc une expertise perçue plus importante que les utilisateurs ordinaires pour les domaines de l'énergie et de l'habitat.

3.2. Description des données collectées

Les entretiens ont duré entre 56 minutes et 3 heures 38 minutes (moyenne = 106,68 ; écart-type = 33,23) pour un total de 59 heures et 25 minutes. Il n'y avait pas de différence dans la durée des entretiens pour les utilisateurs ordinaires, les utilisateurs précurseurs et les experts ($H(2) = 3,48$; $p = 0,176$; $\varepsilon^2 = 0,109$).

Après transcription des entretiens et suppression des interventions de l'interviewer, nous avons obtenu un corpus de 376819 mots pour un total de 33534 lignes et 581 pages.

3.3. Résultats de l'analyse lexicale

3.3.1 Analyse pour tous les participants

Les résultats de la classification hiérarchique descendante montrent que l'ensemble du corpus des entretiens est composé de six classes lexicales (99,42% des segments de texte du corpus classés), qui représentent les thèmes qui sont significativement mentionnés (voir Figure 44 et Tableau 12) :

- La classe 2 se réfère à la maîtrise de la consommation d'énergie, ce qui est mis en place pour diminuer sa consommation d'énergie (ex. « *éteindre les appareils* », « *monitorer sa consommation* ») ;
- La classe 1 se réfère aux usages de l'énergie, elle comprend un discours sur les différents usages (ex. « *chauffage* », « *cuisson* », « *douche* »), les équipements (ex. « *poêle à bois* », « *chaudière* », « *thermostat* »), les pratiques (ex. « *fermer les volets* », « *attendre le soir* ») et les sources d'énergie (ex. « *bois* », « *gaz* », « *électricité* ») ;
- La classe 4 porte sur les changements de penser l'énergie (ex. « *sensibiliser les gens* », « *prendre conscience* ») ;
- La classe 3 se réfère aux changements de pratiques souhaitables liés à l'énergie à l'échelle individuelle pour diminuer sa consommation d'énergie dans une logique financière et de respect de l'environnement (ex. « *modifier son activité* ») ;

- La classe 5 se réfère aux systèmes énergétiques désirables ou aux changements souhaitables liés à l'énergie d'ordre technique (ex. « *panneaux solaires* », « *smart grid* ») et organisationnel ou collectif (ex. « *produire collectivement* », « *vendre le surplus* ») ;
- La classe 6 se réfère aux attentes liées aux professionnels de l'énergie (ex. « *vérifier la conformité* », « *donner des informations* »).

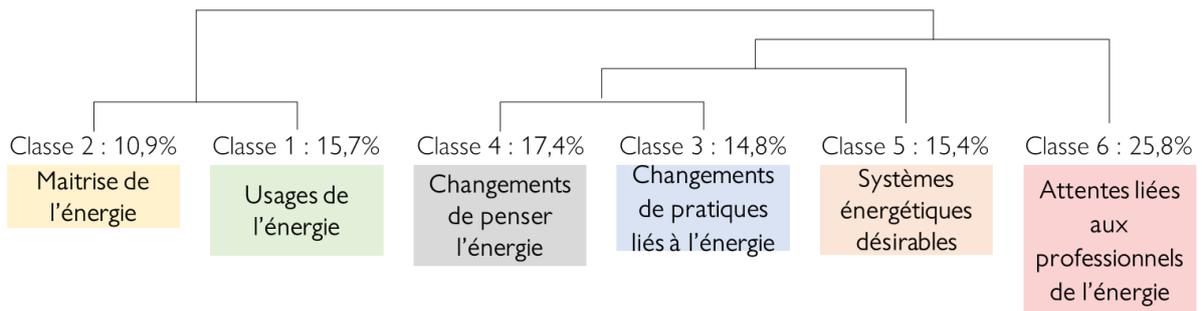


Figure 44 : Classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des entretiens

Tableau 12 : Description des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des entretiens

	Mots représentatifs	Verbatim représentatif
Classe 2 : Maitrise de l'énergie	- Éteindre - Veille - Lumière	« L'ordinateur je l'éteins, voire je le débranche si je sais que j'en aurais pas l'utilité. »
Classe 1 : Usages de l'énergie	- Chauffer - Douche - Cuisson	« Je me chauffe au bois. Toute la maison est chauffée au bois par un poêle. »
Classe 4 : Changements de penser l'énergie	- Monde - Écologie - Gens	« Même si tout le monde subit le coût c'est un bien pour l'écologie, les gens sont obligés de réduire la voilure. »
Classe 3 : Changements de pratiques liés à l'énergie	- Modifier - Gestion - Énergie	« Modifier certaines activités au quotidien pour permettre de consommer de l'énergie plus efficacement. »
Classe 5 : Systèmes énergétiques désirables	- Produire - Stocker - Distribuer	« Distribuer l'énergie je pense que ce sera au niveau local. »
Classe 6 : Attentes liées aux professionnels de l'énergie	- Professionnel - Renseigner - Connaître	« Installer par le biais d'un professionnel ça c'est clair et net parce que moi je m'y connais pas. »

L'analyse factorielle des correspondances sur les classes obtenues nous permet d'identifier les facteurs de structuration suivants (voir Figure 45) :

- Le facteur 1 (29,5% de l'inertie totale) représenté sur l'axe horizontal, montre une opposition entre une logique intellectuelle qui se distingue par un discours sur des idées, intentions, des souhaits, des valeurs etc. et une logique pragmatique qui se distingue par un discours sur ce que les activités liées à l'énergie dans l'habitat ;
- Le facteur 2 (21,65% de l'inertie totale) représenté sur l'axe vertical, montre une opposition entre une logique sociale ou humaine caractérisée par un discours sur la contribution des humains à l'énergie dans l'habitat, et une logique technique caractérisée par un discours sur la contribution de la technique à l'énergie dans l'habitat.

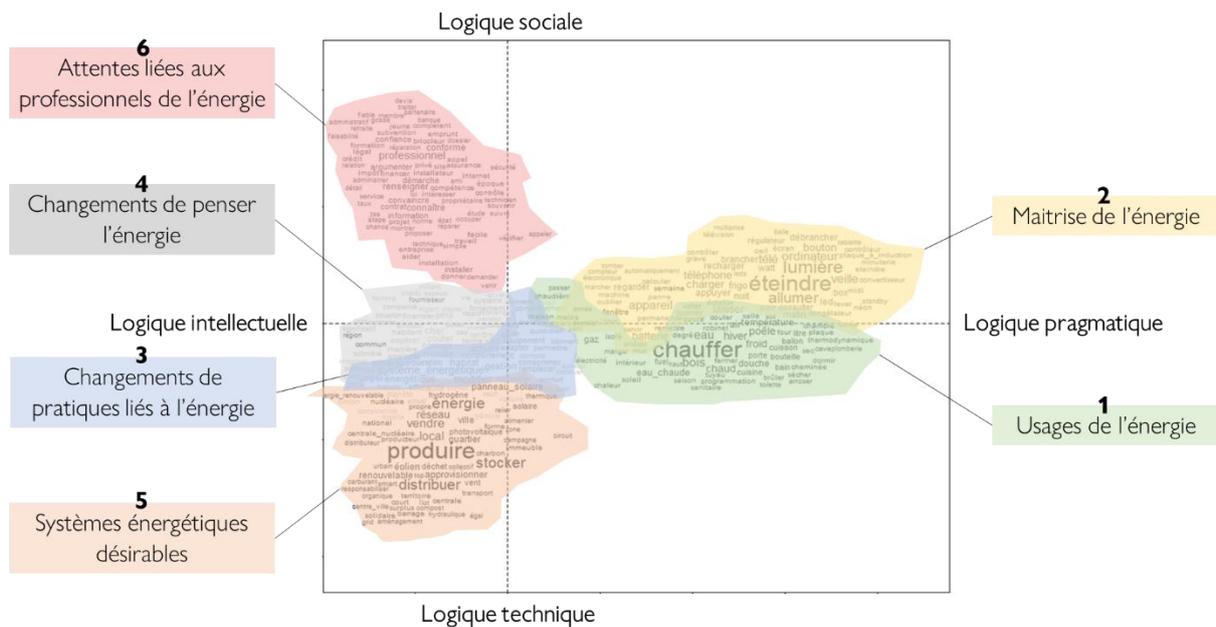


Figure 45 : Analyse factorielle des correspondances pour les classes issues de la classification hiérarchique descendante pour l'ensemble des entretiens

3.3.2 Classifications lexicales pour les trois profils

Experts

Le discours des experts est composé de manière significative de quatre classes lexicales (92,37% des segments de texte du sous-corpus classés) (voir Figure 46 et Tableau 13) :

- La classe 1 se réfère aux systèmes énergétiques désirables dans ses aspects techniques (ex. « panneaux solaires », « smart grid ») et organisationnels (ex. « grande échelle ») ;
- La classe 3 se réfère aux attentes liées aux professionnels de l'énergie et porte notamment sur les nouveaux services qu'ils doivent proposer (ex. « contrat de maintenance ») ;
- La classe 2 décrit les nouveaux enjeux des professionnels de l'énergie (ex. « s'adapter aux besoins », « gestion de la vie privée ») ;
- La classe 4 décrit les usages de l'énergie (ex. « chauffer ») et les activités de maîtrise de l'énergie (ex « réduire le chauffage », « mettre des capteurs »).

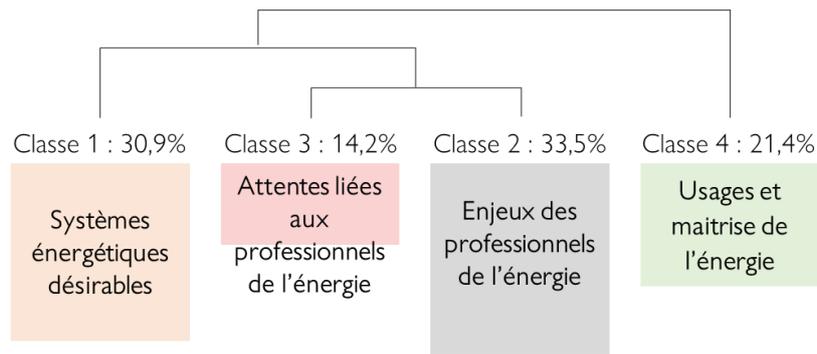


Figure 46 : Classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les experts

Tableau 13 : Description des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les experts

	Mots représentatifs	Verbatim représentatif
Classe 1 : Systèmes énergétiques désirables	- Énergie - Produire - Stocker	« Des îlots énergétiques où on arrive à intégrer et les unités de production et les unités de consommation. »
Classe 3 : Attentes liées aux professionnels de l'énergie	- Service - Conforme - Maintenance	« On ne paiera pas pour un achat mais un service. »
Classe 2 : Enjeux des professionnels de l'énergie	- Information - Renseigner - Convaincre	« Qu'on donne les moyens aux gens de pouvoir se renseigner. »
Classe 4 : Usages et maîtrise de l'énergie	- Chauffer - Éteindre - Fenêtre	« Par exemple je ne vais éteindre un frigo. »

Utilisateurs précurseurs

Le discours des utilisateurs précurseurs est composé de manière significative de six classes lexicales (98,54% des segments de texte du sous-corpus classés) (voir Figure 47 et Tableau 14) :

- La classe 4 se réfère aux activités de maîtrise de l'énergie (ex. « éteindre les appareils », « changer d'habitude ») et de gestion du système énergétique (ex. « mettre en route la batterie ») réalisées par les utilisateurs ;

- La classe 3 porte sur les usages de l'énergie (ex. « chauffage », « cuisson »), les équipements (ex. « panneau solaire ») et les sources d'énergies (ex. « bois », « gaz », « électricité ») ;
- La classe 1 se réfère à l'installation du système énergétique (ex. « coût », « convaincre sa famille », « démarche légale ») ;
- La classe 5 porte sur les systèmes énergétiques désirables et notamment sur leurs caractéristiques (ex. « autonome », « local ») ;
- La classe 2 porte sur les changements souhaitables à l'échelle individuelle (ex. « s'impliquer », « responsabiliser ») ;
- La classe 6 porte sur la relation à la société, à l'état et aux professionnels de l'énergie, notamment concernant l'accès aux informations et la capacité de prise de décision.

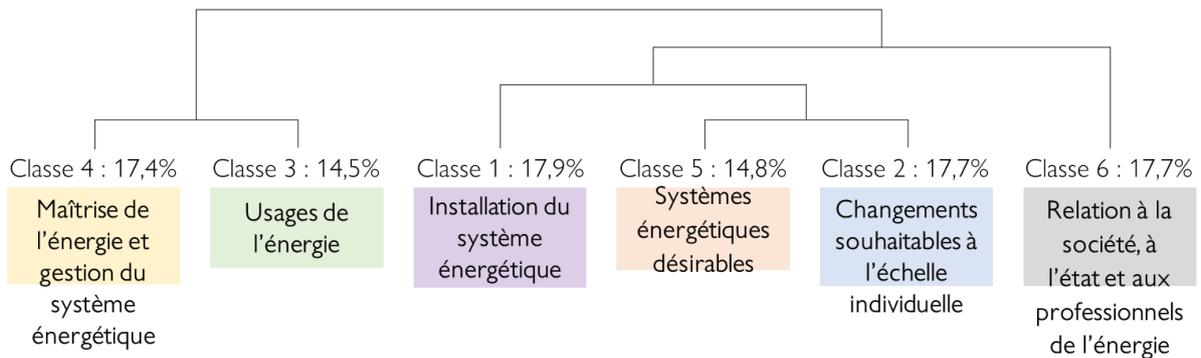


Figure 47 : Classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs précurseurs

Tableau 14 : Description des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs précurseurs

	Mots représentatifs	Verbatim représentatif
Classe 4 : Maîtrise de l'énergie et gestion du système énergétique	- Éteindre - Batterie - Lumière	« Les panneaux solaires il faut pas les laisser prendre le soleil s'ils sont pas branchés sur un régulateur. »
Classe 3 : Usages de l'énergie	- Chauffer - Bois - Hiver	« L'été ce sont des panneaux solaires thermiques qui sont reliés au chauffe-eau. »
Classe 1 : Installation du système énergétique	- Installer - Fournisseur d'énergie - Contrat	« Soi-même déjà ça leur coûte moins cher pour installer. »
Classe 5 : Systèmes énergétiques désirables	- Énergie - Produire - Local	« Relier les lieux de production à l'endroit où il y a la consommation. »
Classe 2 : Changements souhaitables à l'échelle individuelle	- Gens - Penser - Espérer	« J'espère que les gens sauront mieux gérer et adapter leur consommation. »
Classe 6 : Relation à la société, à l'état et aux professionnels de l'énergie	- Répondre - Information - Donnée	« Ils tireront de ces données des informations qui leur serviront pour répondre à la problématique globale. »

Utilisateurs ordinaires

Le discours des utilisateurs ordinaires est composé de manière significative de quatre classes lexicales (98,02% des segments de texte du sous-corpus classés) (voir Figure 48 et Tableau 15) :

- La classe 2 se réfère aux changements souhaitables à l'échelle individuelle (ex « optimiser », « se rendre compte ») ;
- La classe 1 se réfère aux systèmes énergétiques désirables et notamment sur leurs caractéristiques (ex. « local », « propre ») ;
- La classe 3 se réfère aux services attendus des professionnels de l'énergie (ex. « renseigner », « installer ») ;
- La classe 4 se réfère aux usages de l'énergie (ex. « chauffer ») et aux activités de maîtrise de l'énergie (ex. « purger le chauffage »).

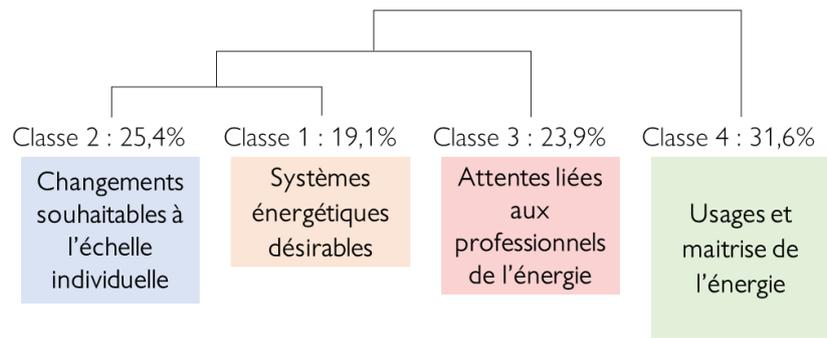


Figure 48 : Classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs ordinaires

Tableau 15 : Description des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs ordinaires

	Mots représentatifs	Verbatim représentatif
Classe 2 : Changements souhaitables à l'échelle individuelle	- Consommer - Payer - Numérique	« Les gens se rendent compte que consommer de l'énergie souvent ça va de pair avec payer. »
Classe 1 : Systèmes énergétiques désirables	- Énergie - Stocker - Produire	« Si on arrive à en stocker et qu'on puisse l'utiliser par la suite ça peut éviter de trop en produire. »
Classe 3 : Attentes liées aux professionnels de l'énergie	- Conforme - Professionnel - Renseigner	« Si tu peux être sûr que le professionnel auquel tu fais appel est garant de la conformité. »
Classe 4 : Usages et maîtrise de l'énergie	- Chauffer - Éteindre - Allumer	« Je le gère plus vraiment puisque j'ai mis tous mes souhaits dans ce thermostat. »

Synthèse des classifications lexicales

Si l'on compare les thèmes évoqués par chaque profil, on remarque que :

- Les experts sont les seuls à évoquer les enjeux des professionnels de l'énergie ;
- Les attentes liées aux professionnels de l'énergie sont adressées par les utilisateurs précurseurs à travers deux classes : la relation aux professionnels de l'énergie et l'installation du système énergétique, contre une classe chez les experts et utilisateurs ordinaires ;

- Les utilisateurs précurseurs sont les seuls à évoquer l'installation du système énergétique, la relation à la société et à l'état, et la gestion du système énergétique ;
- Les utilisateurs précurseurs et ordinaires sont les seuls à évoquer les changements souhaitables au niveau individuel ;
- Les classes évoquées par les utilisateurs ordinaires sont toutes mentionnées par les autres profils ;
- Les 3 profils évoquent les usages de l'énergie, la maîtrise de l'énergie et les systèmes énergétiques désirables. À noter que chez les experts cette classe revêt plutôt des aspects techniques (ex. « smart grid ») alors que pour les utilisateurs ordinaires et précurseurs, elle porte plus sur des qualités (ex. « collectif », « local ») (voir Tableau 16).

Tableau 16 : Thèmes mentionnés par les utilisateurs ordinaires, les utilisateurs précurseurs et les experts

Thèmes	Utilisateurs ordinaires	Utilisateurs précurseurs	Experts
Systèmes énergétiques désirables	X	X	X
Usages de l'énergie	X	X	X
Maîtrise de l'énergie	X	X	X
Attentes liées aux professionnels de l'énergie	X		X
Changements souhaitables à l'échelle individuelle	X	X	
Enjeux des professionnels de l'énergie			X*
Gestion du système énergétique		X*	
Installation du système énergétique		X*	
Relation à la société, à l'état et aux professionnels de l'énergie		X*	

* *Thème original*

3.3.3 Analyse factorielle pour les trois profils

Experts

L'analyse factorielle des correspondances sur les classes obtenues (voir Figure 49) permet d'identifier des facteurs de structuration similaires à ceux obtenus dans l'analyse de l'ensemble des entretiens, avec le facteur 1 (41,6% de l'inertie totale) sur l'axe horizontal qui fait état d'une opposition entre une logique intellectuelle et une logique pragmatique et le facteur 2 (33,02% de l'inertie totale) sur l'axe vertical qui fait état d'une opposition entre une logique sociale et une logique technique.

Le discours des experts s'inscrit majoritairement dans une logique intellectuelle c'est-à-dire qui porte sur des idées, des intentions, des souhaits, des valeurs etc. Ce discours fait en grande partie référence à des thèmes qui sont liés à leurs connaissances professionnelles (attentes liées aux professionnels de l'énergie, enjeux des professionnels de l'énergie).

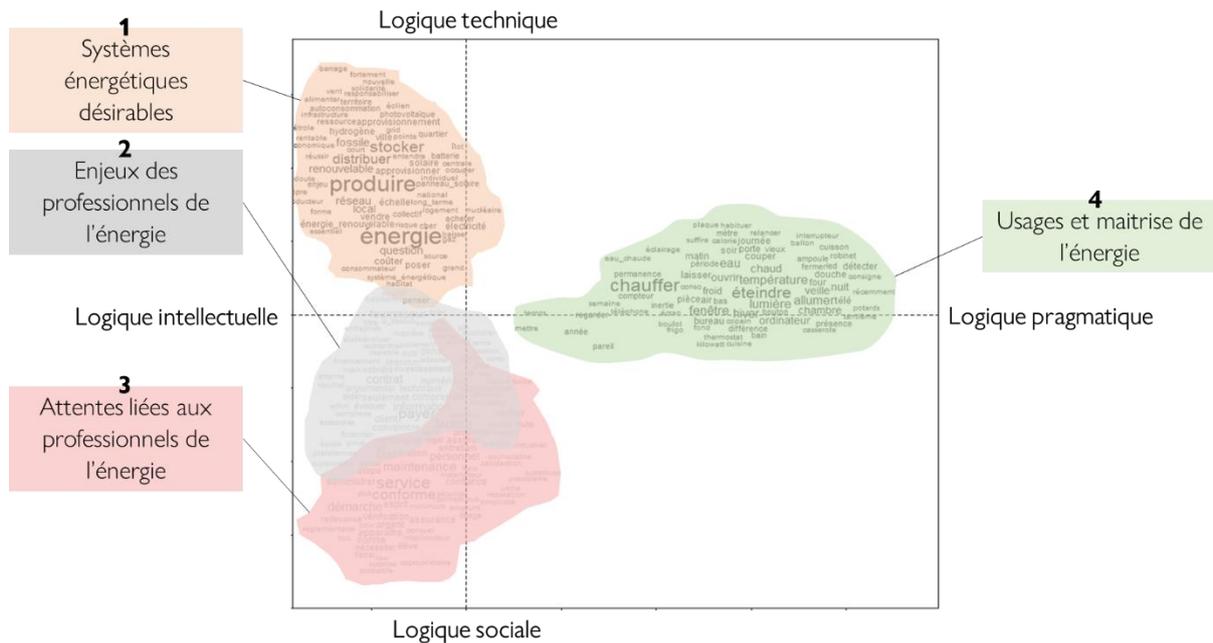


Figure 49 : Analyse factorielle des correspondances pour les classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les experts

Utilisateurs ordinaires

De la même manière que pour l'ensemble des entretiens, les experts et les utilisateurs précurseurs, l'analyse factorielle des correspondances sur les classes obtenues met en avant les mêmes facteurs de structuration, avec le facteur 1 (41,77% de l'inertie totale) sur l'axe horizontal qui montre une opposition entre une logique intellectuelle et une logique pragmatique et le facteur 2 (31,87% de l'inertie totale) sur l'axe vertical qui montre une opposition entre une logique sociale et une logique technique.

Comme pour les experts, le discours des utilisateurs ordinaires s'inscrit majoritairement dans une logique intellectuelle qui porte sur des idées, des intentions, des souhaits, des valeurs, et qui ne s'inscrit pas dans l'action.

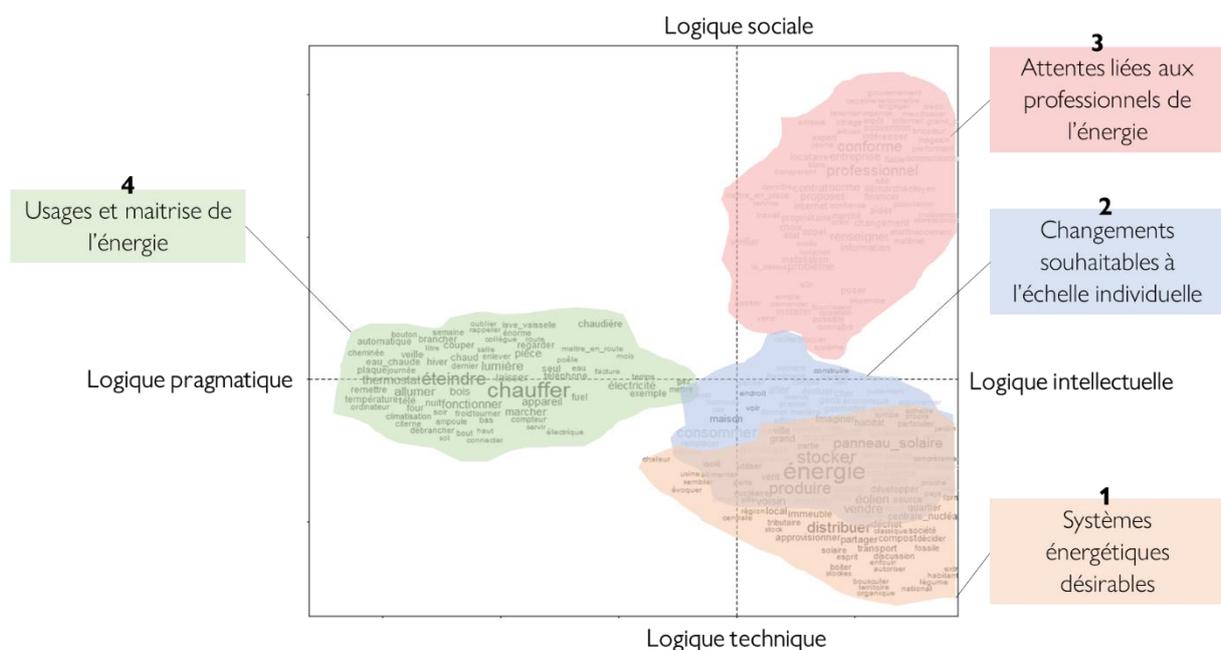


Figure 51 : Analyse factorielle des correspondances pour les classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les utilisateurs ordinaires

Synthèse des classifications lexicales

Le discours des experts et des utilisateurs ordinaires s'inscrit principalement dans une logique intellectuelle, qui fait notamment référence aux connaissances professionnelles pour les experts. Le discours des utilisateurs précurseurs s'inscrit quant à lui dans des logiques à la fois intellectuelle

et pragmatique, en faisant référence à des thèmes qui sont liés à leurs connaissances et à leurs expériences personnelles.

3.3.4 Intersection des verbalisations des trois profils

La Figure 52 et la Figure 53 présentent la sur-représentation et la sous-représentation des Tgens des classes des sous-corpus des experts, des utilisateurs précurseurs et des utilisateurs ordinaires sur les classes issues de la classification hiérarchique descendante de l'ensemble du corpus. Si l'on s'intéresse à la contribution respective de chaque profil de participants aux classes pour l'ensemble des entretiens, on remarque que ce sont les utilisateurs précurseurs qui contribuent le plus aux classes :

- Classe 1 (Usages de l'énergie) à travers leur discours sur les usages de l'énergie ;
- Classe 2 (Maîtrise de l'énergie) à travers leur discours sur la maîtrise de l'énergie et la gestion du système énergétique ;
- Classe 3 (Changements de pratiques liés à l'énergie) à travers leur discours sur les changements souhaitables à l'échelle individuelle et sur les systèmes énergétiques désirables ;
- Classe 4 (Changements de penser l'énergie) à travers leur discours sur les changements souhaitables à l'échelle individuelle ;
- Classe 6 (Attentes liées aux professionnels de l'énergie) à travers leur discours sur l'installation du système énergétique et sur la relation aux professionnels de l'énergie.

Les experts et les utilisateurs ordinaires contribuent de façon comparable à ces classes, cependant les utilisateurs ordinaires sont les plus importants contributeurs de la classe 5 (Systèmes énergétiques désirables), notamment à travers leur discours sur les systèmes énergétiques désirables.

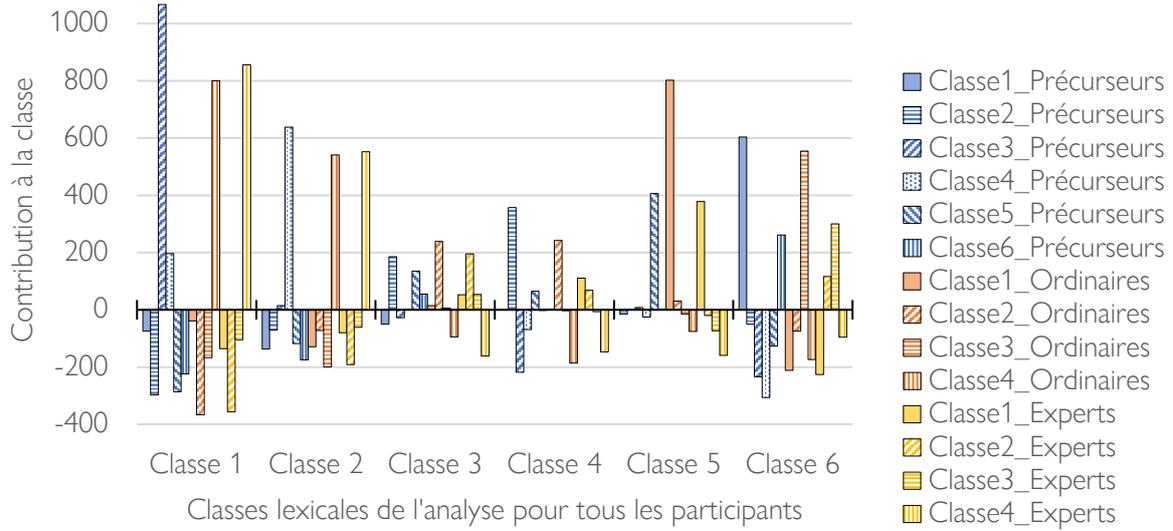


Figure 52 : Contributions des classes issues de la classification hiérarchique descendante pour les experts, utilisateurs ordinaires et utilisateurs précurseurs (à travers les Tgens) pour chaque classe de la classification hiérarchique descendante pour tous les participants

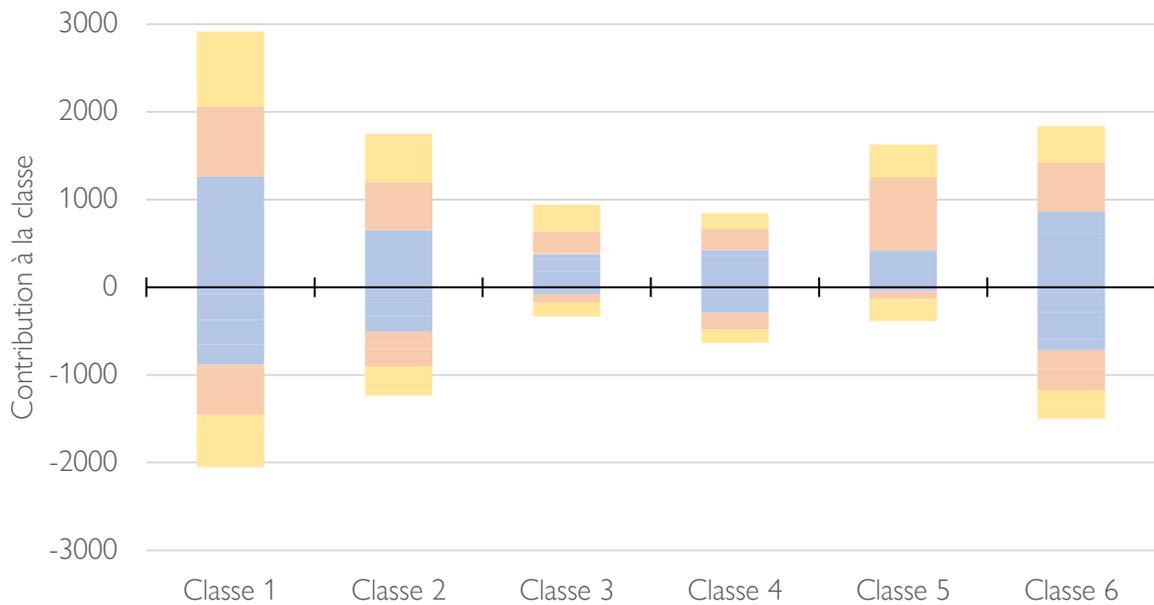


Figure 53 : Contribution des profils (Experts Utilisateurs ordinaires Utilisateurs précurseurs) pour chaque classe de la classification hiérarchique descendante pour tous les participants

Il apparaît que les utilisateurs précurseurs évoquent plus de thèmes et plus de thèmes originaux que les utilisateurs ordinaires et les experts, ces derniers évoquant également un thème original. On remarque aussi que les utilisateurs précurseurs ont le discours le plus porté sur les aspects

pragmatiques, en rapport aux activités liées à l'énergie dans l'habitat, alors que les experts ont un discours qui fait plutôt référence à des aspects professionnels et intellectuels. Ces résultats permettent de valider nos hypothèses selon lesquelles :

- Les experts et les utilisateurs précurseurs mentionnent des thèmes plus originaux que les utilisateurs ordinaires (hypothèse 1.1) ;
- Les experts et les utilisateurs précurseurs mentionnent des thèmes différents (hypothèse 2.1).

3.4. Résultats de l'analyse des idées de besoins

3.4.1 Description des idées extraites

Au total, 807 verbatims correspondant à l'expression d'idées qui soutiennent une expérience utilisateur positive (538) et d'idées qui entraînent une expérience utilisateur négative ont été extraits (269), pour un total de 231 idées originales de besoins après catégorisation (143 sont issues d'idées qui soutiennent une expérience utilisateur positive, et 88 issues d'idées qui entraînent une expérience utilisateur négative).

Un test de Shapiro-Wilk a montré que toutes les variables ne correspondaient pas à l'hypothèse de normalité, pour cette raison, nous avons utilisé le test non paramétrique de Kruskal-Wallis, pour effectuer des comparaisons de scores entre les profils.

Nos analyses ne montrent pas de différences significatives entre les profils pour (voir Tableau 17 et Tableau 18) :

- Le nombre d'idées qui soutiennent une expérience utilisateur positive pour le thème 1 ($H(2) = 0,489$; $p = 0,783$; $\varepsilon^2 = 0,016$) et le thème 3 ($H(2) = 1,136$; $p = 0,567$; $\varepsilon^2 = 0,058$) ;
- Le nombre d'idées qui entraînent une expérience utilisateur négative pour le thème 1 ($H(2) = 3,203$; $p = 0,202$; $\varepsilon^2 = 0,100$) et le thème 2 ($H(2) = 2,674$; $p = 0,263$; $\varepsilon^2 = 0,084$).

Tableau 17 : Test de Kruskal-Wallis pour les idées extraites

	(1) Installer le système énergétique				(2) Gérer le système énergétique				(3) Maitriser sa consommation d'énergie			
	H	df	p	ϵ^2	H	df	p	ϵ^2	H	df	p	ϵ^2
Idées qui soutiennent une expérience utilisateur positive	0,489	2	0,783	0,016	6,931	2	0,031*	0,224	1,136	2	0,567	0,058
Idées qui entraînent une expérience utilisateur négative	3,203	2	0,202	0,100	2,674	2	0,263	0,084	6,435	2	0,04*	0,200

* $p < 0,05$.

Tableau 18 : Moyenne et écart-type pour les idées extraites

		(1) Installer le système énergétique		(2) Gérer le système énergétique		(3) Maitriser sa consommation d'énergie	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Idées qui soutiennent une expérience utilisateur positive	Experts	4,3	2,11	8,7	2,58	4,1	2,69
	Utilisateurs ordinaires	4,18	2,27	5,64	3,53	3,09	2,12
	Utilisateurs précurseurs	5,09	3,21	10,4	4,78	4	2,72
Idées qui entraînent une expérience utilisateur négative	Experts	3,64	2,06	4,36	3,01	2,91	1,76
	Utilisateurs ordinaires	2,09	1,7	2,55	2,02	1,64	1,43
	Utilisateurs précurseurs	2,64	2,06	3,55	2,02	1,09	1,22

Cependant nous observons une différence significative entre les profils pour le nombre d'idées qui soutiennent une expérience utilisateur positive pour le thème 2 ($H(2) = 6,931$; $p = 0,031$; $\epsilon^2 =$

0,224) (voir Figure 54). Un test de comparaison post-hoc par paire de Dunn indique un score significativement plus élevé pour les utilisateurs précurseurs (moyenne = 10,4 ; écart-type = 4,78) par rapport aux experts (moyenne = 8,7 ; écart-type = 2,58) et aux utilisateurs ordinaires (moyenne = 5,64 ; écart-type = 3,53).

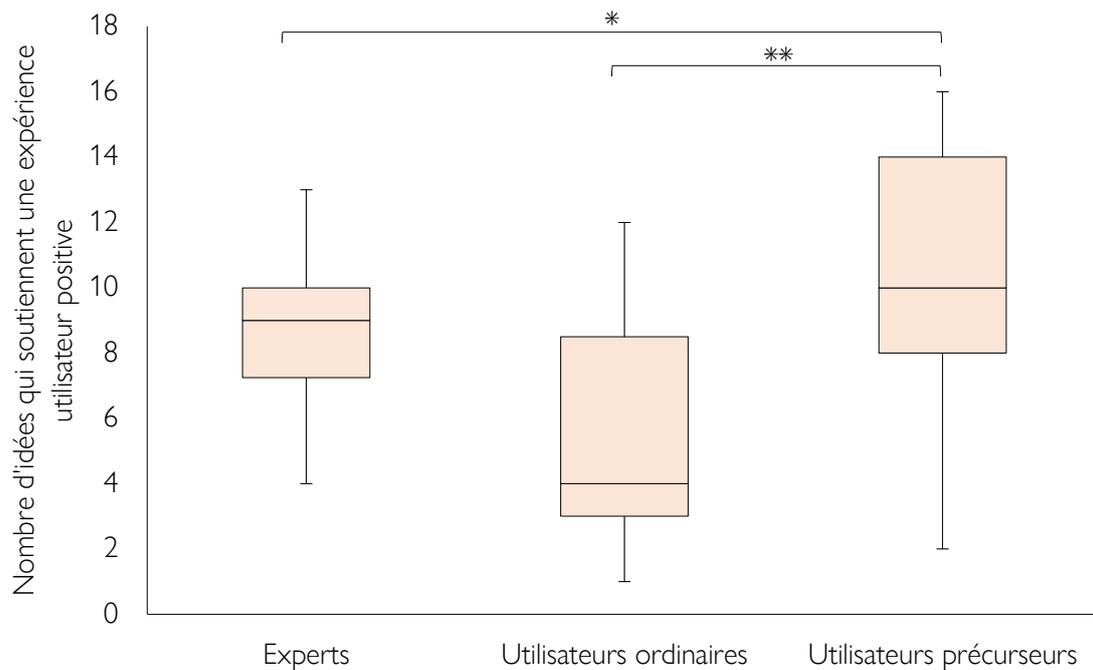


Figure 54 : Nombre d'idées qui soutiennent une expérience utilisateur positive pour le thème (2) Gérer le système énergétique (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$)

De plus, nous observons une différence significative entre les profils pour le nombre d'idées qui entraînent une expérience utilisateur négative pour le thème 3 ($H(2) = 6,435$; $p = 0,04$; $\epsilon^2 = 0,200$) (voir Figure 55). Un test de comparaison post-hoc par paire de Dunn révèle un score significativement plus élevé pour les experts (moyenne = 2,91 ; écart-type = 1,76) que pour les utilisateurs précurseurs (moyenne = 1,09 ; écart-type = 1,22).

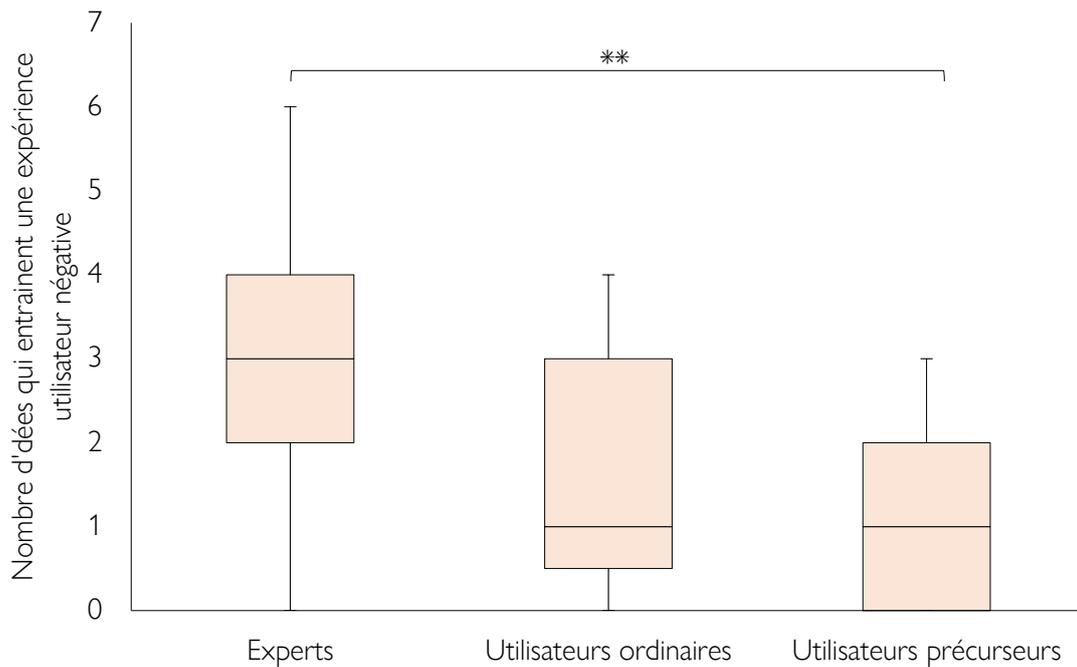


Figure 55 : Nombre d'idées qui entraînent une expérience utilisateur négative pour le thème (3) Maitriser sa consommation d'énergie (** $p < .01$)

Les utilisateurs précurseurs semblent donc évoquer plus d'idées qui soutiennent une expérience utilisateur positive alors que les experts évoquent plus d'idées qui entraînent une expérience utilisateur négative.

3.4.2 Créativité des idées de besoins

Pour vérifier la normalité des données, nous avons effectué un test de Shapiro-Wilk qui a montré que toutes les variables ne répondaient pas à l'hypothèse de normalité. Pour cette raison, nous avons utilisé le test non paramétrique de Kruskal-Wallis, pour effectuer des comparaisons concernant les différents indicateurs de créativité calculés pour les idées.

Nos analyses n'ont pas montré de différences significatives pour (voir Tableau 19 et Tableau 20) :

- La fluidité pour le thème 1 ($H(2) = 1,427$; $p = 0,490$; $\varepsilon^2 = 0,045$) et le thème 3 ($H(2) = 1,871$; $p = 0,392$; $\varepsilon^2 = 0,058$) ;

- Le nombre d'idées originales pour le thème 1 ($H(2) = 0,308$; $p = 0,857$; $\varepsilon^2 = 0,009$), le thème 2 ($H(2) = 3,978$; $p = 0,137$; $\varepsilon^2 = 0,123$) et le thème 3 ($H(2) = 1,199$; $p = 0,549$; $\varepsilon^2 = 0,036$) ;
- L'originalité des idées pour le thème 1 ($H(2) = 0,586$; $p = 0,746$; $\varepsilon^2 = 0,017$), le thème 2 ($H(2) = 0,006$; $p = 0,997$; $\varepsilon^2 = 0,091$) et le thème 3 ($H(2) = 0,523$; $p = 0,770$; $\varepsilon^2 = 0,016$) ;
- Le nombre d'idées nouvelles pour le thème 1 ($H(2) = 2,3768$; $p = 0,305$; $\varepsilon^2 = 0,074$) et le thème 3 ($H(2) = 0,152$; $p = 0,927$; $\varepsilon^2 = 0,004$) ;
- La nouveauté des idées pour le thème 1 ($H(2) = 0,879$; $p = 0,644$; $\varepsilon^2 = 0,027$), le thème 2 ($H(2) = 0,499$; $p = 0,779$; $\varepsilon^2 = 0,016$) et le thème 3 ($H(2) = 3,993$; $p = 0,136$; $\varepsilon^2 = 0,125$) ;
- Le nombre d'idées faisables pour le thème 1 ($H(2) = 1,636$; $p = 0,441$; $\varepsilon^2 = 0,051$), le thème 2 ($H(2) = 3,831$; $p = 0,147$; $\varepsilon^2 = 0,112$) et le thème 3 ($H(2) = 0,513$; $p = 0,774$; $\varepsilon^2 = 0,016$) ;
- La faisabilité des idées dans le thème 1 ($H(2) = 0,161$; $p = 0,923$; $\varepsilon^2 = 0,005$), thème 2 ($H(2) = 4,826$; $p = 0,09$; $\varepsilon^2 = 0,151$) et le thème 3 ($H(2) = 0,694$; $p = 0,707$; $\varepsilon^2 = 0,022$) ;
- Le nombre d'idées pertinentes pour le thème 1 ($H(2) = 1,427$; $p = 0,49$; $\varepsilon^2 = 0,045$) et le thème 3 ($H(2) = 1,871$; $p = 0,392$; $\varepsilon^2 = 0,058$).
- La pertinence des idées pour le thème 1 ($H(2) = 2,092$; $p = 0,351$; $\varepsilon^2 = 0,065$), le thème 2 ($H(2) = 0,584$; $p = 0,747$; $\varepsilon^2 = 0,18$) et le thème 3 ($H(2) = 3,416$; $p = 0,181$; $\varepsilon^2 = 0,107$).

Tableau 19 : Test de Kruskal-Wallis pour la fluidité, le nombre d'idées originales, l'originalité des idées, le nombre d'idées nouvelles, la nouveauté des idées, le nombre d'idées faisables, la faisabilité des idées, le nombre d'idées pertinentes et la pertinence des idées

	(1) Installer le système énergétique				(2) Gérer le système énergétique				(3) Maitriser sa consommation d'énergie			
	H	df	p	ϵ^2	H	df	p	ϵ^2	H	df	p	ϵ^2
Fluidité	1,427	2	0,490	0,045	6,065	2	0,048*	0,190	1,871	2	0,392	0,058
Nombre d'idées originales	0,308	2	0,857	0,009	3,978	2	0,137	0,123	1,199	2	0,549	0,036
Originalité des idées	0,586	2	0,746	0,017	0,006	2	0,997	0,091	0,523	2	0,770	0,016
Nombre d'idées nouvelles	2,376	2	0,305	0,074	6,247	2	0,044*	0,195	0,152	2	0,927	0,004
Nouveauté des idées	0,879	2	0,644	0,027	0,499	2	0,779	0,016	3,993	2	0,136	0,125
Nombre d'idées faisables	1,636	2	0,441	0,051	3,831	2	0,147	0,112	0,513	2	0,774	0,016
Faisabilité des idées	0,161	2	0,923	0,005	4,826	2	0,09	0,151	0,694	2	0,707	0,022
Nombre d'idées pertinentes	1,427	2	0,490	0,045	6,065	2	0,048*	0,189	1,871	2	0,392	0,058
Pertinence des idées	2,092	2	0,351	0,065	0,584	2	0,747	0,018	3,416	2	0,181	0,107

* $p < 0,05$.

Tableau 20 : Moyenne et écart-type pour la fluidité, le nombre d'idées originales, l'originalité des idées, le nombre d'idées nouvelles, la nouveauté des idées, le nombre d'idées faisables, la faisabilité des idées, le nombre d'idées pertinentes et la pertinence des idées

		(1) Installer le système énergétique		(2) Gérer le système énergétique		(3) Maitriser sa consommation d'énergie	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Fluidité	Experts	8,00	2,61	12,6	4,41	6,82	3,95
	Utilisateurs ordinaires	6,27	3,17	8,18	4,38	4,73	2,80
	Utilisateurs précurseurs	7,73	4,54	13,9	6,32	5,09	3,59
Nombre d'idées originales	Experts	2,36	1,57	3,91	2,51	2,09	2,21
	Utilisateurs ordinaires	2,00	1,26	2,45	1,75	1,09	1,14

	Utilisateurs précurseurs	2,09	1,58	5,27	3,82	1,45	1,92
Originalité des idées	Experts	0,00622	0,00129	0,00819	0,00126	0,00765	0,00234
	Utilisateurs ordinaires	0,00589	0,00135	0,00799	0,00235	0,00759	0,00249
	Utilisateurs précurseurs	0,00627	0,00152	0,00822	0,00147	0,00874	0,00346
Nombre d'idées nouvelles	Experts	4,73	2,15	7,00	2,37	3,36	2,77
	Utilisateurs ordinaires	3,45	1,86	4,82	1,99	2,64	1,69
	Utilisateurs précurseurs	4,64	2,54	8,36	3,88	2,73	2,10
Nouveauté des idées	Experts	3,62	0,403	3,50	0,277	4,07	0,383
	Utilisateurs ordinaires	3,56	0,374	3,39	0,343	4,03	0,381
	Utilisateurs précurseurs	3,31	0,644	3,43	0,198	3,73	0,583
Nombre d'idées faisables	Experts	6,73	2,65	10,2	4,33	5,73	3,80
	Utilisateurs ordinaires	5,18	3,03	6,64	3,85	4,36	2,62
	Utilisateurs précurseurs	6,55	4,11	10,2	5,55	4,64	2,58
Faisabilité des idées	Experts	2,54	0,469	3,03	0,148	2,43	0,527
	Utilisateurs ordinaires	2,60	0,506	3,03	0,362	2,14	0,465
	Utilisateurs précurseurs	2,69	0,508	3,33	0,450	2,23	0,670
Nombre d'idées pertinentes	Experts	8,00	2,61	12,6	4,41	6,82	3,95
	Utilisateurs ordinaires	6,27	3,17	8,18	4,38	4,73	2,80
	Utilisateurs précurseurs	7,73	4,54	13,9	6,32	5,09	3,59
Pertinence des idées	Experts	1,68	0,172	1,45	0,120	1,44	0,184
	Utilisateurs ordinaires	1,67	0,226	1,56	0,407	1,51	0,195
	Utilisateurs précurseurs	1,53	0,257	1,48	0,177	1,34	0,190

Néanmoins, nous constatons une différence significative dans la fluidité pour le thème 2 ($H(2) = 6,065$; $p = 0,048$; $\varepsilon^2 = 0,190$) (voir Tableau 19 et Tableau 20). Un test de comparaison par paire post-hoc de Dunn a montré un score significativement plus élevé pour les experts (moyenne = 12,6 ; écart-type = 4,41) que pour les utilisateurs ordinaires (moyenne = 8,18 ; écart-type = 4,38),

et pour les utilisateurs précurseurs (moyenne = 13,9 ; écart-type = 6,32) que pour les utilisateurs ordinaires (voir Figure 56).

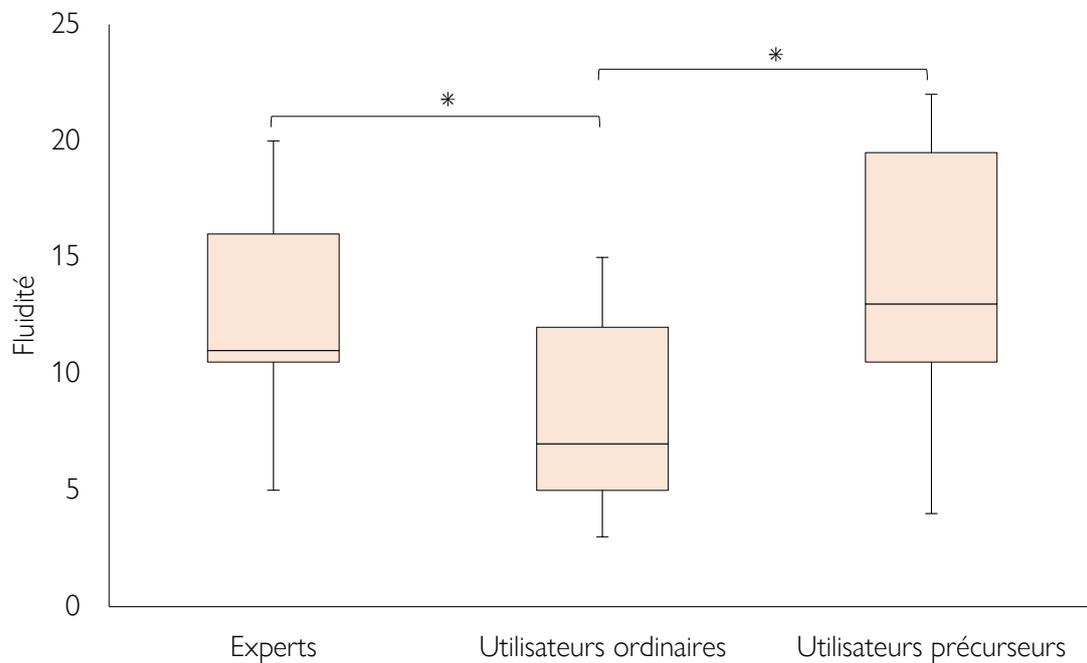


Figure 56 : Fluidité pour le thème (2) Gérer le système énergétique (* $p < 0,05$)

Nous avons également observé une différence significative dans le nombre d'idées nouvelles pour le thème 2 ($H(2) = 6,247$; $p = 0,044$; $\epsilon^2 = 0,195$) (voir Tableau 19 et Tableau 20). Un test de comparaison par paire post-hoc de Dunn a montré un nombre significativement plus élevé d'idées nouvelles pour les experts (moyenne = 7,00 ; écart-type = 2,37) que pour les utilisateurs ordinaires (moyenne = 4,82 ; écart-type = 1,99), et pour les utilisateurs précurseurs (moyenne = 8,36 ; écart-type = 3,88) que pour les utilisateurs ordinaires (voir Figure 57).

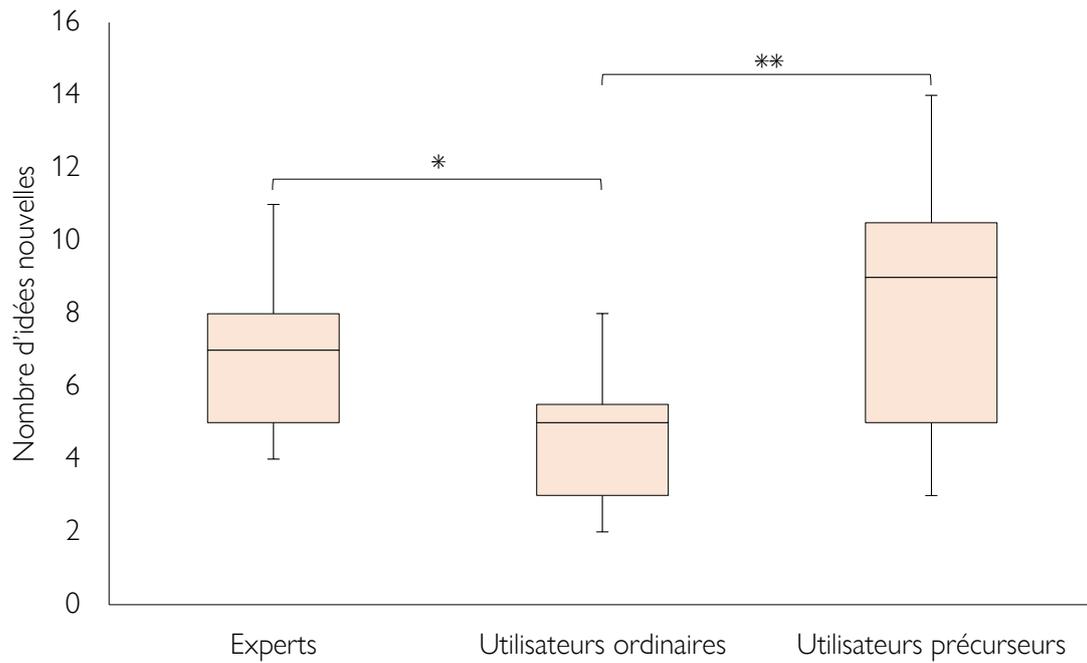


Figure 57 : Nombre d'idées nouvelles pour le thème (2) Gérer le système énergétique (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$)

Enfin, notre analyse a révélé une différence significative dans le nombre d'idées pertinentes pour le thème 2 ($H(2) = 6,065$; $p = 0,048$; $\varepsilon^2 = 0,189$) (voir Tableau 19 et Tableau 20). Un test de comparaison par paire post-hoc de Dunn a montré un nombre significativement plus élevé d'idées pertinentes pour les experts (moyenne = 12,6 ; écart-type = 4,41) que pour les utilisateurs ordinaires (moyenne = 8,18 ; écart-type = 4,38), et pour les utilisateurs précurseurs (moyenne = 13,9 ; écart-type = 6,32) que pour les utilisateurs ordinaires (voir Figure 58).

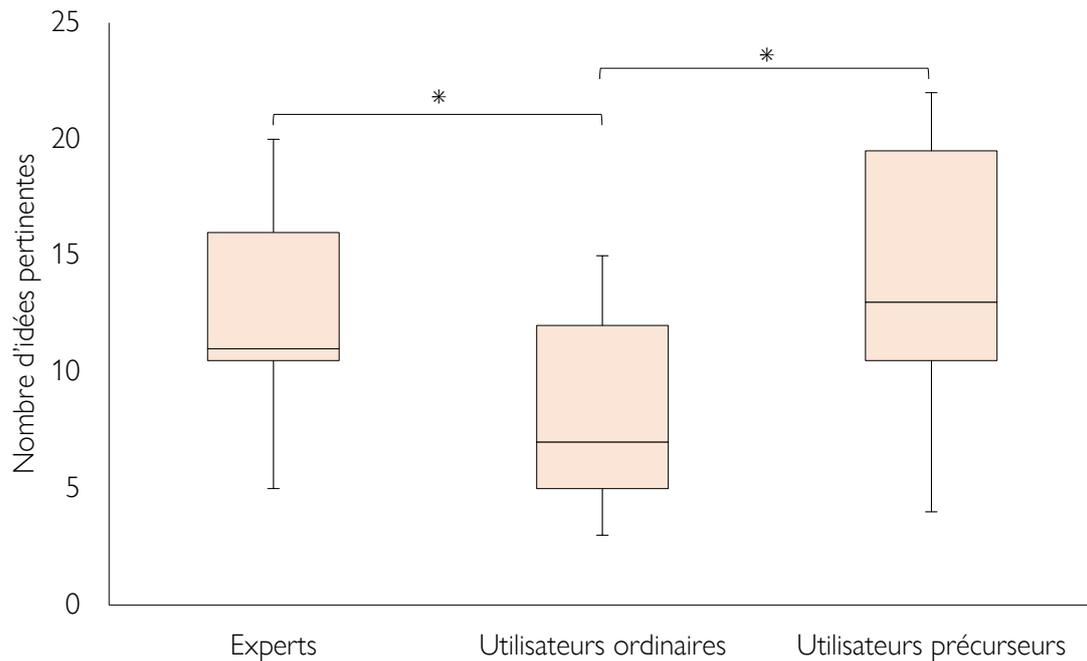


Figure 58 : Nombre d'idées pertinentes pour le thème (2) Gérer le système énergétique (* $p < 0,05$)

Ainsi, les experts et les utilisateurs précurseurs mentionnent plus d'idées de besoins que les utilisateurs ordinaires et avec une plus grande créativité tant en termes de nouveauté que de pertinence. Bien que ces résultats soient limités au thème (2) Gestion des systèmes énergétiques, ils permettent de valider les hypothèses selon lesquelles les experts et les utilisateurs précurseurs génèrent plus d'idées de besoins que les utilisateurs ordinaires (hypothèse 1.2), et que ces idées peuvent être plus nouvelles (hypothèse 1.4) et plus pertinentes (hypothèse 1.6). Toutefois, nos résultats ne nous amènent pas à conclure en faveur de nos hypothèses concernant une plus grande originalité (hypothèse 1.3) et faisabilité (hypothèse 1.5) chez les experts et les utilisateurs précurseurs.

3.5. Résultats appliqués à l'énergie dans l'habitat

Les données recueillies au cours de cette étude ont été utilisées pour répondre à des objectifs appliqués qui s'inscrivent dans le cadre du projet ULHyS (Université de Lorraine Hydrogen Sciences and technologies). Cette partie présente les résultats d'analyses qualitatives des données.

3.5.1 Activités liées à l'énergie dans l'habitat

Il s'agissait dans un premier temps d'enrichir notre compréhension des activités liées à l'énergie dans l'habitat. Pour cela, le discours des participants a été analysé afin d'identifier les activités réalisées par les participants et les buts que ces activités cherchent à atteindre. Certaines activités ne sont effectuées que par les utilisateurs précurseurs et sont donc jugées prospectives (voir Figure 59).

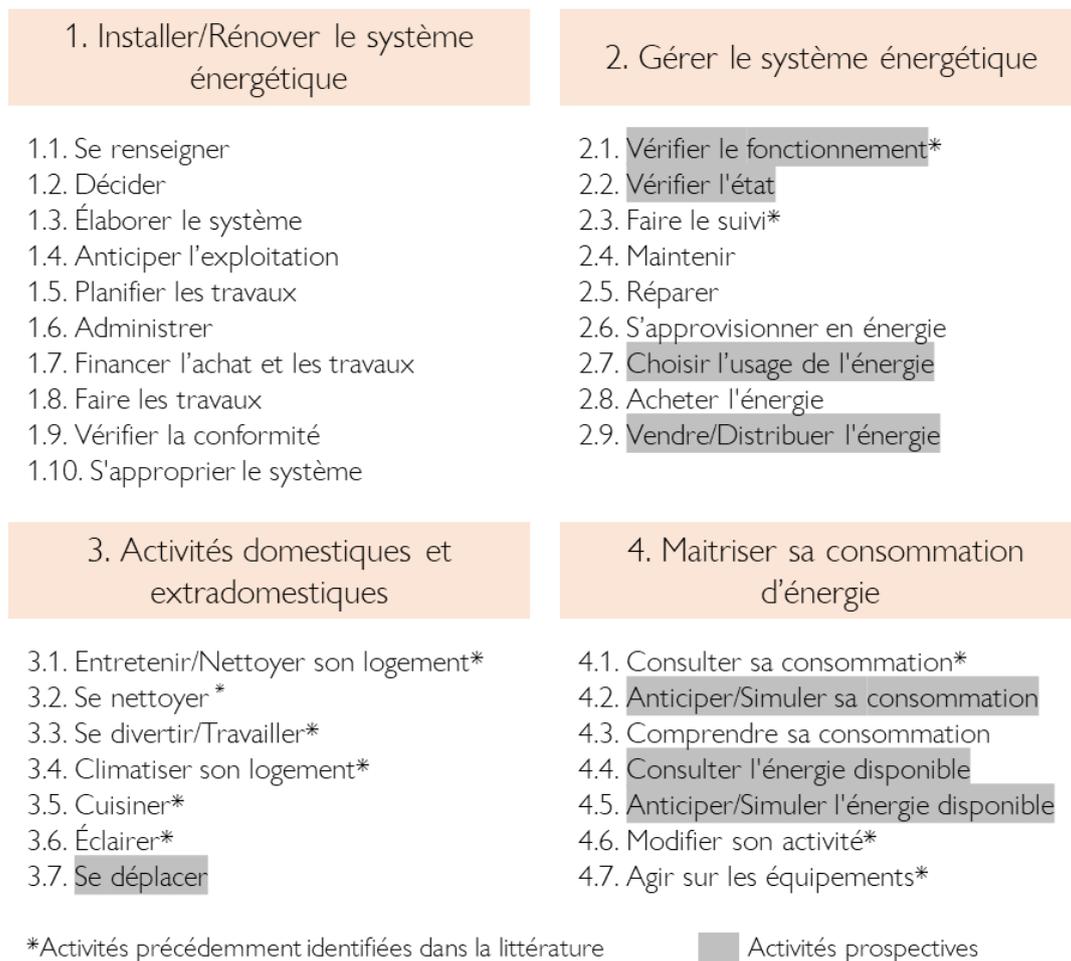


Figure 59 : Description des activités liées à l'énergie dans l'habitat sur la base des données de l'étude 2

Nos résultats nous amènent à ajouter aux activités identifiées dans la littérature les activités d'installation/rénovation du système énergétique (voir Tableau 21).

Tableau 21 : Activités d'installation/rénovation du système énergétique

Activité	But	Exemple de Verbatim
Se renseigner	Avoir des informations sur les technologies de l'énergie (coût, empreinte écologique etc.), leur installation, leur financement et leur fonctionnement.	« Trouver des infos objectives sur les différentes technologies et comment est-ce qu'elles peuvent s'adapter à nos besoins »
Décider	Prendre une décision, parfois collectivement avec les individus qui possèdent et utilisent le système, sur le choix d'installer ou de rénover le système énergétique et d'opter pour des technologies de l'énergie en particulier.	« On dépend beaucoup de notre propriétaire, c'est ce que je vis actuellement puisque du coup, pour moi la chaudière est bonne à changer. Après je comprends bien pour mes propriétaires que ça a un coût »
Élaborer le système	Avoir une idée de la composition et l'organisation de son système énergétique.	« Dimensionner les panneaux, prévoir leur poids, leur emplacement, essayer de prévoir les cas de figure qu'on pourrait avoir suivant l'orientation de la maison. Et tout ce qui était branchement avec les batteries, les onduleurs, les chargeurs, tout ça. Essayer de prévoir un peu tout ça, l'emplacement que ça demandait »
Anticiper l'exploitation	Avoir une idée du futur du fonctionnement, de la gestion, de l'utilisation et des coûts/bénéfices de son système énergétique.	« Je fais ma simulation, est-ce que c'est rentable quoi ? Je vais produire tant, est-ce que c'est rentable ? [...] savoir comment ça va évoluer dans les années à venir. »
Planifier les travaux	Avoir organisé le déroulement de l'installation ou de la rénovation.	« Il fallait que tout soit bien séquencé au niveau des signatures, l'acte de vente, le prêt, la réalisation des travaux. Si je rentre dans les détails, le prêt ne pouvait être débloqué qu'une fois les travaux des fenêtres réalisés. »
Administrer	Être en accord avec les exigences légales (travaux, autoconsommation etc.) liées à l'installation ou la rénovation du système énergétique.	« Les déclarations n'ont pas été faites dans les bons délais, du coup on se retrouve avec des pertes de tarifs. Donc on passe de 25 centimes à 12 centimes le kilowattheure »

Financer l'achat et les travaux	Avoir les financements (fonds propres, financement collectif, emprunt, subvention, remise d'impôt) nécessaires pour l'installation ou la rénovation du système énergétique.	« À la banque, des fois elle me disait je ne sais pas si ça peut faire partie des travaux énergétiques, donc je ne sais pas si ça peut rentrer dans le prêt à taux zéro, donc il y avait des questions comme ça, et en fait c'est le chef de l'équipe qui me dit si je ne mets pas des nouvelles tuiles votre truc va pourrir dans quelques années, donc ça fait partie des travaux énergétiques. Donc il m'a signé une petite lettre et la banque a dit c'est bon »
Faire les travaux	Avoir un système énergétique fonctionnel.	« Pour les panneaux, j'ai trouvé cela relativement, malgré que je sois dans le coup, relativement difficile à installer. J'ai mis plusieurs mois avant que cela fonctionne. »
Vérifier la conformité	Être vérifié comme étant en accord avec les normes réglementaires et/ou aux performances prévues.	« Je me suis tapé le CONSUEL une fois, comme j'étais privé, il m'a demandé les loupottes, les ampoules, il m'a demandé les boîtes des ampoules, il voulait tout vérifier si tout était conforme, il a été mettre pour vérifier la terre partout, il a tout vérifié »
S'approprier le système	Avoir les connaissances sur le fonctionnement et l'utilisation de son système, ses technologies de l'énergie.	« J'étais contente que le chauffagiste m'explique comment fonctionne la chaudière, moi je m'étais fait des petites fiches techniques pour la relancer, pour dépanner, en tout cas l'utiliser moi-même sans avoir recours au gros guide avec du vocabulaire qui me faisait un peu peur. »

Pour ces activités, c'est l'élaboration du système énergétique qui est responsable du plus grand nombre d'éléments identifiés comme étant à l'origine d'une expérience négative pour l'utilisateur, suivie de se renseigner, décider, financer et faire les travaux (voir Figure 60).

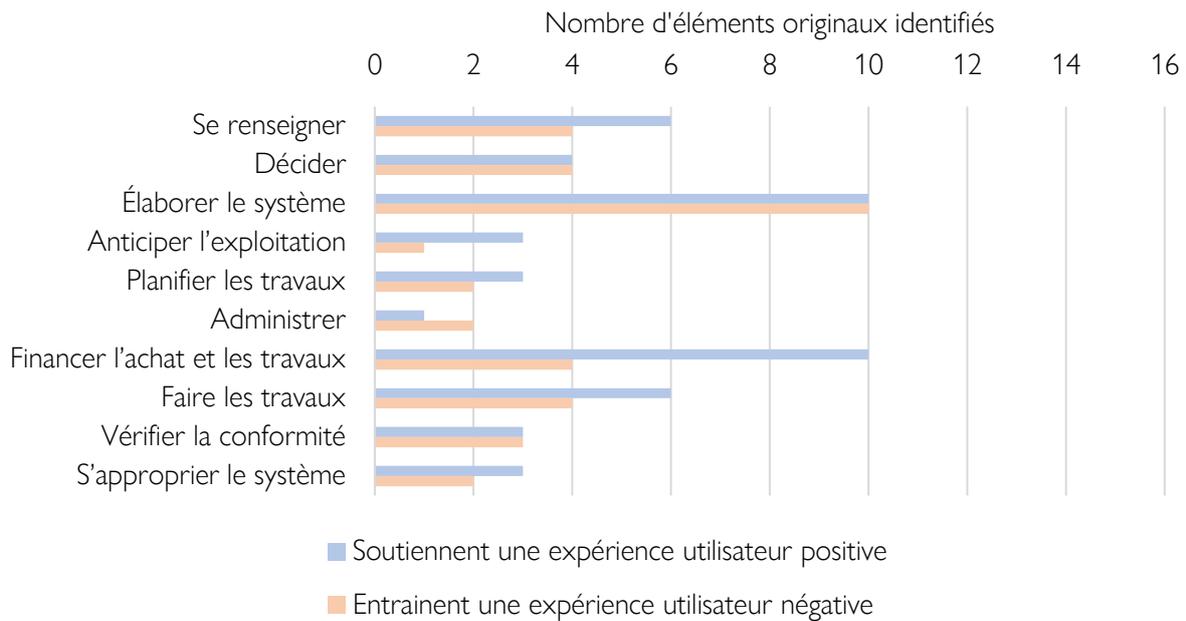


Figure 60 : Nombre d'éléments identifiés comme favorisant une expérience positive ou entraînant à une expérience négative pour les activités d'installation/rénovation du système énergétique

En outre, nos résultats nous permettent de détailler les activités de gestion du système énergétique (voir Tableau 22) et les activités de maîtrise de la consommation d'énergie (voir Tableau 23). Respectivement, l'approvisionnement de l'énergie, la réparation, le choix de l'utilisation de l'énergie et l'achat d'énergie sont responsables du plus grand nombre d'éléments identifiés comme causant une expérience utilisateur négative pour les activités de gestion du système énergétique (voir Figure 61) ; et la consultation de la consommation, modifier son activité, agir sur les équipements et comprendre sa consommation sont responsables du plus grand nombre d'éléments identifiés comme causant une expérience utilisateur négative pour les activités de maîtrise de la consommation d'énergie (voir Figure 62).

Tableau 22 : Activités de gestion du système énergétique (* activités précédemment identifiées dans la littérature)

Activité	But	Exemple de Verbatim
Vérifier le fonctionnement*	Savoir si son système, ses technologies de l'énergie fonctionnent.	« Si tu as une cellule qui est cachée, elle va impacter toutes les autres. Et comme mes deux panneaux sont en série, ça va impacter mes deux panneaux et je ne vais rien produire. Donc c'est important, là on n'est pas sous les arbres, ça va. Mais en automne comme maintenant, si on était plus proche de l'arbre, je pense que tous les matins j'irais voir. »
Vérifier l'état	Connaitre l'état de son système, de ses technologies de l'énergie.	« Quand je vois ce genre de voyant, moi je joue au contrôleur sur l'atelier d'énergie, qui est près des batteries et là en fait je peux consulter les alarmes urgentes, non urgentes. Et puis en fait j'ai un fichier papier, parce que ce sont des systèmes de codes, qui me dit en fait de quoi il s'agit. »
Faire le suivi*	Avoir les données relatives à son système, ses technologies de l'énergie organisées, enregistrées et analysées.	« Vous avez un tableau avec tous les relevés, produire PV, produire cumulée, produire, d'accord, ça va donc jour par jour, donc la produire injectée, ce qui est vendue, la produire utilisée, la part de produire utilisée, ici c'est la produire totale de la journée »
Maintenir	Garder son système, ses technologies de l'énergie en état de fonctionnement.	« Tout ce qui est appareil ménager on n'utilise que quand nos batteries sont pleines. Donc quand on est directement sur l'énergie solaire. »
Réparer	Remettre en état de fonctionnement son système, ses technologies de l'énergie après une panne, un endommagement.	« J'ai déjà une carte supplémentaire qui va servir à remplacer une qui serait défaillante dans la maison. Il n'est pas question de me dire mince, j'ai une carte qui est en panne, tout à coup j'ai sept huit lampes, ou un volet qui ne ferme pas le soir. »
S'approvisionner en énergie	Avoir de l'énergie.	« Savoir aujourd'hui s'il fait beau, on peut dire voilà, il y aura plus de photovoltaïque, profitez-en [...] et le lendemain dire : « aujourd'hui, il y a beaucoup de nuages mais par contre on a de l'hydraulique qui va augmenter ou la géothermie qui peut permettre de faire quelque chose »

Choisir l'usage de l'énergie	Stocker, (auto)consommer ou de redistribuer l'énergie.	« Reprogrammer un onduleur de manière à ce qu'il utilise plus que mon énergie produite sur place plutôt que de la remettre à disposition des autres »
Acheter l'énergie	Rétribuer l'énergie fournie par une tierce personne ou organisation.	« J'en achète très peu, quand ça me coûte cher, et en heures creuses quand ça me coûte pas cher, j'en achète beaucoup plus. »
Distribuer l'énergie	Avoir (re)distribué de l'énergie à une tierce personne ou organisation.	« Si on produit trop, et c'est bien de revendre sur le réseau, on parle d'autonomie mais pas d'autarcie. »

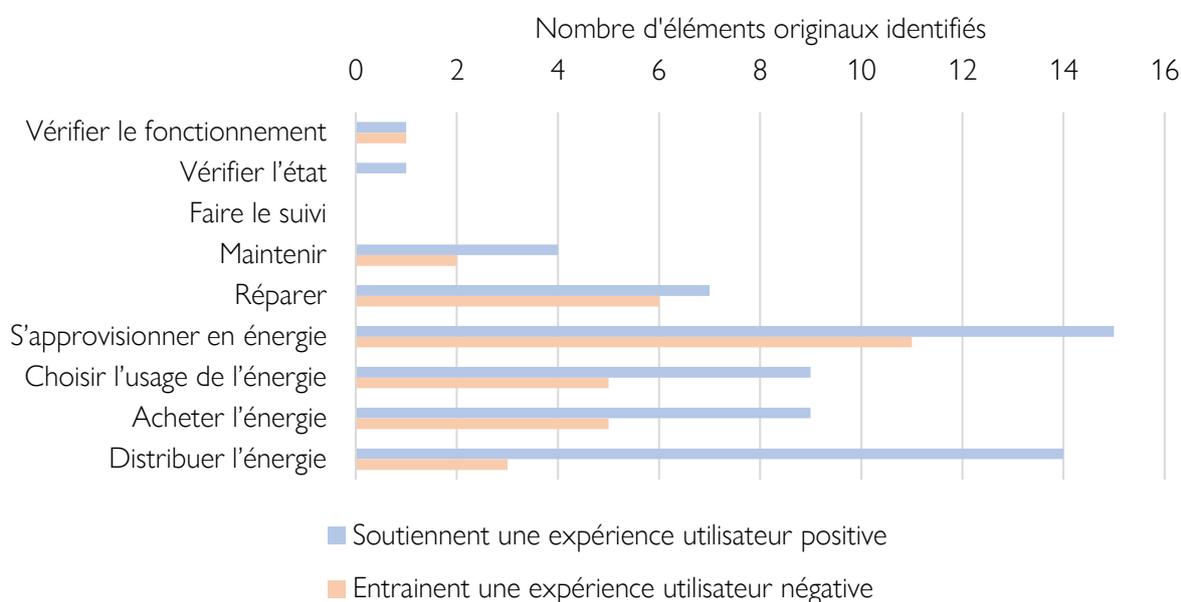


Figure 61 : Nombre d'éléments identifiés comme favorisant une expérience positive ou entraînant à une expérience négative pour les activités de gestion du système énergétique

Tableau 23 : Activités de maîtrise de la consommation d'énergie (* activités précédemment identifiées dans la littérature)

Activité	But	Exemple de Verbatim
Consulter sa consommation*	Avoir les informations de consommation d'énergie générale ou spécifique, en temps réel ou en différé.	« On a un petit boîtier qui nous indique En fait, il ne nous dit pas notre consommation pure, il nous fait le rapport entre ce qu'on produit et ce qu'on consomme. Donc la nuit, on sait exactement ce qu'on consomme, parce qu'on ne produit rien. Et le jour, ça te fait le ratio entre les deux. Et donc, ça nous permet d'avoir une vision globale on va dire de ce qu'il rentre et ce qu'il sort des batteries. »
Anticiper/Simuler sa consommation	Avoir une idée la consommation (future) liée à une activité ou à l'utilisation d'un équipement.	« Il faut aussi anticiper parce que si j'ai des gros besoins, si je veux faire marcher une scie sauteuse que j'utilise très rarement mais qui fait 400 watts [...]. Parce que je sais que ma capacité électrique est quand même limitée, donc si la batterie est vide, je n'ai plus rien »
Comprendre sa consommation	Avoir une connaissance des éléments étant à l'origine ou faisant varier la consommation d'énergie.	« Il y a des choses dont j'ai conscience, je sais qu'il y a certaines choses qu'on peut faire, qu'on peut améliorer, que je ne fais pas encore une fois mais que je pourrais améliorer et il y a peut-être des choses que j'ignore. Il y a peut-être des comportements que j'ai qui sont consommateurs d'énergie sans que je me rende compte plus que ça et sur lesquels je pourrais très bien améliorer les choses. »
Consulter l'énergie disponible	Connaitre l'énergie disponible (à l'échelle individuelle ou d'un réseau).	« Ce n'est pas forcément vérifier la consommation, ça va être vérifier les possibilités de consommation. »
Anticiper/Simuler l'énergie disponible	Avoir une idée de l'énergie future disponible (à l'échelle individuelle ou d'un réseau), en fonction de la consommation et des paramètres de production.	« On surveille la météo, parce qu'il y a beaucoup de choses qu'on fait aussi en fonction de la météo, puisque qui dit ciel couvert ou pluie, dit que on va moins charger nos batteries et forcément on aura moins d'énergie et donc on ne fait pas tout à fait la même chose. »

Modifier son activité*	Avoir diminué ou optimisé sa consommation liée à son activité.	« Donc on fait pas tourner le lave-vaisselle si y a pas de soleil quoi. Pareil même pour la machine à laver, on fait les lessives que quand les batteries sont pleines »
Agir sur les équipements*	Avoir diminué ou optimisé sa consommation liée à un équipement.	« il a fallu adapter nos habitudes, donc plus de bouilloire électrique »

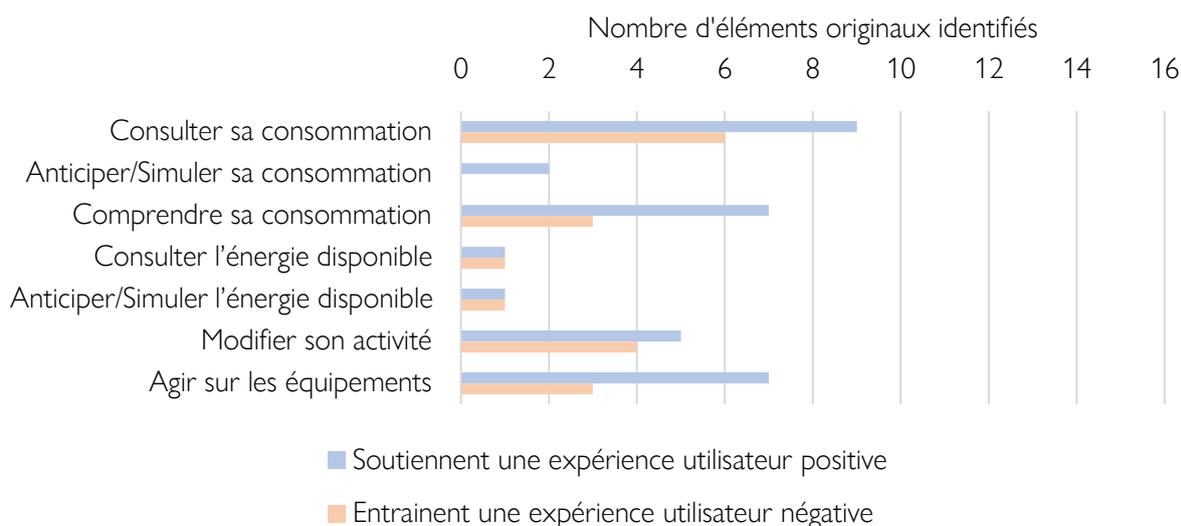


Figure 62 : Nombre d'éléments identifiés comme favorisant une expérience positive ou entraînant à une expérience négative pour les activités de maîtrise de la consommation d'énergie

Les activités domestiques ne sont pas détaillées car les entretiens ne se focalisaient pas spécifiquement dessus. Cependant, nous avons identifié une activité extradomestique qui est à l'origine d'une consommation d'énergie dans l'habitat. Il s'agit de « Se déplacer », en effet la charge au domicile du véhicule qui sert à l'habitant à se déplacer est à l'origine d'une consommation d'énergie dans l'habitat.

3.5.2 Besoins des utilisateurs

Besoins détaillés

Les idées originales de besoins liées à l'énergie dans l'habitat correspondent à l'expression de besoins détaillés. 234 idées de besoins originales ont été identifiées (3 idées originales proviennent

d'idées extraites dans les entretiens des 3 utilisateurs précurseurs qui ont été exclus de l'analyse lexicale et de l'analyse des idées de besoins).

Étant donné que le calcul d'un score de créativité globale n'est pas correct puisque les dimensions de la créativité sont indépendantes (Pichot, Bonetto, et al., 2020; Pichot, Bonnardel, et al., 2020) et que nos données ne nous permettent pas de calculer un score de disruptivité (Pichot, Bonnardel, et al., 2020), les idées de besoins les plus équilibrées, à la fois nouvelles, pertinentes et faisables ont été identifiées manuellement sur la base des scores de nouveauté, faisabilité et pertinence (voir Tableau 24). Le Tableau 25 détaille les 10 idées de besoins les plus nouvelles, le Tableau 26 présente les 10 idées de besoins les plus faisables et le Tableau 27 détaille les 10 idées de besoins les plus pertinentes.

Tableau 24 : 10 idées de besoins les plus équilibrées (nouvelles, faisables et pertinentes)

	Nouveauté	Faisabilité	Pertinence
Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive			
Adapter son activité en fonction de la météo	1,5	1,75	1,25
Concevoir le bâtiment comme un système énergétique	1,75	2	1,5
Anticiper la quantité d'énergie nécessaire à une activité	1,75	2	1,5
Avoir une proposition de système énergétique associé à son logement lors de l'achat/location	1,75	2,25	1,5
Avoir une application d'aide à l'auto-installation	2	1,5	1,5
Avoir des modules de réparation	2,25	2	2,5
Anticiper les usages permis avec l'énergie disponible	2,25	2,25	1
Pouvoir corriger la mesure de la consommation d'équipements en fonction de scénarios d'utilisation (météo, caractéristiques du bâtiment etc.)	2,25	2,25	1,25
Avoir localement une personne homologuée pour maintenir les systèmes énergétiques	2,5	1	1,5
Avoir un espace local dédié à l'énergie	2,5	1,5	1,5

Tableau 25 : 10 idées de besoins les plus nouvelles

	Nouveauté	Faisabilité	Pertinence
Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive			
Ne pas payer l'énergie	1	5,75	4
Avoir un système énergétique « prêt à installer »	1,5	4	1
Donner l'énergie	1,5	5	1,25
Suivre un « service énergétique »	1,5	4	2,25
Adapter son activité en fonction de la météo	1,5	1,75	1,25
Avoir une proposition de système énergétique associé à son logement lors de l'achat/location	1,75	2,25	1,5
Concevoir le bâtiment comme un système énergétique	1,75	2	1,5
Avoir un système auto-installable	1,75	4	1
Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative			
Payer plus cher lorsque l'on consomme peu	1,5	2,75	1,5
Ne pas pouvoir négocier le tarif de l'énergie	1,5	4,5	1,25

Tableau 26 : 10 idées de besoins les plus faisables

	Nouveauté	Faisabilité	Pertinence
Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive			
Avoir localement une personne homologuée pour maintenir les systèmes énergétiques	2,5	1	1,5
Avoir une mise en route simple	3,75	1	1,25
Connaitre le prix de vente de l'énergie en temps réel	4	1	1
Avoir accès aux données de consommation en temps réel dans l'habitat	5	1	1
Être conseillé par des professionnels en conception de systèmes énergétiques	6	1	1,75
Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative			
Ne pas avoir un accès continu à l'énergie	3,75	1	1
Ne pas connaitre la consommation énergétique d'un bâtiment	4	1	1,25
Ne pas pouvoir anticiper le réapprovisionnement de l'énergie stockée	4,5	1	1,75
Ne pas avoir accès aux données de consommation en temps réel	5	1	1
Difficulté d'accéder aux informations liées à l'installation	6,25	1	2,75

Tableau 27 : 10 idées de besoins les plus pertinentes

	Nouveauté	Faisabilité	Pertinence
<i>Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive</i>			
Connaitre le prix de vente de l'énergie en temps réel	4	1	1
Avoir accès aux données de consommation en temps réel dans l'habitat	5	1	1
Avoir des technologies sûres	5,5	1,25	1
Avoir une égalité tarifaire	2,75	1,5	1
Anticiper les usages permis avec l'énergie disponible	2,25	2,25	1
Avoir un système énergétique respectueux de l'environnement	4	2,25	1
Ne pas distribuer directement l'énergie entre particuliers	2,5	2,5	1
<i>Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative</i>			
Ne pas avoir un accès continu à l'énergie	3,75	1	1
Ne pas avoir accès aux données de consommation en temps réel	5	1	1
Ne pas se représenter l'unité d'énergie	2,5	1,75	1

L'ensemble des idées originales de besoins liées à l'énergie dans l'habitat ont été catégorisées par rapport aux activités et sous-activités liées à l'énergie dans l'habitat auxquelles elles correspondent (voir Annexe 5 : Idées de besoins détaillés liées à l'énergie dans l'habitat).

Besoins généraux

Nous avons aussi identifié des besoins généraux qui ne trouvent pas leur source nécessairement dans l'activité mais qui motivent les choix et comportements des utilisateurs en lien avec l'énergie dans l'habitat. Pour cela, le discours des participants a été analysé afin d'identifier les variables qui motivent les décisions des utilisateurs vis-à-vis de l'énergie dans l'habitat. 8 besoins généraux ont été identifiés : l'autosuffisance énergétique, l'indépendance vis-à-vis d'autres personnes et organisations, l'implication dans le système énergétique, le confort, le respect de l'environnement, la rentabilité/le coût, l'enthousiasme pour la technologie et la sécurité (voir Tableau 28).

Tableau 28 : Besoins généraux liés à l'énergie dans l'habitat

Besoin général	Description	Exemple de Verbatim
Autosuffisance énergétique	Il s'agit pour l'utilisateur de pouvoir subvenir par ses propres moyens à ses besoins en énergie. L'autosuffisance peut être inexistante (pour des utilisateurs qui souhaitent uniquement être raccordés au réseau), partielle ou totale avec 100% d'énergie auto-produite (autarcie énergétique). L'objectif pour ces derniers utilisateurs est de pouvoir être autonomes pour assurer leur sécurité énergétique (face à une panne du réseau), d'assurer leur approvisionnement énergétique en zone non interconnectée et de pouvoir maîtriser les caractéristiques de leur énergie (prix, respect de l'environnement, accord avec leur valeurs etc.).	« Il faut avoir une certaine autonomie s'il y a des problèmes de réseau. » « Si on fait de l'autoconsommation c'est plutôt simple, mais si on produit trop, et c'est bien de revendre sur le réseau, on parle d'autonomie, mais pas d'autarcie. »
Contrôle/Indépendance vis-à-vis d'autres personnes et organisations	Il s'agit pour l'utilisateur de dépendre ou de ne pas dépendre d'autres personnes ou d'organisations (les voisins, l'état, un fournisseur d'énergie ou encore une entreprise) pour gérer et utiliser son système énergétique et son énergie. En d'autres mots c'est le niveau de contrôle qu'a l'utilisateur sur son système.	« Ne plus dépendre de fournisseurs qui vont mettre en route des usines qui dépendent du charbon ou du gaz. » « Le propriétaire d'une maison veut maîtriser son système énergétique et pas être tributaire de la manière ou non qu'a son voisin d'entretenir »
Implication dans le système énergétique	Il s'agit pour l'utilisateur de s'impliquer dans la gestion et l'utilisation de son système énergétique à différentes intensités. Si certains souhaitent auto-installer leur technologie de production d'énergie, et agir au quotidien sur la gestion de leur énergie, d'autres souhaitent des systèmes installés par des professionnels qui ne nécessitent aucune implication de leur part, des systèmes ambiants et autonomes.	« Moi ce qui m'intéresse moi c'est que ça marche tout seul, que ça soit automatique et que j'ai pas à penser à ça. » « Vraiment, je tiens à cette idée de me dire, tu vois si tu dépenses de l'effort et si tu t'investis dans ton truc pour transformer et avoir de l'énergie, eh ben tu la mérites, enfin tu as un sentiment d'avoir mérité et surtout de ne pas le gâcher tu vois. »

<p>Confort</p>	<p>Les systèmes énergétiques peuvent avoir une influence sur le confort dans l'habitat. Certains utilisateurs souhaitent améliorer leur confort, ou à minima ne pas l'impacter, d'autres sont prêts à changer leurs habitudes et leurs standards de confort pour consommer moins d'énergie.</p>	<p>« Quand on cherche à travailler sur sa consommation, ça devient un obstacle dans la vie quotidienne des gens, et c'est pour ça que souvent c'est rejeté [...] ça va à l'encontre du confort »</p> <p>« On a jamais connu autant de luxe et de confort énergétique qu'aujourd'hui »</p>
<p>Respect de l'environnement</p>	<p>Il s'agit pour les utilisateurs d'avoir un système énergétique avec un impact plus ou moins important sur l'environnement.</p>	<p>« Il faut impérativement trouver des solutions plus propres pour produire l'énergie dont on a besoin. »</p>
<p>Rentabilité/Coût</p>	<p>La rentabilité et le coût du système énergétique est une préoccupation importante pour l'utilisateur. Elle peut avoir une influence sur l'accessibilité aux technologies.</p>	<p>« Rendre ça accessible à tous, après c'est un peu utopique, mais oui peut-être que si ça se développe ça peut aller vers une diminution des coûts »</p> <p>« Parce que là, le tarif, il diminue tous les trois mois. Le tarif de rachat, tous les trois mois il diminue. C'est quoi la perspective »</p>
<p>Enthousiasme pour la technologie</p>	<p>L'enthousiasme dont certains utilisateurs font égard vis-à-vis des nouvelles technologies peut les pousser à adopter de nouveaux systèmes énergétiques pour disposer et expérimenter de nouvelles technologies. Au contraire, certains utilisateurs cherchent des systèmes techniquement les moins complexes possible.</p>	<p>« du numérique lowtech ça, ça m'intéresse. Genre en gros, qu'on puisse visualiser les consommations facilement, pouvoir mieux comprendre sa consommation, mieux l'analyser, l'améliorer Je pense que ça c'est vraiment super important, super intéressant »</p> <p>« aujourd'hui il y a toute une gamme de nouvelles technologies de capteurs qui sont sortis, ils sont communicants, ils ne coûtent pas très cher, ça coûte quand même en moyenne entre 50 et 100 euros »</p>

Sécurité	Pour certains utilisateurs la sécurité des systèmes énergétiques est primordiale, que ce soit in-situ ou sur un lieu de production éloigné.	<p>« c'est avec les professionnels qu'on a le plus de soucis. Sur la conformité de l'installation [...] Et là j'ai peur, parce qu'en fait là on voit de plus en plus de gens qui s'installent, qui sont soi-disant auto-entrepreneurs, électriciens et autres. Ils s'installent et ils font n'importe quoi »</p> <p>« je me rappelle avoir fait des bons courts-circuits sur l'installation solaire au moment où je l'ai branché. Sacrées étincelles, des trucs qui me faisaient un peu flipper »</p>
----------	---	---

3.5.3 Utilisateurs et scénarios d'usages prospectifs

Les patterns d'activités et de besoins généraux qui caractérisaient les verbalisations des utilisateurs précurseurs ont été identifiés et catégorisés pour décrire des utilisateurs futurs. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur des variables qui permettent de décrire les utilisateurs, et qui sont liées à l'activité, aux besoins généraux et aux connaissances liées à l'énergie dans l'habitat. Pour chaque entretien avec un utilisateur précurseur, la position de chaque variable a été établie. Enfin, des ensembles d'activités et de besoins généraux cohérents ont été regroupés pour résumer les spécificités et activités des utilisateurs précurseurs. Ces données ont été rédigées sous forme de scénarios d'usages prospectifs (voir Annexe 6 : Scénarios d'usages prospectifs) – pour décrire de façon générale les contextes d'usages futurs dans lesquels l'hydrogène énergie pourrait avoir un intérêt dans l'habitat –, et sous forme de personas prospectifs (voir Annexe 7 : Personas prospectifs) – pour décrire de façon plus incarnée ces scénarios. Les personas représentent un habitant archétypal de chaque scénario. Quatre scénarios d'usages ont été identifiés (voir Figure 63 et Tableau 29) :

- **Scénario 1 - Le foyer autarcique en énergie** : dans ce scénario, les utilisateurs cherchent à se réappropriier l'énergie, ils cherchent à être autonome et s'inscrivent dans une logique de sobriété. Ce scénario est marqué par une forte activité de gestion du système énergétique et une importante maîtrise de la consommation d'énergie, comportementale et technique ;

- **Scénario 2 - Le foyer energiphile** : dans ce scénario, les utilisateurs visent la rationalisation de leur système énergétique et de leur consommation d'énergie. Ils s'impliquent fortement dans la gestion de leur énergie, mais ne veulent pas perdre en confort ni changer leurs habitudes. Comme pour le scénario 1, ce scénario est marqué par une forte activité de gestion du système énergétique et une importante maîtrise de la consommation d'énergie uniquement technique cette fois ;
- **Scénario 3 - Le foyer membre d'une communauté énergétique** : dans ce scénario, les utilisateurs s'inscrivent dans des logiques collectives où ils mutualisent les systèmes énergétiques pour y avoir accès et pour la solidarité énergétique. Au quotidien, cela implique de partager les décisions et l'énergie. Ce scénario est marqué par la réalisation partagée des activités liées à l'énergie dans l'habitat ;
- **Scénario 4 - Le foyer passif** : dans ce scénario les utilisateurs sont favorables à l'émergence d'une énergie plus respectueuse de l'environnement, mais ils ne souhaitent pas que cela les impacte tant au niveau des coûts que dans leur quotidien. Ce scénario est marqué par l'absence d'implication des utilisateurs dans la gestion du système énergétique, et une implication faible dans les activités de maîtrise de la consommation d'énergie.

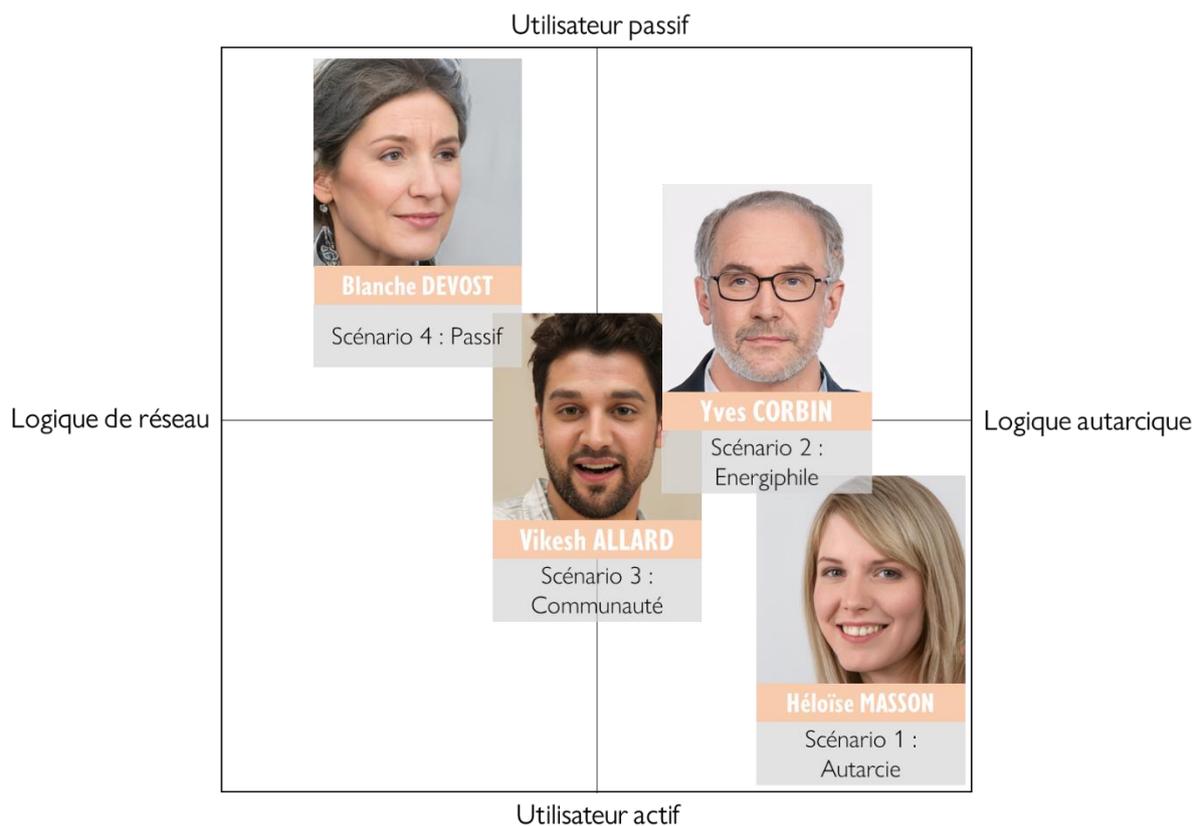


Figure 63 : Synthèse des scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat et des personas prospectifs associés

Tableau 29 : Scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 2	Scénario 3
	<i>Le foyer autarcique en énergie</i>	<i>Le foyer energiphile</i>	<i>Le foyer membre d'une communauté énergétique</i>	<i>Le foyer passif</i>
Besoins généraux				
<i>Autosuffisance énergétique</i>	Très important	Important	Important	Faible
<i>Contrôle/Indépendance vis-à-vis d'autres personnes et organisations</i>	Très important	Important	Important	Faible
<i>Implication dans le système énergétique</i>	Important	Très important	Moyen	Moyen
<i>Confort</i>	Favorable à une baisse du confort	Défavorable à une baisse du confort	Ouvert à une baisse du confort	Défavorable à une baisse du confort
<i>Respect de l'environnement</i>	Très important	Important	Important	Moyen
<i>Rentabilité/Coût</i>	Faible	Important	Moyen	Moyen/Important

<i>Enthousiasme pour la technologie</i>	Moyen	Important	Moyen	Moyen
<i>Sécurité</i>	Moyen	Moyen	Moyen	Important
Activités				
<i>Partage du système énergétique</i>	Aucun	Aucun	Avec	Avec
<i>Installation/Maintenance</i>	Autoinstallation / Installation pro	Autoinstallation	Autoinstallation / Installation pro	Installation pro
<i>Approvisionnement en énergie</i>	Auto production	Auto production et réseaux	Auto production et réseaux	Auto production et réseaux
<i>Autoconsommation d'énergie</i>	Avec	Avec	Avec	Avec/Sans
<i>Gestion du système énergétique</i>	Importante	Importante	Moyenne	Moyenne/Faible
<i>Stockage d'énergie</i>	In situ	In situ/Délocalisé	In situ/Délocalisé	In situ/Délocalisé
<i>Distribution de l'énergie</i>	Aucune	Avec	Avec/Aucune	Avec
<i>Maitrise technique de l'énergie</i>	Importante	Importante	Importante	Moyenne/Faible
<i>Maitrise comportementale de l'énergie</i>	Importante	Faible	Importante	Moyenne/Faible
Connaissances				
<i>Connaissances liées à l'énergie dans l'habitat</i>	Importantes	Très importantes	Moyennes	Moyennes/Faibles
Autres				
<i>Logement</i>	Individuel	Individuel	Collectif/Individuel	Collectif/Individuel

3.5.4 Idées d'artefacts futurs

À la manière de Brangier, Brangier et al. (2019), les idées de besoins extraites ont été utilisées pour définir un catalogue de 62 idées d'artefacts inspirées des données (voir Annexe 8 : Catalogue d'idées d'artefacts liés à l'hydrogène énergie dans l'habitat). Pour cela, l'ergonome cherche à associer aux idées de besoins extraites, aux besoins généraux et aux scénarios ou personas prospectifs, des idées de solutions (voir Tableau 30). Les idées de besoins extraites peuvent être utilisées en l'état, si elles sont explicites, ou peuvent faire l'objet d'une reformulation sous forme de besoins.

Tableau 30 : Exemple d'association d'une idée de besoin à une idée d'artefact

Idée de besoin	Idée d'artefact associé
<p>Anticiper la disponibilité d'énergie en fonction des prévisions météo</p> <p>« Aujourd'hui on consomme sans se poser la question de la météo, de l'environnement énergétique, demain il faudra en tenir compte, il y a des jours où il y aura beaucoup de vent donc beaucoup d'énergie, on pourra consommer à profusion peut-être, d'autres jours il n'y aura pas de vent, ce sera nuageux et pas de soleil, il faudra restreindre. »</p> <p>« il faut aussi anticiper parce que si j'ai des gros besoins, si je veux faire marcher une scie sauteuse que j'utilise très rarement mais qui fait 400 watts, donc il vaut mieux que je fasse ça un jour où il y a beaucoup de soleil, plutôt que je fasse ça la nuit par exemple. Parce que je sais que ma capacité électrique est quand même limitée »</p>	<p><u>ID57 - Anticipation de la quantité d'énergie disponible en fonction de la météo</u></p> <p>Description</p> <p>Dispositif qui permet d'anticiper la quantité future d'énergie disponible en fonction de la production, du stockage, de la consommation et des prévisions météo journalières, hebdomadaires et saisonnières.</p> <p>Exemple de cas d'utilisation</p> <p>L'habitant souhaite connaître la quantité d'énergie dont il disposera le mercredi suivant, son dispositif lui indique une prévision d'énergie disponible (ex. « Le 17 mai vous disposerez de 2 kWh »).</p>

Ces idées correspondent à des idées d'artefacts (technologie, fonction, service, organisation ou système). Elles portent sur des systèmes énergétiques pour l'habitat qui intègrent l'hydrogène énergie. Certaines idées portent directement sur les technologies hydrogènes, d'autres caractérisent des solutions concernant des composants du système énergétique ou le système énergétique en lui-même. Ces idées visent à identifier des solutions utiles qui pourraient composer ou soutenir les futurs systèmes énergétiques pour l'habitat qui intègrent l'hydrogène. Elles sont des concepts préliminaires et incomplets.

L'évaluation de la qualité des idées a été faite en collaboration avec Nicolas PICHOT. Pour cela, la mesure de la nouveauté, faisabilité et pertinence a été réalisée, afin de calculer un score de disruptivité (Pichot, Bonnardel, et al., 2020). C'est un score d'équilibre, qui donne une indication concernant l'équilibre de l'idée aux 3 sous-dimensions (nouveauté, faisabilité et pertinence).

La nouveauté, la faisabilité et la pertinence des idées ont été évaluées indépendamment par deux experts du domaine de l'hydrogène énergie (juge 1 : expert scientifique technique ; juge 2 : expert industriel) par questionnaire en ligne. Quatre items ont été utilisés pour mesurer chaque dimension à l'aide d'échelles de Likert. Le niveau d'accord inter-juges, calculé à l'aide du test Alpha de Krippendorff se révèle être assez faible ($\alpha = 0,34$), et compte tenu de l'impossibilité de réunir les deux juges pour discuter des idées controversées et de l'échec du recrutement d'autres juges, les résultats sont présentés distinctement pour chaque juge. Ce faible accord inter-juges pourrait s'expliquer par les profils différents des experts qui peut être à l'origine d'évaluations se basant sur des éléments différents.

La structure des réponses des deux juges est expliquée par des modèles ayant pour facteurs la nouveauté et une dimension constituée de la pertinence et de la faisabilité (voir Figure 64 et Figure 65). La nouveauté permet de distinguer les idées surprenantes des idées communes, et le facteur pertinence/faisabilité permet de distinguer des idées qui sont réalisables et qui répondent efficacement au problème, des idées non réalisables et qui ne répondent pas ou pas efficacement au problème. Dans notre cas, le score de disruptivité permet d'identifier les idées qui sont les plus équilibrées, donc qui sont à la fois nouvelles et faisables/pertinentes ou qui sont à la fois non nouvelles et non faisables/pertinentes. Néanmoins, pour le juge 2 le modèle ne permet pas de calculer un score de disruptivité. Les idées les plus équilibrées ont donc été identifiées sur la base des scores de nouveauté et de pertinence/faisabilité.

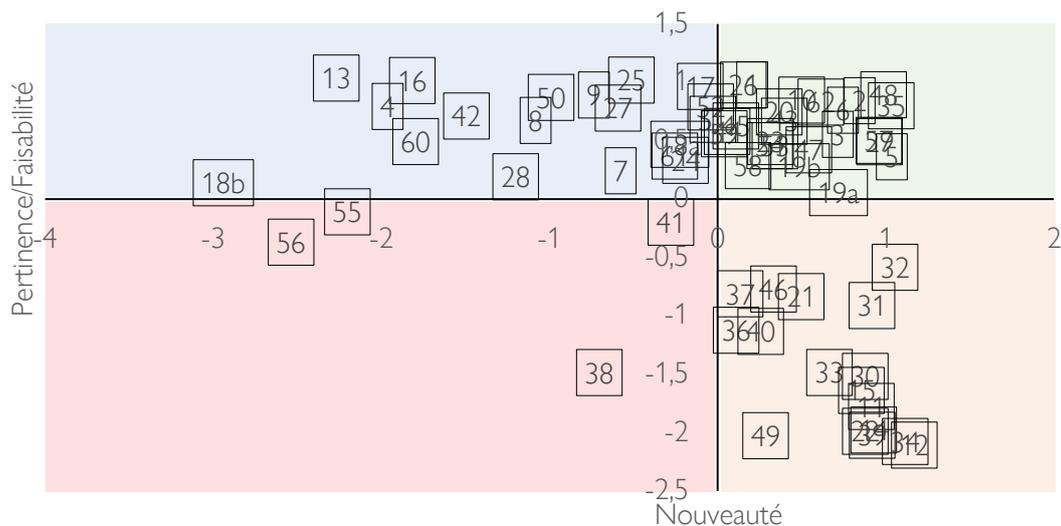


Figure 64 : Évaluation des idées par le juge 1 (expert technique scientifique) en fonction de la pertinence/faisabilité et de la nouveauté (■ : idées non pertinentes/faisables et non nouvelles ; ■ : idées pertinentes/faisables mais non nouvelles ; ■ : idées nouvelles mais non pertinentes/faisables ; ■ : idées pertinentes/faisables et nouvelles)

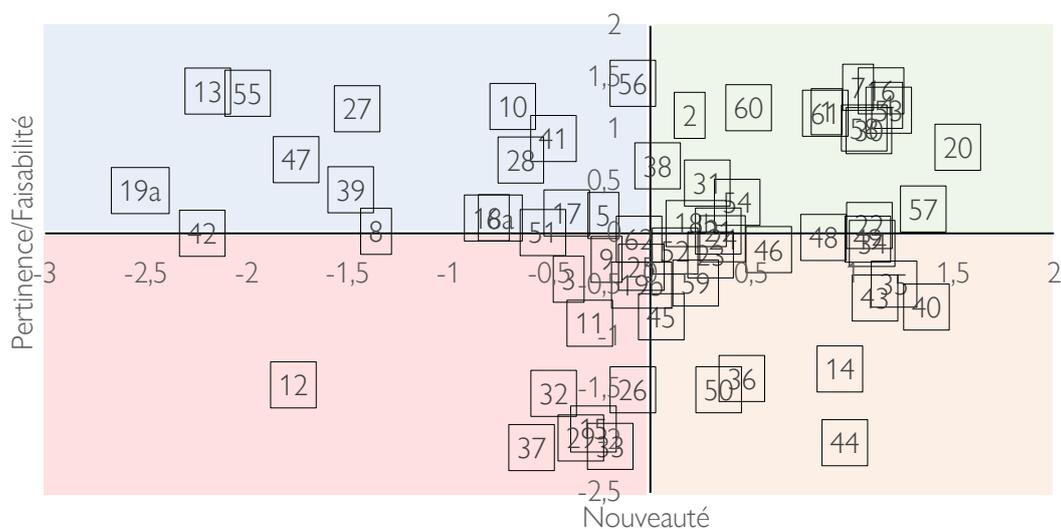


Figure 65 : Évaluation des idées par le juge 2 (expert industriel) en fonction de la pertinence/faisabilité et de la nouveauté (■ : idées non pertinentes/faisables et non nouvelles ; ■ : idées pertinentes/faisables mais non nouvelles ; ■ : idées nouvelles mais non pertinentes/faisables ; ■ : idées pertinentes/faisables et nouvelles)

L'objectif du score de disruptivité et de ses sous-dimensions est d'éclairer le choix des idées à développer. Les idées les plus équilibrées et à la fois nouvelles et faisables/pertinentes sont les idées qui présentent la plus grande valeur, puisqu'elles ne sont pas banales ou existantes, qu'elles sont faisables et qu'elles répondent efficacement au problème à résoudre (voir Tableau 31).

Tableau 31 : 10 idées d'artefacts les plus équilibrées, nouvelles et faisables/pertinentes (score de disruptivité : plus les valeurs sont proches de 0 plus l'idée est équilibrée ; score de nouveauté : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont nouvelles, les valeurs négatives équivalent à des idées non nouvelles ; score de pertinence/faisabilité : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont pertinentes/faisables, les valeurs négatives équivalent à des idées non pertinentes/faisables)

Nom	Disruptivité	Nouveauté	Pertinence / Faisabilité
Juge 1 - expert technique scientifique			
ID2 - Achat de la performance d'usage	0,0008	0,84	0,84
ID6 - Autofinancement par fourniture d'énergie	0,0067	0,75	0,76
ID48 - Stockage délocalisé	0,0404	0,99	0,89
ID58 - Anticipation de la quantité d'énergie nécessaire pour une activité*	0,0457	0,18	0,29
ID53 - Recommandation d'adaptation des comportements énergétiques à l'énergie disponible en temps réel*	0,0504	0,34	0,46
ID47 - Stockage virtuel	0,0522	0,54	0,42
ID54 - Comptabilisation des énergies grises/délocalisées	0,0641	0,31	0,46
ID3 - Location avec options d'achat	0,0695	0,72	0,55
ID23 - Adaptation au changement climatique	0,0772	0,31	0,49
ID19b - Label « Énergie équitable »	0,0902	0,49	0,28
Juge 2 - expert industriel			
ID7 - Comparaison corrigée de la performance énergétique	-	1,03	1,41
ID16 - Plateforme de renseignements à niveaux d'informations adaptables	-	1,14	1,37
ID4 - "Contrôle technique" du système énergétique	-	1,17	1,23
ID60 - Pilotage de la consommation	-	0,49	1,21
ID53 - Recommandation d'adaptation des comportements énergétiques à l'énergie disponible en temps réel*	-	1,18	1,19
ID1 - Pack énergétique	-	0,87	1,17
ID61 - Durée d'autonomie énergétique de l'habitat	-	0,87	1,16
ID58 - Anticipation de la quantité d'énergie nécessaire pour une activité*	-	1,06	1,02
ID30 - Microreseaux multi-énergies	-	1,08	0,99
ID20 - Modules évolutifs	-	1,52	0,83

* Idées évaluées comme les plus équilibrées, nouvelles et faisables/pertinentes par les deux juges.

En fonction de la temporalité de développement envisagée et de la probabilité de réussite/échec admise, il convient de s'orienter vers des idées plus ou moins nouvelles ou faisables/pertinentes.

Pour un développement à long terme ou une probabilité de réussite admise faible on s'orientera vers des idées nouvelles et moins faisables/pertinentes (voir Tableau 32).

Tableau 32 : 10 idées d'artefacts les plus nouvelles (score de disruptivité : plus les valeurs sont proches de 0 plus l'idée est équilibrée ; score de nouveauté : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont nouvelles, les valeurs négatives équivalent à des idées non nouvelles ; score de pertinence/faisabilité : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont pertinentes/faisables, les valeurs négatives équivalent à des idées non pertinentes/faisables)

Nom	Disruptivité	Nouveauté	Pertinence / Faisabilité
Juge 1 - expert technique scientifique			
ID12 - Vérification professionnelle à distance de l'auto-installation	1,4203	1,17	-2,11
ID34 - Tarif de l'énergie en fonction de l'usage*	1,3833	1,12	-2,08
ID32 - Tarif progressif de l'énergie	0,7104	1,06	-0,58
ID5 - Séjour d'expérimentation de production d'hydrogène	0,2920	1,04	0,36
ID35 - Don d'énergie*	0,1011	1,03	0,80
ID48 - Stockage délocalisé	0,0404	0,99	0,89
ID29 - Revalorisation de l'environnement	0,2045	0,96	0,49
ID57 - Anticipation de la quantité d'énergie disponible en fonction de la météo*	0,1977	0,96	0,50
ID14 - Application d'aide à l'auto-installation	1,2596	0,93	-1,98
ID39 - Module de réparation	1,2750	0,92	-2,02
Juge 2 - expert industriel			
ID20 - Modules évolutifs	-	1,52	0,83
ID40 - Assistance par réalité virtuelle	-	1,37	-0,71
ID57 - Anticipation de la quantité d'énergie disponible en fonction de la météo*	-	1,35	0,24
ID35 - Don d'énergie*	-	1,21	-0,49
ID53 - Recommandation d'adaptation des comportements énergétiques à l'énergie disponible en temps réel	-	1,18	1,19
ID4 - "Contrôle technique" du système énergétique	-	1,17	1,23
ID16 - Plateforme de renseignements à niveaux d'informations adaptables	-	1,14	1,37
ID43 - Gestionnaire homologué de système hydrogène partagé	-	1,11	-0,62
ID34 - Tarif de l'énergie en fonction de l'usage*	-	1,10	-0,10
ID22 - Intégrateur multi-énergies	-	1,09	0,08

* Idées évaluées comme les plus nouvelles par les deux juges.

Pour un développement à court terme ou une probabilité d'échec faible on s'orientera vers des idées faisables/pertinentes et moins nouvelles (voir Tableau 33). Les résultats de l'évaluation des 62

idées par les 2 juges sont disponibles dans leur totalité en annexe (voir Annexe 8 : Catalogue d'idées d'artefacts liés à l'hydrogène énergie dans l'habitat).

Tableau 33 : 10 idées d'artefacts les plus pertinentes/faisables (score de disruptivité : plus les valeurs sont proches de 0 plus l'idée est équilibrée ; score de nouveauté : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont nouvelles, les valeurs négatives équivalent à des idées non nouvelles ; score de pertinence/faisabilité : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont pertinentes/faisables, les valeurs négatives équivalent à des idées non pertinentes/faisables)

Nom	Disruptivité	Nouveauté	Pertinence / Faisabilité
Juge 1 - expert technique scientifique			
ID13 - Vérification professionnelle de l'auto-installation*	1,4325	-2,27	1,04
ID25 - Aiguillage de l'énergie	0,6640	-0,51	1,02
ID16 - Plateforme de renseignements à niveaux d'informations adaptables*	1,2273	-1,82	1,02
ID1 - Pack énergétique	0,3357	0,21	0,98
ID26 - Gardiennage de système énergétique	0,3570	0,15	0,98
ID17 - Coordination de l'installation du système énergétique	0,4630	-0,10	0,97
ID48 - Stockage délocalisé	0,0404	0,99	0,89
ID9 - Simulation des coûts de fonctionnement	0,7054	-0,74	0,89
ID50 - Extinction de l'habitat	0,8069	-0,99	0,87
ID10 - Évaluation des besoins énergétiques*	0,1508	0,50	0,85
Juge 2 - expert industriel			
ID56 - Conseils comportementaux et techniques sur la maîtrise de l'énergie	-	-0,09	1,45
ID7 - Comparaison corrigée de la performance énergétique	-	1,03	1,41
ID16 - Plateforme de renseignements à niveaux d'informations adaptables*	-	1,14	1,37
ID13 - Vérification professionnelle de l'auto-installation*	-	-2,19	1,37
ID55 - Suivi des données énergétiques	-	-2,00	1,35
ID4 - "Contrôle technique" du système énergétique	-	1,17	1,23
ID10 - Évaluation des besoins énergétiques*	-	-0,68	1,22
ID60 - Pilotage de la consommation	-	0,49	1,21
ID27 - Service de gestion à distance	-	-1,45	1,20
ID53 - Recommandation d'adaptation des comportements énergétiques à l'énergie disponible en temps réel	-	1,18	1,19

* Idées évaluées comme les plus faisables/pertinentes par les deux juges.

4. Discussion de l'étude 2

Cette étude avait deux objectifs, sur un plan appliqué elle visait à anticiper des besoins futurs relatifs à l'énergie pour l'habitat, et sur un plan méthodologique elle cherchait à apporter une réponse méthodologique qui permette de soutenir l'idéation de besoins futurs des utilisateurs, par les utilisateurs. Pour cela, la contribution de 36 individus, experts, utilisateurs précurseurs et utilisateurs ordinaires à des entretiens d'anticipation des besoins sur le thème de l'énergie dans l'habitat a été comparée et analysée.

4.1. Apports méthodologiques : contribution des utilisateurs précurseurs et des experts dans l'anticipation de besoins futurs

Notre hypothèse était que les utilisateurs précurseurs et les experts développent des idées de besoins futurs plus nouvelles et adaptées que celles développées par les utilisateurs ordinaires. En effet, nous soutenons que l'exposition des utilisateurs précurseurs à des activités et artefacts jugés comme précurseurs, leur permet de développer précocement des besoins qui seront expérimentés par la majorité des utilisateurs dans le futur, et de développer précocement des représentations élaborées sur les activités, le domaine et les artefacts, qui facilitent leur capacité à anticiper des besoins futurs. Les experts, eux, auraient une représentation riche du domaine et sont créatifs, ce qui devrait faciliter leur capacité à anticiper des besoins futurs. Nous faisons aussi l'hypothèse que les représentations des besoins futurs développés par les utilisateurs précurseurs et les experts sont différentes, car les experts s'appuient sur une représentation hypothétique des utilisateurs, tandis que les utilisateurs précurseurs s'appuient sur une représentation construite sur la base de leur activité réelle. Pour instruire ces hypothèses, les données recueillies ont été analysées par des méthodes d'analyse lexicale et d'analyse de donnée manuelle, afin de permettre plusieurs niveaux d'analyse.

4.1.1 Utilisateurs précurseurs : un discours riche et original lié à l'expérience domestique

L'analyse lexicale a montré que le discours des utilisateurs précurseurs est plus riche et plus original que celui des experts et des utilisateurs ordinaires. En effet, les utilisateurs précurseurs évoquent plus de thèmes et plus de thèmes qu'ils sont les seuls à évoquer. Il convient de noter que les experts présentent néanmoins un discours plus riche que les utilisateurs ordinaires, avec un thème original. On note également que le discours des experts se réfère davantage à des thèmes liés à l'univers professionnel (ex. Enjeux pour les professionnels de l'énergie) et technique. Le discours des utilisateurs précurseurs quant à lui se réfère davantage à des thèmes liés à l'expérience personnelle des activités liées à l'énergie dans l'habitat. À cet égard, ils sont les seuls à évoquer les thèmes de l'installation du système énergétique, de la relation à la société et à l'état, et de la gestion du système énergétique. Ces résultats suggèrent que les experts et les utilisateurs précurseurs sont détenteurs d'une représentation élaborée du domaine. Cette représentation s'appuie sur des connaissances différentes : des connaissances professionnelles pour les experts et des connaissances fondées sur l'expérience domestique pour les utilisateurs précurseurs. De plus, les utilisateurs précurseurs n'ont pas simplement un discours sur l'activité plus importante que les experts et les utilisateurs ordinaires, ils ont un discours sur des activités qui ne sont pas évoquées par les autres, ce qui suggère qu'ils sont les seuls à expérimenter ces activités et à détenir des connaissances en cette matière.

Prises ensemble, ces représentations peuvent être rapprochées de la notion de « point de vue » (Wolff et al., 2005) dans la mesure où elles sont des opinions exprimées par un groupe d'individus, ici individuellement dans un contexte social défini (l'entretien), et analysées ensemble pour former une représentation collective. Cependant, la notion de point de vue fait référence à une représentation individuelle qui est partagée par un groupe d'individus appartenant au même métier ou à la même discipline (Détienne et al., 2005; Loup-Escande et al., 2020). Or, les experts et les utilisateurs précurseurs qui ont participé à cette étude ont pour chaque groupe des profils très différents. Les experts sont issus de professions (ex. chercheur, chef d'entreprise) et de disciplines variées (ex. mécanique théorique, urbanisme), tout comme les utilisateurs précurseurs dont les usages précurseurs sont divers (ex. fabrication de dispositifs de production, stockage et

consommation d'hydrogène, partage de l'autoproduction d'énergie). Il apparaît donc qu'il s'agit plutôt de l'analyse conjointe de représentations individuelles d'experts et d'utilisateurs précurseurs, plutôt que l'analyse de points de vue d'experts et d'utilisateurs précurseurs. Aussi, si les analyses nous permettent d'identifier les thèmes significativement évoqués, le contenu des opinions concernant ces thèmes peut varier en fonction des participants, ce qui implique par exemple que si les experts évoquent un thème de manière significative, cela ne veut pas dire qu'ils partagent une même opinion concernant ce thème. En effet, il convient d'identifier le thème « *ce dont on parle* » du thème « *ce qu'on en dit* » (Fallery & Rodhain, 2007).

4.1.2 Activités novatrices : plus d'idées de besoins pertinentes et nouvelles pour les experts et les utilisateurs précurseurs

L'analyse des idées de besoins a montré que les experts et les utilisateurs précurseurs ont proposé plus d'idées de besoins, plus d'idées nouvelles et plus d'idées pertinentes que les utilisateurs ordinaires. Ils ont donc une capacité à produire une grande quantité d'idées, et à produire des idées qui ne sont pas banales et qui s'appliquent bien au domaine cible. Toutefois, ces résultats se limitent au thème de la gestion du système énergétique. Ce résultat s'explique par le fait que ce thème correspond à l'activité la moins courante et la moins expérimentée. En effet, c'est l'activité la moins détaillée dans la littérature. Ce thème est donc celui qui est le plus prospectif, et qui nécessite donc une représentation élaborée du domaine et une capacité à faire évoluer cette représentation. Par ailleurs, l'analyse lexicale nous révèle que les utilisateurs précurseurs sont les seuls à mentionner significativement ce thème de la gestion du système énergétique dans leur entretien, ce qui indique qu'ils sont les seuls à expérimenter cette activité. En ce sens, les utilisateurs précurseurs évoquent aussi un nombre d'idées qui soutiennent une expérience utilisateur positive plus important pour ce thème. Ce qui laisse penser qu'en plus de réaliser cette activité, ils satisfont des besoins en jeu dans cette activité. Enfin, les experts évoquent un nombre plus important d'idées qui entraînent une expérience utilisateur négative pour le thème de la maîtrise de l'énergie dans l'habitat. On peut expliquer ce résultat par le fait que ce thème fait l'objet de nombreux travaux et que les experts ont une connaissance importante des problèmes en jeu dans ce thème.

On ne retrouve pas de différence au niveau de l'originalité et de la faisabilité des idées pour les différents profils de participants. Concernant l'originalité, qui correspond plutôt à la rareté de l'idée,

nous pensons que comme Dean et al. (2006) l'indiquent, l'originalité est un critère insuffisant pour mesurer la nouveauté, car une idée banale peut être considérée comme nouvelle si elle n'est que peu évoquée, et que par conséquent ce critère n'est pas pertinent. Concernant la faisabilité, ce résultat est surprenant, dans la mesure où l'on s'attend à ce que les experts et les utilisateurs précurseurs évoquent des idées qui ne violent pas les contraintes du domaine, dont ils ont des connaissances plus approfondies que les utilisateurs ordinaires.

Enfin, l'expertise perçue des utilisateurs précurseurs et des experts sur les domaines de l'habitat et de l'énergie est plus importante que celle des utilisateurs ordinaires, attestant d'une expertise de ces premiers dans ces domaines.

4.2. Apports appliqués : besoins et activités liées à l'énergie pour l'habitat

Dans le cadre du projet ULHyS (Université de Lorraine Hydrogen Sciences and technologies), l'objectif appliqué de cette étude était de fournir une description des besoins, des activités et des expériences liés à l'énergie pour l'habitat, afin de permettre la génération d'idées liées aux futurs systèmes énergétiques intégrant l'énergie de l'hydrogène dans l'habitat.

4.2.1 Des activités d'installation et de gestion du système énergétique

Les résultats nous permettent d'introduire dans les activités liées à l'énergie dans l'habitat, les activités liées à l'installation/rénovation du système énergétique et qui ne sont pas détaillées dans la littérature. Ces activités revêtent une grande importance et sont notamment significativement l'objet du discours des utilisateurs précurseurs. L'analyse des entretiens nous a aussi permis de détailler les activités de gestion du système énergétique et les activités de maîtrise de la consommation d'énergie. Il semblerait donc qu'émergent des activités purement énergétiques dans l'habitat, c'est-à-dire dont l'objectif est orienté vers un but énergétique. Enfin, il apparaît qu'une nouvelle activité extradomestique a une influence sur la consommation d'énergie dans l'habitat : se déplacer.

L'analyse du nombre d'éléments à l'origine d'une expérience utilisateur négative permet également de hiérarchiser les activités pour lesquelles les besoins ne sont pas satisfaits et qui devraient être soutenues par des artefacts appropriés. Pour l'installation/rénovation du système énergétique : concevoir le système, financer l'acquisition ou les travaux et se renseigner. Pour la gestion du système énergétique : fournir de l'énergie, réparer, choisir l'utilisation de l'énergie et acheter de l'énergie. Et enfin, pour la gestion de la consommation d'énergie : consulter sa consommation, comprendre sa consommation, modifier son activité et agir sur les équipements.

4.2.2 Une description des besoins détaillés et généraux

L'analyse des facteurs de structuration des discours pour tous les participants indique que les verbalisations liées aux besoins en rapport à l'énergie dans l'habitat se distinguent par la logique dans laquelle ils s'inscrivent. On retrouve des verbalisations qui s'inscrivent dans une logique pragmatique qui fait référence à l'activité et peuvent être rattachées à l'expression de besoins plutôt pragmatiques, et des verbalisations qui s'inscrivent dans une logique intellectuelle et qui peuvent être rattachées à des besoins plutôt hédoniques. Ainsi, 234 idées de besoins ont été identifiées et catégorisées en fonction de l'activité auxquelles elles se réfèrent. Il n'est cependant pas possible d'indiquer si ces besoins correspondent strictement à des besoins pragmatiques ou hédoniques, dans la mesure où ils sont l'opérationnalisation de besoins pragmatiques et hédoniques fondamentaux dans un contexte donné.

Par ailleurs, 8 besoins généraux liés à l'énergie dans l'habitat ont aussi été identifiées : l'autosuffisance énergétique, l'indépendance vis-à-vis d'autres personnes et organisations, l'implication dans le système énergétique, le confort, le respect de l'environnement, la rentabilité/le coût, l'enthousiasme pour la technologie et la sécurité. Ces besoins sont en accord avec la littérature (voir Tableau 34). Dans une étude qui portait sur les logiques d'action des ménages lors de l'utilisation de 3 dispositifs de maîtrise de l'énergie, La Branche (2015) identifiait 6 logiques d'actions : logique de maîtrise de l'habitat, logique énergiphile, logique de confort, logique écologique, logique économique et logique technoludique. Nos résultats sont aussi cohérents avec ceux de Kalkbrenner (2019) sur les préférences des utilisateurs concernant des systèmes de stockage à batterie. Il identifie les facteurs suivants qui sont en accord avec nos résultats : l'autarcie, le contrôle et la mise à disposition du réseau, le partenariat de service avec l'entreprise et les facteurs économiques. L'auteur identifie

aussi deux facteurs que nous ne retrouvons pas dans notre étude : concept mis en œuvre (individuel ou en communauté) et le mode de propriété (collectif, individuel, non propriétaire ou leasing). Enfin, nous retrouvons en partie les préoccupations d'usages identifiées par Brangier, Vivian et al. (2019), dans cette étude des focus groups avec des experts ont été menés sur l'hydrogène énergie. 4 préoccupations d'usages des utilisateurs envisagées par les experts étaient identifiées : l'écologie, la rentabilité, la sécurité et l'autonomie.

Tableau 34 : Besoins généraux identifiées dans cette étude en comparaison de la littérature.

	La Branche (2015)	Kalkbrenner (2019)	Brangier, Vivian et al. (2019)
Besoins généraux identifiés dans cette étude			
Autosuffisance énergétique	-	Autarcie	Autonomie
Contrôle/Indépendance vis-à-vis d'autres personnes et organisations	Logique de maîtrise de l'habitat	Contrôle et mise à disposition du réseau ; Partenariat de service avec l'entreprise	-
Implication dans le système énergétique	Logique énergiphile	-	-
Confort	Logique de confort	-	-
Respect de l'environnement	Logique écologique	-	Écologie
Rentabilité/Coût	Logique économique	Facteurs économiques	Rentabilité
Enthousiasme pour la technologie	Logique technoludique	-	-
Sécurité	-	-	Sécurité

4.2.3 Une description des scénarios prospectifs d'usages et un catalogue d'idées d'artefacts futurs

L'ensemble des données concernant l'activité et les besoins nous a permis d'identifier 4 scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat, dans lesquels l'hydrogène énergie pourrait avoir un intérêt. Dans ces différents scénarios, les besoins et activités varient entre des logiques où (1a) les

utilisateurs sont passifs et ne cherchent pas à s'impliquer dans l'énergie chez eux, par opposition à (1b) une logique où les utilisateurs souhaitent prendre en main la question de l'énergie ; et entre (2a) une logique de déconnexion des réseaux où les habitants cherchent à être en autarcie, par opposition à (2b) une logique de réseau où la solidarité peut s'exprimer. Ces scénarios distincts doivent donc être soutenus par des artefacts différents et adaptés.

Enfin, un catalogue d'idées d'artefacts inspirées de ces données a été défini par l'ergonome. Ces idées ont été évaluées par deux experts, nous permettant d'identifier les idées les plus disruptives, les plus nouvelles et les plus faisables.

5. Conclusion de l'étude 2

D'un point de vue appliqué, nous retiendrons de cette étude, parmi d'autres résultats, une augmentation de l'activité et des besoins autour de la gestion du système énergétique.

D'un point de vue méthodologique, cette étude permet de statuer en faveur de l'implication des utilisateurs précurseurs dans l'étape d'anticipation des besoins futurs. En effet, Les experts et les utilisateurs précurseurs sont plus bénéfiques que les utilisateurs ordinaires dans l'anticipation des besoins. En particulier, les utilisateurs précurseurs ne sont pas soumis aux difficultés rencontrées par les utilisateurs ordinaires – liées principalement à des représentations insuffisantes du futur – lors de l'anticipation de besoins futurs. Il dispose d'une expertise construite sur la base de connaissances et expériences en rapport avec des activités et des artefacts domestiques. On peut donc considérer les utilisateurs précurseurs comme des experts d'usages, dont les représentations du domaine, des activités et des artefacts sont plus avancées que celles des utilisateurs ordinaires. Leur apport est donc bénéfique, puisqu'ils ont à la fois une représentation importante d'activités précurseurs et qu'ils ont une représentation centrée sur l'usage. Ces caractéristiques leur permettent en plus d'expérimenter en avance des besoins que les utilisateurs ordinaires expérimenteront dans le futur, d'imaginer des besoins futurs.

Il semble donc pertinent d'inclure dans la phase d'anticipation des besoins futurs, à la fois les utilisateurs précurseurs et des experts dans la mesure où ils apportent une forme différente d'expertise : une expertise professionnelle – qui permet de saisir les grands enjeux du domaine – et une expertise d'usage – qui permet de saisir les enjeux liés à l'activité réelle. Cette expertise leur

permet de développer et d'identifier prématurément des besoins utilisateurs futurs. L'inclusion des utilisateurs précurseurs permet également de détecter des besoins qui concernent des activités qui ne sont pas encore expérimentées par les utilisateurs ordinaires.

Cependant, cette étude présente plusieurs limites :

- L'outil utilisé pour l'anticipation des besoins ne varie pas (entretiens d'anticipation des besoins) ;
- L'étude n'a été réalisée que sur un seul domaine appliqué (l'énergie pour l'habitat) ;
- Alors que le protocole d'entretiens a été construit pour favoriser la cognition orientée futur afin d'améliorer les représentations qu'ont les utilisateurs du futur, la qualité de la projection dans le futur n'a pas été mesurée.

Il serait donc intéressant de reproduire cette étude dans d'autres contextes d'applications et en variant les outils utilisés, afin de généraliser nos conclusions. De plus, il serait pertinent de reproduire cette étude avec d'autres outils d'anticipation des besoins et concernant d'autres domaines, afin de s'assurer que les effets que nous avons trouvés ne dépendent pas de l'outil et du domaine étudié. Enfin, il serait plus rigoureux d'un point de vue méthodologique de s'assurer de la capacité du protocole à projeter les individus dans le futur, en validant à priori sa capacité à favoriser la cognition orientée futur, ou en mesurant lors de l'entretien la qualité de la projection future. Ces mesures pourraient être réalisées à l'aide des indicateurs développés dans le chapitre 3 (voir 1.2.4 La mesure de la qualité de l'expérience futur imaginée).

Chapitre 7

Étude 3 : Génération d'idées d'artefacts futurs avec la méthode du persona prospectif

Résumé de l'étude

Cette dernière étude visait à générer des idées d'artefacts futurs relatives à l'hydrogène énergie pour l'habitat, et à mesurer l'efficacité de la méthode du persona prospectif sur la définition d'idées d'artefacts futurs. L'étude consistait en des séances de créativité individuelles réalisées avec des étudiants spécialisés dans le domaine de l'énergie et de l'habitat. En fonction des conditions, les participants disposaient pour réaliser l'exercice d'un persona ordinaire, d'un persona prospectif ou d'aucun support. Les données recueillies ont fait l'objet de traitements statistiques permettant de comparer l'efficacité des différentes méthodes sur la créativité des solutions proposées par les participants.

Ce chapitre est l'objet d'une communication acceptée (ci-dessous).

Communication associée

Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2021, Juin). Improve creativity in future-oriented design with the Prospective Persona. Communication orale acceptée au *21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)*. Vancouver, Canada.

1. Contexte et questions de recherches

Cette étude correspond à la seconde étape de notre méthodologie de conception exploratoire future : la définition d'idées d'artefacts futurs. Elle a donc pour objectif de répondre à la question de recherche appliquée : **Quels concepts d'artefacts futurs intégrant l'hydrogène énergie peut-il être pertinent de concevoir ?**

Sur la base des données issues de l'étude 2, cette étude cherche donc à générer des idées d'artefacts futurs relatifs à l'hydrogène énergie pour l'habitat.

Cette étude vise également à répondre à notre seconde question de recherche méthodologique : **Comment soutenir l'idéation par les concepteurs, de concepts d'artefacts qui répondent aux besoins futurs des utilisateurs ?**

Comme nous l'avons vu dans le cadre théorique, la définition d'idées d'artefacts futurs est une activité de résolution de problème, qui présente plusieurs difficultés pour le concepteur. Celui-ci doit répondre à un problème qui est mal défini, particulièrement dans le cas de la définition d'artefacts futurs, et il a du mal à intégrer des connaissances concernant les utilisateurs, leurs besoins et leurs activités dans la définition de l'artefact. Ainsi, nous avons fait la proposition d'utiliser la méthode du persona prospectif pour favoriser la génération d'idée d'artefacts futurs qui soient nouveaux et adaptés. Le persona prospectif est un persona ayant la spécificité de représenter un utilisateur futur, il est construit sur la base de données collectées auprès d'utilisateurs précurseurs sur leurs besoins présents et futurs. Ainsi, le persona prospectif doit permettre au concepteur d'améliorer sa représentation du problème futur par l'ajout de contraintes qui portent sur les utilisateurs futurs, et il doit faciliter la prise en compte de l'utilisateur par le concepteur grâce au changement de perspective.

L'objectif méthodologique de cette étude est donc de mesurer l'effet de l'utilisation du persona prospectif sur la génération d'idées d'artefacts futurs. À la vue de la littérature mobilisée dans l'état de l'art, nous faisons les hypothèses suivantes :

- **Hypothèse générale 3** : Les idées d'artefacts futurs développées avec un persona prospectif sont plus nouvelles et adaptées que celles développées avec un persona ordinaire ou sans persona. Le persona prospectif permet, comme le persona classique, le changement de perspective, qui permet d'intégrer les connaissances sur les utilisateurs futurs dans la définition des idées d'artefacts. Par ailleurs, le persona prospectif, en décrivant des besoins futurs qui sont moins courants et accessibles aux concepteurs que les besoins présents, est à l'origine d'un enrichissement de la représentation qu'ont les concepteurs des utilisateurs, par une gestion de contraintes plus importante.

Cette hypothèse peut être déclinée en 7 hypothèses opérationnelles :

- **Hypothèse 3.1 (Fluidité des idées)** : l'utilisation du persona prospectif permet de générer plus d'idées que l'utilisation du persona ordinaire ou la non-utilisation de persona ;
- **Hypothèse 3.2 (Originalité des idées)** : l'utilisation du persona prospectif permet de générer plus d'idées originales et des idées en moyenne plus originales que l'utilisation du persona ordinaire ou la non-utilisation de persona ;
- **Hypothèse 3.3 (Nouveauté des idées)** : l'utilisation du persona prospectif permet de générer plus d'idées nouvelles et des idées en moyenne plus nouvelles que l'utilisation du persona ordinaire ou la non-utilisation du persona ;
- **Hypothèse 3.4 (Faisabilité des idées)** : l'utilisation du persona prospectif permet de générer plus d'idées faisables et des idées en moyenne plus faisable que l'utilisation du persona ordinaire ou la non-utilisation de persona ;
- **Hypothèse 3.5 (Pertinence des idées)** : l'utilisation du persona prospectif permet de générer plus d'idées pertinentes et des idées en moyenne plus pertinentes que l'utilisation du persona ordinaire ou la non-utilisation de persona ;
- **Hypothèse 3.6 (Gestion de contraintes perçue)** : l'utilisation du persona prospectif est à l'origine d'une gestion de contraintes perçue plus importante que l'utilisation du persona ordinaire ;
- **Hypothèse 3.7 (Changement de perspective perçue)** : l'utilisation du persona prospectif est à l'origine d'un changement de perspective perçu aussi important que l'utilisation du persona ordinaire.

Une première étude à distance qui impliquait des experts de l'hydrogène énergie a été lancée pour répondre à ces objectifs. Cependant, compte tenu d'un nombre de volontaires faible ($n = 14$) et d'un nombre important d'abandons entre la phase 1 et 2 ($n = 10$), cette étude a été interrompue. Dans l'impossibilité de mobiliser des experts de l'hydrogène énergie – dont les connaissances du domaine sont supposées garantir la génération d'idées pertinentes –, nous avons dû abandonner notre objectif appliqué, qui consistait à définir des idées d'artefacts futurs relatifs à l'hydrogène énergie pour l'habitat. Cette étude vise donc uniquement à répondre à notre objectif méthodologique : qui consiste à mesurer l'effet de l'utilisation du persona prospectif sur la génération d'idées d'artefacts futurs. Pour cela, des séances de créativité individuelles réalisées avec

des étudiants spécialisés dans le domaine de l'énergie et de l'habitat ont été conduites. Les participants devaient générer des idées d'artefacts futurs concernant l'énergie dans l'habitat, avec un persona ordinaire, avec un persona prospectif ou sans persona. Une étude complémentaire a été réalisée pour répliquer spécifiquement nos mesures sur la qualité du persona prospectif par rapport au persona ordinaire, concernant la gestion de contraintes perçue et le changement de perspective perçu.

2. Étude principale

2.1. Méthode

2.1.1 Participants

36 participants ont pris part à l'étude, 5 ont été exclus parce qu'ils n'ont pas rempli le protocole complet. Les participants étaient des étudiants en école d'ingénieur et en masters spécialisés dans l'énergie, 8 femmes et 26 hommes, âgés entre 20 et 29 ans (moyenne = 22,56 ; écart-type = 2,02). Le choix du cursus d'études des participants a été fait de manière à correspondre le plus possible à la population qui serait incluse dans un contexte d'intervention réel (ex. ingénieurs dans les domaines de l'énergie et du bâtiment). Les participants ont été assignés de manière aléatoire aux trois conditions expérimentales :

- Contrôle (pas d'utilisation de persona ; $n = 10$ après exclusion) ;
- Persona ordinaire (utilisation du persona ordinaire ; $n = 11$ après exclusion) ;
- Persona prospectif (utilisation du persona prospectif ; $n = 10$ après exclusion).

Les participants n'ont pas été payés et ont donné leur consentement éclairé avant de participer à l'étude

2.1.2 Matériel

Construction des personas

Deux personas ont été utilisés dans cette étude : un persona ordinaire et un persona prospectif. Ces personas sont issus de données réelles, dans notre cas recueillies dans l'étude 2. Le persona ordinaire est basé sur des données collectées auprès d'utilisateurs ordinaires sur leurs besoins et activités présents, tandis que le persona prospectif est basé sur des données collectées auprès

d'utilisateurs précurseurs sur leurs besoins et activités futurs. Ils ont été construits en suivant une démarche en 2 temps inspirée de la littérature : (1) analyse des données, ici par identifications des variables clés (L. Nielsen, 2007), pour repérer les structures de base et définir les profils des personas (Bornet & Brangier, 2013; Brangier et al., 2012), puis (2) intégration et enrichissement du contenu des personas afin de les rédiger (Bornet & Brangier, 2013; Brangier et al., 2012; Brangier, Vivian et al., 2019).

(1) Analyse des données

Identification des variables clés : les variables clés qui correspondent aux variables que nous avons reconnues comme pertinentes pour décrire les utilisateurs, car elles nous paraissent expliquer les différences entre les individus interrogés, ont été identifiées. Elles portent sur :

- Les activités (partage du système énergétique, installation/maintenance, approvisionnement en énergie, gestion du système énergétique, stockage, distribution de l'énergie, maîtrise technique de l'énergie et maîtrise comportementale de l'énergie) ;
- Les besoins généraux (respect de l'environnement, confort, implication, contrôle/indépendance, rentabilité/coût, autosuffisance énergétique, enthousiasme pour la technologie et sécurité) ;
- Les connaissances liées à l'énergie dans l'habitat.

Positionnement des participants sur les variables : une fois les variables clés identifiées, pour chaque entretien avec un utilisateur précurseur ou avec un utilisateur ordinaire, la position de l'interviewé sur chaque variable a été établie sur la base de son discours. Par exemple, l'analyse de l'entretien numéro 4 indique que la rentabilité est très importante pour cet utilisateur. Il est donc placé à la position qui correspond sur cette variable (voir Figure 66).

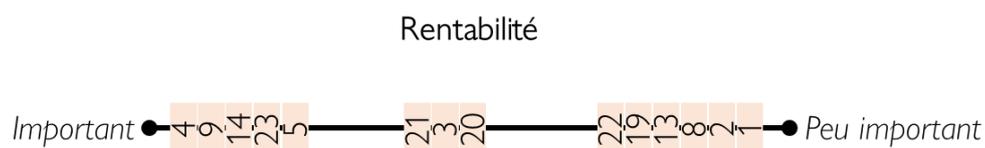


Figure 66 : Exemple du positionnement des utilisateurs précurseurs sur la variable liée au besoin général « Rentabilité »

Identification des patterns d'activités et de besoins généraux, et des profils : pour chaque variable et en fonction de la distribution des participants sur celle-ci, des valeurs ont été attribuées aux participants. Le participant 4 reçoit par exemple la valeur 1, qui correspond au groupe d'utilisateurs pour lesquels la rentabilité est très importante (voir Figure 67).

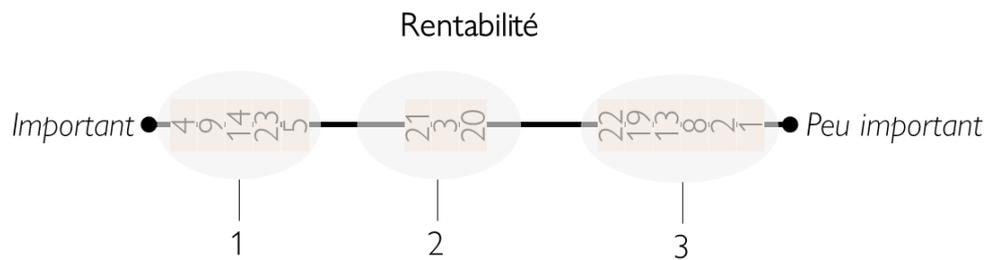


Figure 67 : Exemple de l'attribution de valeurs pour les utilisateurs précurseurs sur la variable liée au besoin général « Rentabilité »

Les valeurs pour chaque variable ont été regroupées dans un tableau afin de permettre de catégoriser de la façon la plus objective possible les patterns d'activités et de besoins généraux des utilisateurs précurseurs et ordinaires. Le regroupement des profils les plus similaires a été fait sur la base de la moindre différence dans la combinaison de valeurs prises sur les différentes variables (voir Tableau 35).

Tableau 35 : Exemple de l'identification des patterns d'activités et de besoins généraux, et des profils pour les utilisateurs précurseurs

		Besoins généraux								Activités									Connaissances
Entretiens		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18
Profil 1	14	1	1	1	1	1	1	2	1	4	1	3	1	1	1	2	1	1	2
	20	1	1	1	1	1	2	3	1	4	3	3	1	1	1	2	1	1	3
	21	1	1	1	1	1	2	2	1	4	2	3	1	1	1	2	1	1	2
	19	1	1	1	1	1	3	4	1	4	1	3	1	1	1	2	1	1	1
Profil 2	4	1	2	1	3	1	1	1	1	4	1	3	2	2	1	1	1	3	1
	8	1	1	1	3	1	3	1	1	4	2	3	2	2	1	1	1	3	1
	23	2	2	1	3	1	1	1	1	4	1	2	2	2	1	2	1	3	1
Profil 3	1	1	2	1	1	1	3	3	1	2	4	3	1	1	1	2	1	1	3
	2	1	2	2	1	1	3	3	1	2	4	3	1	1	1	2	1	1	3
	22	1	1	2	1	1	3	3	1	1	1	3	2	1	1	2	1	1	1
Profil 4	9	1	1	2	2	1	1	3	1	1	4	1	1	2	1	1	2	2	2
	5	3	3	2	2	1	1	3	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	3
	13	3	4	2	2	1	3	3	1	2	4	2	2	1	2	1	1	2	1
	3	2	1	2	2	1	2	3	1	3	4	1	2	2	2	2	2	2	4

4 profils ayant des patterns similaires ont été identifiés pour les utilisateurs précurseurs et 4 profils ont été identifiés pour les utilisateurs ordinaires (dans ce travail, nous ne présentons pas les personas ordinaires, dans la mesure où ils présentent peu d'intérêt appliqué). Un pattern de besoins généraux et d'activités peut être jugé prospectif même si indépendamment les positions des variables qui le composent ne sont pas reconnues comme étant précurseurs, car c'est leur combinaison qui caractérise un utilisateur précurseur. C'est en analysant les données d'utilisateurs présentant des activités précurseurs que l'on peut établir ces patterns prospectifs.

Une fois la définition des profils similaires établie, ceux-ci ont pu être « lus », c'est-à-dire que les positions qui les caractérisent sur les variables liées aux activités et aux besoins généraux ont été identifiées.

(2) Intégration et enrichissement des personas

Les activités et besoins qui définissaient chaque persona ont été associés à des verbatims caractéristiques, issues des entretiens. Ces verbatims ont servi de base à la rédaction des personas.

Ils ont ensuite été enrichis avec des données liées à l'identité (nom, âge, métier) et au contexte d'usage (composition du foyer, habitat et mode de propriété) et avec une photo.

Les personas ont enfin été prétestés avec des ergonomes et des participants tout venant afin de vérifier leur compréhension, leur exclusivité et leur crédibilité.

Sélection et finalisation des personas utilisés dans l'étude

1 persona prospectif et 1 persona ordinaire ont été sélectionnés pour cette étude. De façon arbitraire, le persona « Energiphile » a été sélectionné pour être utilisé dans cette étude (voir Figure 68).

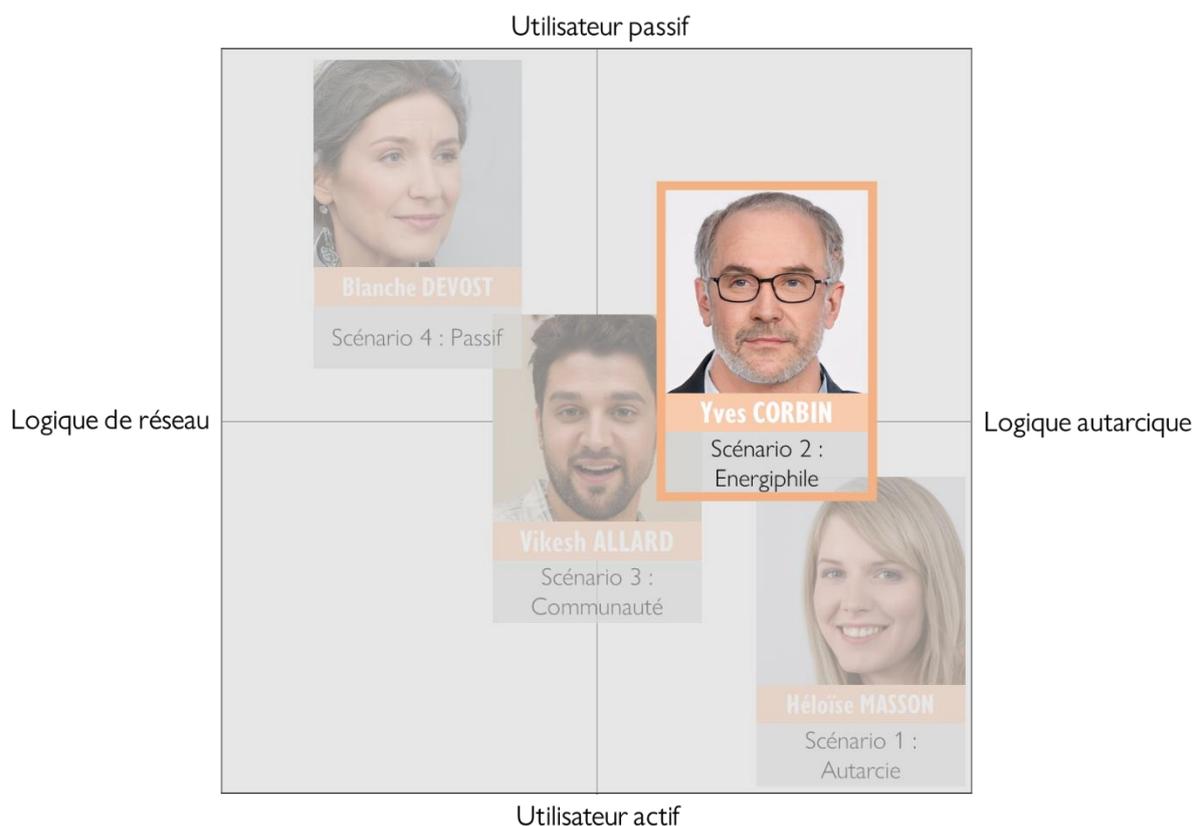


Figure 68 : Persona prospectif utilisé dans cette étude

Le profil du persona ordinaire a été choisi pour être comparable au profil du persona prospectif (ex. les deux personas ne partagent pas leur logement ou leur système énergétique). Pour l'étude

Tableau 36 : Caractéristiques des personas prospectif et ordinaire utilisés dans l'étude

		Persona ordinaire	Persona prospectif	
Forme	<i>Disposition</i>	Identique		
	<i>Nombre de mots</i>	Identique		
	<i>Identité (nom, âge, photo et métier)</i>	Identique		
	<i>Contexte d'usage (composition du foyer, habitat et mode de propriété)</i>	Identique		
Besoins généraux				
	<i>Autosuffisance énergétique</i>	Faible	Important	
	<i>Contrôle/Indépendance vis-à-vis d'autres personnes et organisations</i>	Moyen	Important	
	<i>Implication dans le système énergétique</i>	Faible	Très important	
	<i>Confort</i>	Défavorable à une baisse du confort	Défavorable à une baisse du confort	
	<i>Respect de l'environnement</i>	Moyen	Important	
	<i>Rentabilité/Coût</i>	Important	Important	
	<i>Enthousiasme pour la technologie</i>	Neutre	Important	
	<i>Sécurité</i>	Important	Moyen	
Contenu	Activités			
		<i>Partage du système énergétique</i>	Aucun	Aucun
		<i>Installation/Maintenance</i>	Professionnel	Autoinstallation*
		<i>Approvisionnement d'énergie</i>	Réseaux	Auto production* et réseaux
		<i>Autoconsommation d'énergie*</i>	Non	Oui
		<i>Gestion du système énergétique</i>	Faible	Importante
		<i>Stockage d'énergie*</i>	Non	Oui
		<i>Distribution de l'énergie *</i>	Non	Oui
		<i>Maîtrise technique de l'énergie</i>	Faible	Importante

	<i>Maitrise comportementale de l'énergie</i>	Faible	Faible
Connaissances	<i>Connaissances liées à l'énergie dans l'habitat</i>	Faible	Importante

*Activités identifiées comme précurseurs dans la littérature.

Les personas utilisés dans l'étude ont été prétestés avec des ergonomes et des participants tout venant afin de vérifier leur compréhension, leur exclusivité et leur crédibilité.

2.1.3 Procédure

4 séances de créativité d'une heure chacune ont eu lieu. Elles ont été administrées en personne et été scriptées de manière à garantir des conditions similaires pour chaque session. Les participants étaient tous dans la même pièce mais devaient effectuer l'exercice individuellement. Ils devaient effectuer individuellement une tâche de pensée divergente classique, pour résoudre un problème orienté sur l'avenir. Pour chaque séance, les participants étaient aléatoirement et de façon proportionnelle répartis dans les 3 conditions (pas de persona, persona prospectif ou persona ordinaire). La séance de créativité se déroulait de la manière suivante (voir Figure 70) :

(1) **Briefing** : les participants ont reçu oralement un briefing sur le déroulement de la session et sur le sujet.

(2) **Idéation 1** : les participants avaient 20 minutes pour générer autant d'idées que possible sur les solutions qui peuvent transformer le futur de l'énergie dans l'habitat et soutenir la transition énergétique.

(3) **Familiarisation avec les personas** : en fonction des conditions, les participants se sont ensuite vu présenter un persona ordinaire, un persona prospectif ou ont dû quitter la pièce. Les participants ayant un persona avaient 5 minutes pour lire et comprendre leur persona.

(4) **Idéation 2** : les participants avaient 15 minutes pour générer autant d'idées que possible sur les solutions qui peuvent transformer l'énergie dans l'habitat dans le contexte de la transition énergétique. Les participants dans les conditions avec persona prospectif et ordinaire devaient utiliser leur persona.

(5) **Évaluation des personas** : pour évaluer la qualité des personas, les participants dans les conditions avec personas prospectif et ordinaire devaient évaluer la capacité de leur persona à

contraindre l'idéation et la capacité du persona à leur permettre de changer de perspective, en utilisant 3 échelles de Likert de 1 (tout à fait d'accord) à 7 (tout à fait en désaccord) pour chaque dimension. Les échelles sur la capacité du persona à contraindre l'idéation (inspirées de Bornet, 2014) portaient sur :

- L'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs : [nom du persona] m'a apporté des connaissances utiles à la recherche d'idées ;
- La capacité perçue du persona à inspirer des idées : [nom du persona] m'a inspiré.e ;
- La capacité perçue du persona à orienter les idées : [nom du persona] a orienté mes idées.

Les échelles sur la capacité du persona à permettre aux participants de changer de perspective (inspirées de Bornet, 2014) reposaient sur :

- La compréhension perçue des pensées du persona : Je comprends ce que pense [nom du persona] ;
- La capacité perçue de prévoir les comportements du persona : Je peux prévoir les réactions et comportements de [nom du persona] ;
- La capacité perçue à se mettre à la place du persona : Il m'est facile de me mettre à la place de [nom du persona].

La session se terminait par des questions sociodémographiques.

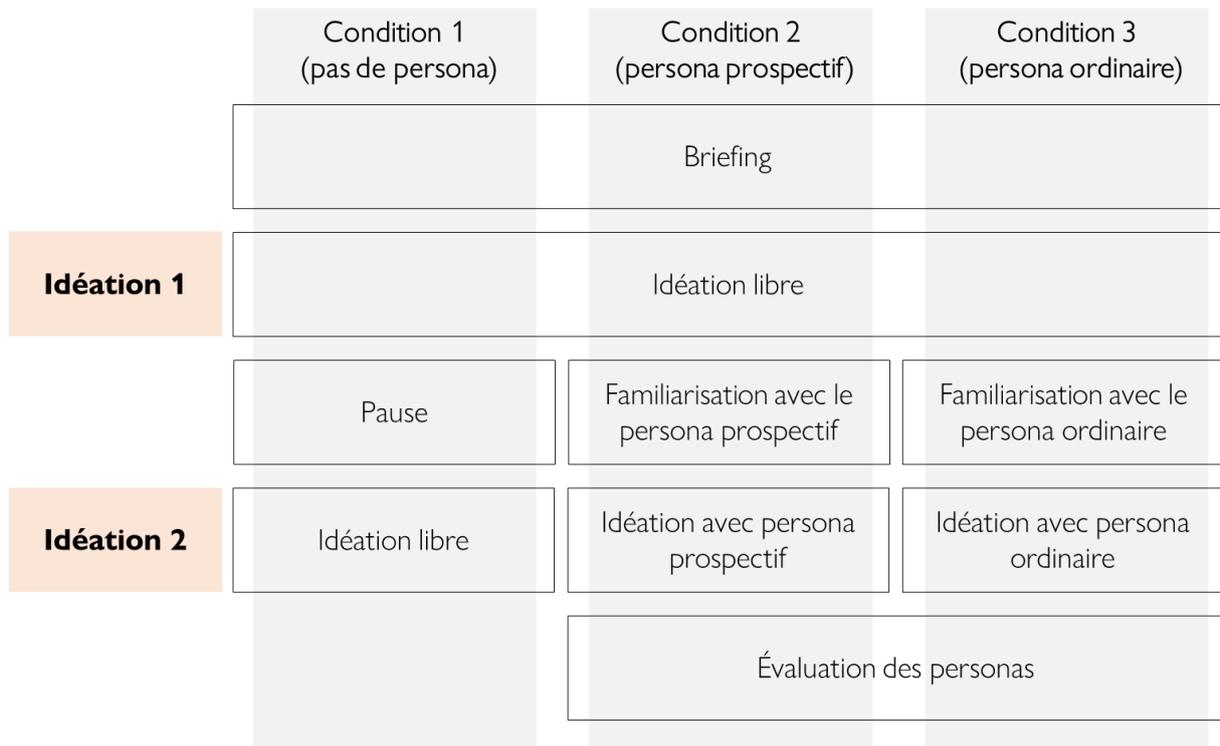


Figure 70 : Déroulement des séances de créativité

2.1.4 Traitements

Catégorisation des idées d'artefacts

Les idées d'artefacts ont été catégorisées indépendamment par deux juges, afin d'identifier les idées originales. Tous les désaccords ont été résolus après discussion.

Évaluation des idées d'artefacts

La créativité des idées a été évaluée à travers la fluidité, l'originalité, la nouveauté, la faisabilité et la pertinence.

La fluidité et l'originalité des idées (fréquence d'occurrence d'une idée) ont été calculées, et la nouveauté, la faisabilité et la pertinence des idées ont été évaluées indépendamment et sans tenir compte des conditions par le chercheur et un juge indépendant (conseiller en développement durable). Les juges ont dû évaluer sur une échelle de Likert allant de 1 (tout à fait d'accord) à 7 (tout à fait en désaccord) le caractère surprenant, réformateur, acceptable, implémentable, applicable et efficace de chaque idée. Les désaccords des juges ont été en partie résolus par la discussion. Le niveau d'accord inter-juges a été calculé à l'aide du test Alpha de Krippendorff et a

été jugé bonne ($\alpha = 0,82$). Pour chaque participant, des scores moyens ont été calculés pour l'originalité, la nouveauté, la faisabilité et la pertinence. Le nombre d'idées originales (idées notées comme plus originales que la moyenne), le nombre d'idées nouvelles (idées notées comme plus nouvelles que la moyenne), le nombre d'idées faisables (idées notées comme plus réalisables que la moyenne) et le nombre d'idées pertinentes (idées notées comme plus pertinentes que la moyenne) par participant ont également été calculés.

Les indicateurs suivants ont été mesurés :

- Fluidité : nombre total d'idées produites par participant ;
- Originalité : moyenne de la rareté statistique des idées par participant ; nombre d'idées originales par participant ;
- Nouveauté : moyenne de la nouveauté des idées par participant ; nombre d'idées nouvelles par participant ;
- Faisabilité : moyenne de la faisabilité des idées par participant ; nombre d'idées faisables par participant ;
- Pertinence : moyenne de la pertinence des idées par participant ; nombre d'idées pertinentes par participant.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de Jamovi 1.2.16 et JASP 0.12.1

2.2. Résultats

2.2.1 Résultats de l'analyse des idées d'artefacts

Pour comparer les différences de créativité des idées entre les différentes conditions pour l'idéation 2, nous avons effectué une ANCOVA en utilisant les données de l'idéation 1 comme covariable. En effet, cette méthode est recommandée pour l'analyse de mesures pré-test et post-test, les données de la phase pré-test étant incluses comme covariable pour contrôler la différence entre les groupes (Dimitrov & Rumrill, 2003; Feys, 2016). Pour les quelques variables qui ne répondent pas à l'hypothèse de normalité, nous avons utilisé le test non paramétrique de Kruskal-Wallis pour l'idéation 1 (pour contrôler les différences entre les participants dans les différentes conditions) et l'idéation 2 (pour effectuer des comparaisons entre les conditions). Aucune différence n'a été trouvée à l'idéation 1, ce qui suggère qu'il n'y a pas de différences entre les participants.

221 idées d'artefacts ont été générées pour un total de 106 idées originales.

Nos analyses n'ont pas montré de différences significatives entre les conditions pour (voir Tableau 37, Tableau 38 et Tableau 39) :

- La fluidité ($F(2,1) = 2,21$; $p = 0,129$; $\omega^2 = 0,059$) ;
- Le nombre d'idées originales ($F(2,1) = 0,734$; $p = 0,489$; $\omega^2 = -0,017$) ;
- Le nombre d'idées faisables ($F(2,1) = 1,99$; $p = 0,157$; $\omega^2 = 0,050$) ;
- Le nombre d'idées pertinentes ($F(2,1) = 1,42$; $p = 0,258$; $\omega^2 = 0,025$) ;
- L'originalité des idées ($H(2) = 4,65$; $p = 0,098$; $\varepsilon^2 = 0,131$) ;
- La pertinence des idées ($H(2) = 4,76$; $p = 0,092$; $\varepsilon^2 = 0,183$).

Tableau 37 : Test de Kruskal-Wallis pour l'originalité des idées, le nombre d'idées nouvelles et la pertinence des idées

	<i>H</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	ε^2
Originalité des idées	4,65	2	0,098	0,131
Nombre d'idées nouvelles	7,6	2	0,025*	0,245
Pertinence des idées	4,76	2	0,092	0,183

* $p < 0,05$.

Tableau 38 : ANCOVA pour la fluidité, le nombre d'idées originales, la nouveauté des idées, le nombre d'idées faisables, la faisabilité des idées et le nombre d'idées pertinentes

	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	ω^2
Fluidité	2,21	2,1	0,129	0,059
Nombre d'idées originales	0,734	2,1	0,489	-0,017
Nouveauté des idées	10,05	2,1	<0,001***	0,397
Nombre d'idées faisables	1,99	2,1	0,157	0,050
Faisabilité des idées	9,272	2,1	0,001**	0,389
Nombre d'idées pertinentes	1,42	2,1	0,258	0,025

** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Tableau 39 : Moyenne et écart-type pour la fluidité, le nombre d'idées originales, l'originalité des idées, le nombre d'idées nouvelles, la nouveauté des idées, le nombre d'idées faisables, la faisabilité des idées, le nombre d'idées pertinentes et la pertinence des idées

	Persona ordinaire		Persona prospectif		Pas de persona	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Fluidité	2	1,55	3,3	2,54	2	1,41
Nombre d'idées originales	0,73	1,1	1,5	1,51	1,3	1,34
Originalité des idées	0,0215	0,0109	0,0156	0,0059	0,0118	0,00533
Nombre d'idées nouvelles	0,45	0,52	1,4	1,07	1,6	1,35
Nouveauté des idées	4,63	1,02	4,24	0,57	3,13	0,66
Nombre d'idées faisables	1,82	1,33	2,6	2,41	0,9	1,1
Faisabilité des idées	2,77	0,6	2,8	0,76	4,27	0,91
Nombre d'idées pertinentes	1,91	1,45	2,5	2,01	1,4	1,17
Pertinence des idées	2,23	0,43	2,38	0,61	3,21	1,13

Néanmoins, nous observons une différence significative concernant le nombre d'idées nouvelles ($H(2) = 7,6$; $p = 0,025$; $\epsilon^2 = 0,245$) (voir Tableau 37). Un test post-hoc de comparaison par paires de Dunn a montré un nombre significativement plus élevé d'idées nouvelles avec un persona prospectif (moyenne = 1,40 ; écart-type = 1,07), qu'avec un persona ordinaire (moyenne = 0,45 ; écart-type = 0,52), et sans persona (moyenne = 1,60 ; écart-type = 1,35) qu'avec un persona ordinaire (voir Tableau 39 et Figure 71).

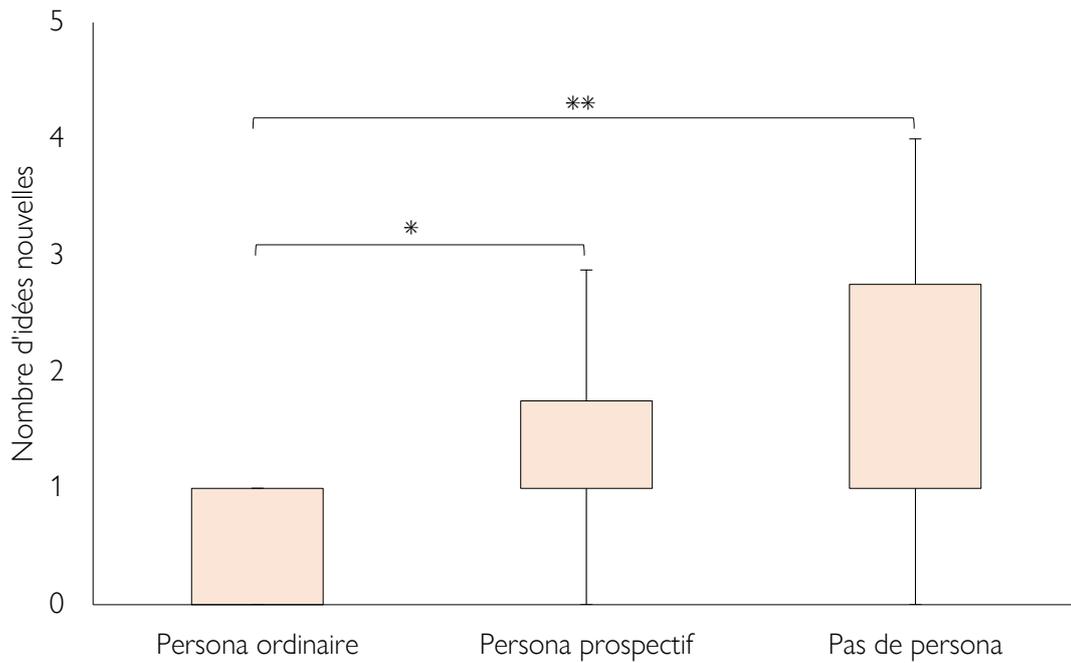


Figure 71 : Nombre d'idées nouvelles (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$)

Nous constatons aussi une différence significative concernant la nouveauté des idées ($F(2,1) = 10,05$; $p < 0,001$; $\omega^2 = 0,397$) (voir Tableau 38). Un test de post-hoc comparaison par paire de Tukey a montré un score de nouveauté des idées significativement meilleur pour la condition sans persona (moyenne = 3,13 ; écart-type = 0,66) que pour la condition avec persona ordinaire (moyenne = 4,63 ; écart-type = 1,02), et la condition avec persona prospectif (moyenne = 4,24 ; écart-type = 0,57) (voir Tableau 39 et Figure 72).

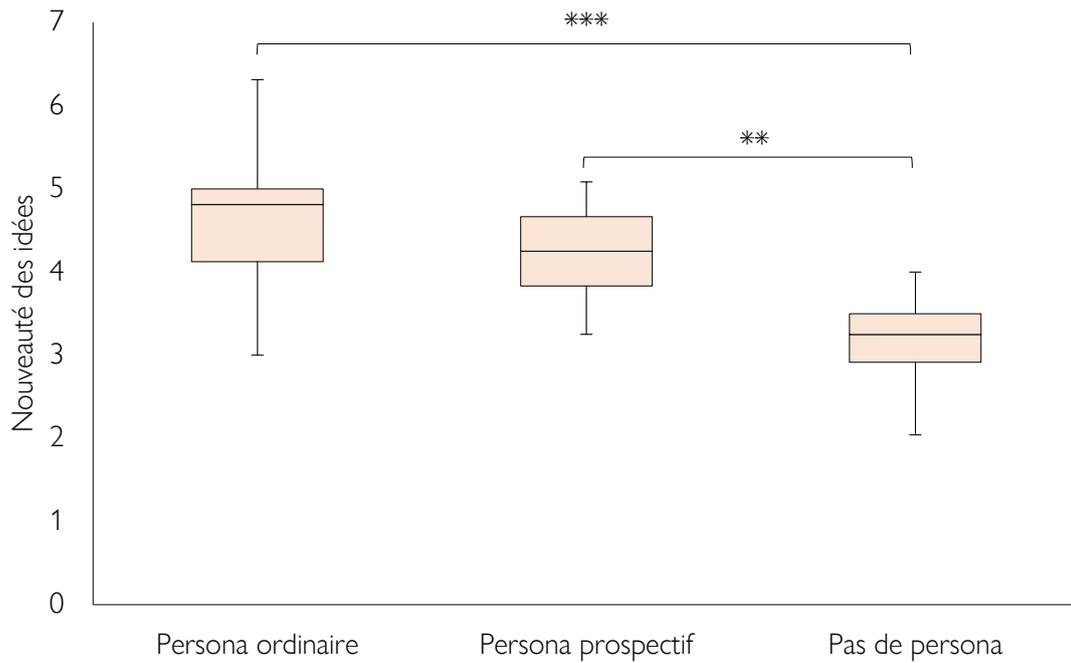


Figure 72 : Nouveauté des idées (** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

Enfin, nous observons une différence significative concernant la faisabilité des idées ($F(2,1) = 9,272$; $p = 0,001$; $\omega^2 = 0,389$) (voir Tableau 38). Un test post-hoc de comparaison par paire de Tukey a montré un score de faisabilité des idées significativement meilleur pour la condition persona ordinaire (moyenne = 2,77 ; écart-type = 0,6) et la condition persona prospectif (moyenne = 2,80 ; écart-type = 0,76), que pour la condition sans persona (moyenne = 4,27 ; écart-type = 0,91) (voir Tableau 39 et Figure 73).

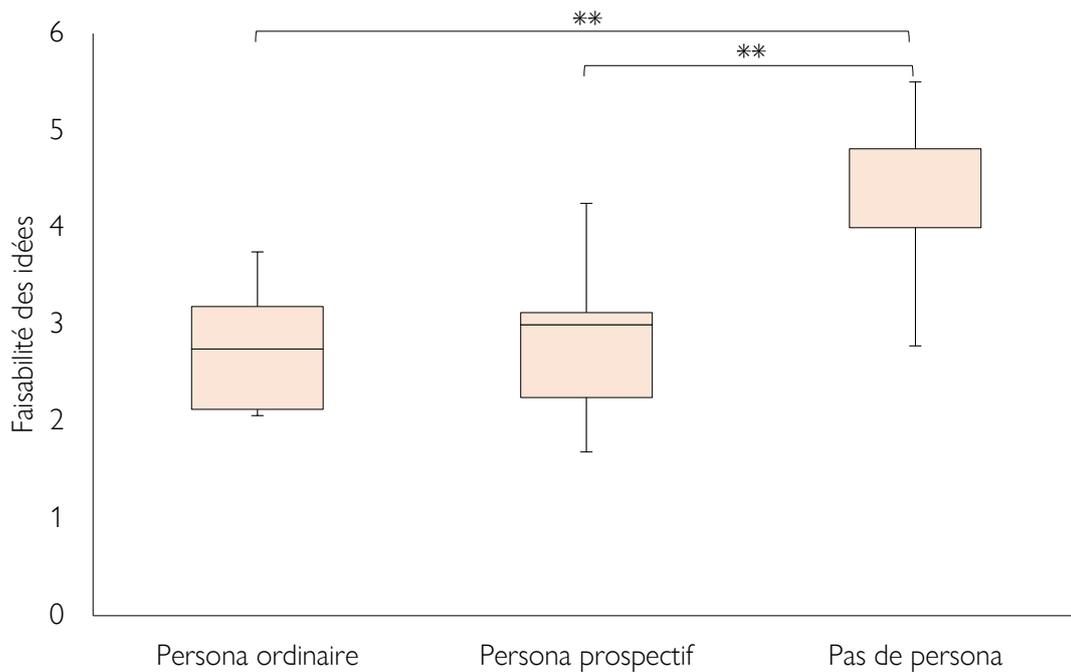


Figure 73 : Faisabilité des idées (** $p < 0,01$)

Ces analyses ont mis en avant que l'utilisation du persona prospectif ou la non-utilisation de persona est à l'origine de plus d'idées nouvelles que l'utilisation du persona ordinaire. Ce qui n'est que partiellement conforme à notre hypothèse 3.3 qui supposait que l'utilisation du persona prospectif permet de générer plus d'idées nouvelles et des idées en moyenne plus nouvelles que l'utilisation du persona ordinaire ou la non-utilisation de persona. Les analyses mettent aussi en avant que la nouveauté des idées est en moyenne plus importante sans l'utilisation de persona qu'avec l'utilisation d'un persona prospectif ou ordinaire. Ceci va à l'encontre de notre hypothèse 3.3 concernant la nouveauté des idées, qui proposait que l'utilisation du persona prospectif permette de générer plus d'idées nouvelles et des idées en moyenne plus nouvelles que l'utilisation du persona ordinaire ou la non-utilisation de persona. Enfin les analyses nous permettent d'indiquer que l'utilisation du persona ordinaire ou prospectif est à l'origine d'idées en moyenne plus faisables. Ce qui est en partie en accord avec l'hypothèse 3.4 relative à la faisabilité des idées, qui supposait que l'utilisation du persona prospectif permet de générer plus d'idées faisables et des idées en moyenne plus faisable que l'utilisation du persona ordinaire ou la non-utilisation de persona. Par ailleurs, ces analyses ne nous permettent pas de statuer favorablement pour l'acceptation des

hypothèses 3.1 sur la fluidité des idées, 3.2 sur l'originalité des idées et 3.5 sur la pertinence des idées.

2.2.2 Résultats de la qualité perçue des personas

Les comparaisons de la qualité des personas ont été effectuées à l'aide de l'ANOVA ou du test non paramétrique de Kruskal-Wallis lorsque les données ne répondaient pas à l'hypothèse de normalité. Les analyses de la qualité des personas ne montrent pas de différences entre les conditions persona prospectif et persona ordinaire (voir Tableau 40, Tableau 41 et Tableau 42) :

- **Gestion de contraintes perçue :**
 - L'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs ($F(2,19) = 0,248 ; p = 0,624 ; \omega^2 = -0,037$) ;
 - La capacité perçue du persona à inspirer des idées ($F(2,19) = 1,79 ; p = 0,238 ; \omega^2 = 0,023$) ;
 - La capacité perçue du persona à orienter les idées ($F(2,19) = 0,10 ; p = 0,724 ; \omega^2 = -0,045$) ;
- **Changement de perspective perçue :**
 - La compréhension perçue des pensées du persona ($H(1) = 0,005 ; p = 0,940 ; \epsilon^2 = 2,80 \cdot 10^{-4}$) ;
 - La capacité perçue de prévoir les comportements du persona ($F(2,19) = 1,52 ; p = 0,233 ; \omega^2 = 0,024$) ;
 - La capacité perçue à se mettre à la place du persona ($F(2,19) = 0,228 ; p = 0,39 ; \omega^2 = -0,038$).

Tableau 40 : Test de Kruskal-Wallis pour la compréhension perçue des pensées du persona

	H	df	p	ϵ^2
Compréhension perçue des pensées du persona	0,005	1	0,940	$2,80 \cdot 10^{-4}$

Tableau 41 : ANOVA pour l'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs, la capacité perçue du persona à inspirer des idées, la capacité perçue du persona à orienter les idées, la capacité perçue de prévoir les comportements du persona et la capacité perçue à se mettre à la place du persona

	F	df	p	ω^2
Enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs	0,248	2,19	0,624	0,037
Capacité perçue du persona à inspirer des idées	1,79	2,19	0,238	0,023
Capacité perçue du persona à orienter les idées	0,10	2,19	0,724	-0,045
Capacité perçue de prévoir les comportements du persona	1,52	2,19	0,233	0,024
Capacité perçue à se mettre à la place du persona	0,228	2,19	0,39	-0,038

Tableau 42 : Moyenne et écart-type pour l'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs, la capacité perçue du persona à inspirer des idées, la capacité perçue du persona à orienter les idées, la capacité perçue de prévoir les comportements du persona, compréhension perçue des pensées du persona et la capacité perçue à se mettre à la place du persona

	Persona ordinaire		Persona prospectif	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs	2,82	1,17	2,55	1,30
Capacité perçue du persona à inspirer des idées	2,09	1,38	2,90	1,66
Capacité perçue du persona à orienter les idées	2,91	1,58	3,10	1,10
Capacité perçue de prévoir les comportements du persona	3	1,48	3,70	1,06
Compréhension perçue des pensées du persona	3,91	1,38	4,10	0,99
Capacité perçue à se mettre à la place du persona	3,55	1,44	3,80	0,92

Ces analyses indiquent qu'il n'y a pas de différence au niveau de la capacité perçue des personas prospectif et ordinaire à favoriser le changement de perspective, et au niveau de la capacité perçue des personas prospectif et ordinaire à favoriser la gestion de contraintes. Ces résultats sont conformes à l'hypothèse 3.7 qui propose que l'utilisation du persona prospectif est à l'origine d'un changement de perspective perçu aussi important que l'utilisation du persona ordinaire, mais ne sont pas en faveur de l'hypothèse 3.6 qui faisait la supposition que l'utilisation du persona prospectif est à l'origine d'une gestion de contraintes perçue comme plus importante que l'utilisation du persona ordinaire.

3. Étude complémentaire

Une étude complémentaire a été menée pour explorer spécifiquement la qualité du persona prospectif par rapport au persona ordinaire, en termes de gestion de contraintes perçue et de changement de perspective perçu. En effet, les résultats de l'étude principale concernant la comparaison de la qualité perçue des personas, ne présentaient pas une grande robustesse dans la mesure où les personas étaient évalués dans un protocole de mesure inter-sujet pour lequel les résultats peuvent être influencés par les différences entre les participants, qui plus est avec un nombre de participants peu important. C'est pourquoi, il nous paraissait important de répliquer cette comparaison avec un protocole en mesures répétées qui permet une mesure plus puissante, et pour lequel les personas prospectif et ordinaire sont tous deux évalués par chaque participant. Cette étude complémentaire cherchait donc à retester les hypothèses 3.6 et 3.7 de l'étude principale, avec un protocole en mesures répétées :

- *Hypothèse 3.6 (Gestion de contraintes perçue) : l'utilisation du persona prospectif est à l'origine d'une gestion de contraintes perçue plus importante que l'utilisation du persona ordinaire ;*
- *Hypothèse 3.7 (Changement de perspective perçue) : l'utilisation du persona prospectif est à l'origine d'un changement de perspective perçu aussi important que l'utilisation du persona ordinaire.*

3.1. Méthode

3.1.1 Participants

32 participants ont pris part à l'étude, 11 femmes et 21 hommes, âgés de 18 à 24 ans (moyenne = 21,06 ; écart-type = 1,37). Comme dans l'étude principale, le choix du cursus d'étude des participants a été fait pour correspondre au mieux à la population qui serait incluse dans un contexte réel d'intervention. Les participants étaient des étudiants en école d'ingénieur et en masters spécialisés dans l'énergie. Ils n'ont pas été rémunérés et ont donné leur consentement éclairé avant de participer à l'étude.

3.1.2 Matériel et procédure

Les mêmes personas que dans l'étude principale ont été utilisés.

Compte tenu des conditions spécifiques liées à la crise sanitaire de 2020, l'étude a été administrée en ligne. Les participants devaient effectuer une courte tâche de créativité à l'aide des personas prospectif et ordinaire. Ensuite, ils devaient évaluer la qualité des personas en termes de gestion de contraintes perçue et de changement de perspective perçue. L'étude s'est déroulée en plusieurs étapes (voir Figure 74) :

(1) Familiarisation avec le persona n : les participants devaient lire et comprendre le persona.

(2) Idéation n : les participants devaient ensuite énumérer 1 à 3 idées de nouvelles idées d'artefacts qui répondent aux besoins du persona en matière d'énergie dans l'habitat.

Les étapes (1) et (2) étaient réalisées successivement pour le persona prospectif et le persona ordinaire, de manière à ce que chaque participant se familiarise et génère des idées pour le persona prospectif et le persona ordinaire. L'ordre de présentation des personas était contrebalancé.

(3) Évaluation des personas : les participants devaient ensuite évaluer les qualités des personas concernant la gestion de contraintes perçue et le changement de contrainte perçue, à la manière de l'étude principale. Pour faciliter la passation, deux échelles de Likert au lieu de trois ont été utilisées pour chaque dimension. Les échelles sur la capacité du persona à contraindre l'idéation portaient sur :

- L'enrichissement perçue des connaissances sur les utilisateurs : [nom du persona] m'a apporté des connaissances utiles à la recherche d'idées ;
- La capacité perçue du persona à orienter les idées : [nom du persona] a orienté mes idées.

Les échelles sur la capacité du persona à permettre aux participants de changer de perspective reposaient sur :

- La compréhension perçue des pensées du persona : Je comprends ce que pense [nom du persona] ;
- La capacité perçue de prévoir les comportements du persona : Je peux prévoir les réactions et comportements de [nom du persona] ;

L'étude s'est terminée par des questions socio-démographiques.

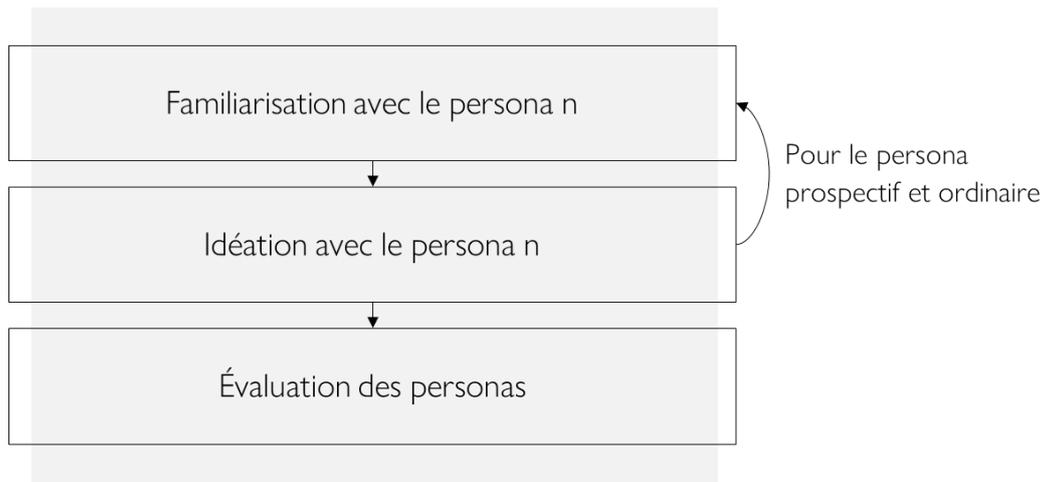


Figure 74 : Déroulement de l'étude complémentaire

3.1.3 Traitements

Des analyses statistiques ont été menées sur le score moyen pour l'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs, la capacité perçue du persona à orienter les idées, la compréhension perçue des pensées du persona et la capacité perçue de prévoir les comportements du persona, en utilisant Jamovi 1.2.16.

3.2. Résultats

Pour comparer la différence de qualité perçue entre les personas, et parce que toutes les variables ne répondent pas à l'hypothèse de normalité, nous avons effectué le test non paramétrique de Friedman pour mesures répétées. Les analyses de la qualité des personas ne montrent pas de différences entre le persona prospectif et le persona ordinaire sur le changement de perspective perçu (voir Tableau 43 et Tableau 44) :

- Compréhension perçue des pensées du persona ($F(1) = 2,25 ; p = 0,134$) ;
- Capacité perçue de prévoir les comportements du persona ($F(1) = 1,19 ; p = 0,275$).

Tableau 43 : Test de Friedman pour l'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs, la capacité perçue du persona à orienter les idées, la compréhension perçue des pensées du persona et la capacité perçue de prévoir les comportements du persona

	F	df	p
Enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs	8,91	1	0,003**

Capacité perçue du persona à orienter les idées	7,35	1	0,007**
Compréhension perçue des pensées du persona	2,25	1	0,134
Capacité perçue de prévoir les comportements du persona	1,19	1	0,275

** $p < 0,01$.

Tableau 44 : Moyenne et écart-type pour l'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs, la capacité perçue du persona à orienter les idées, la compréhension perçue des pensées du persona et la capacité perçue de prévoir les comportements du persona

	Persona ordinaire		Persona prospectif	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs	3,22	1,70	4,38	1,81
Capacité perçue du persona à orienter les idées	3,34	1,31	4,22	1,79
Compréhension perçue des pensées du persona	2,59	1,64	3,09	1,67
Capacité perçue de prévoir les comportements du persona	3,41	1,52	3,88	1,81

Cependant, une différence significative dans la gestion des contraintes perçue a été observée tant pour l'enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs ($F(1) = 8,91$; $p = 0,003$) que pour la capacité perçue de la personne à orienter les idées ($F(1) = 7,35$; $p = 0,007$) (voir Tableau 43 et Tableau 44). Le persona prospectif (moyenne = 3,22 ; écart-type = 1,7) est perçu comme entraînant un plus important enrichissement des connaissances sur les utilisateurs que le persona ordinaire (moyenne = 4,38 ; écart-type = 1,81) (voir Figure 75).

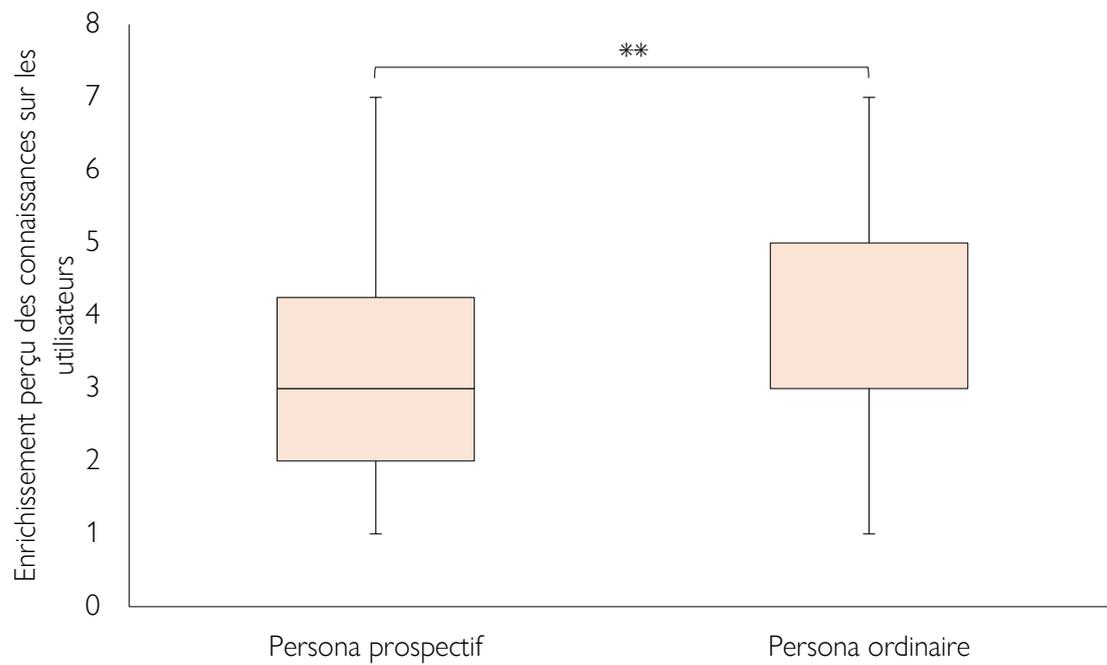


Figure 75 : Enrichissement perçu des connaissances sur les utilisateurs (** $p < ,01$)

Le persona prospectif (moyenne = 3,34 ; écart-type = 1,31) est également perçu comme orientant davantage l'idéation que le persona ordinaire (moyenne = 4,22 ; écart-type = 1,79) (voir Figure 76).

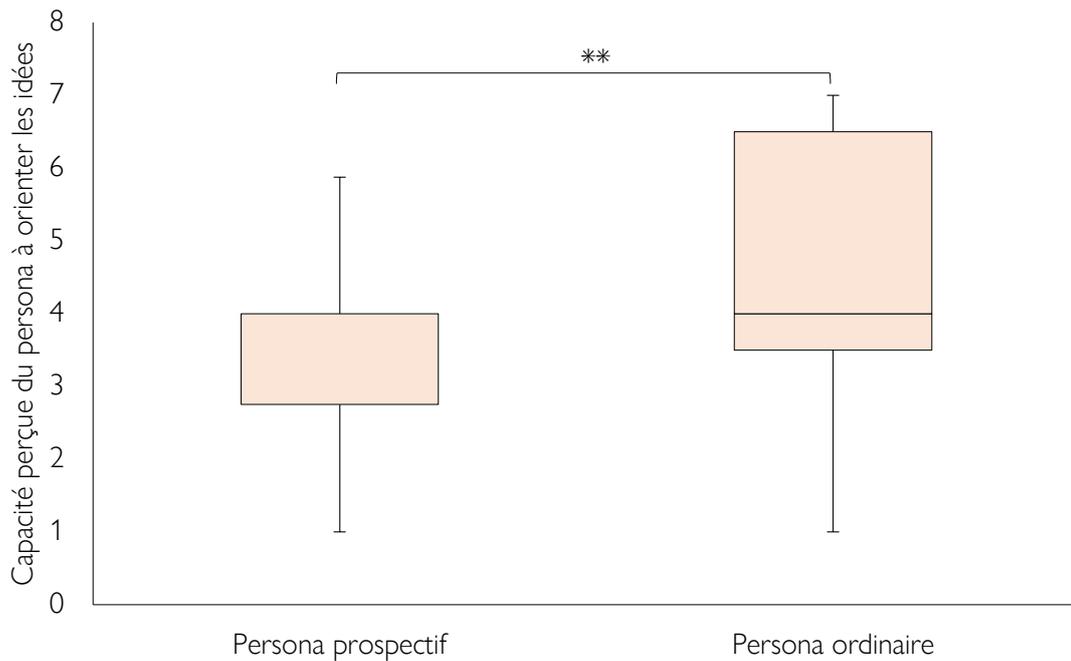


Figure 76 : Capacité perçue du persona à orienter les idées (** $p < 0,01$)

Conformément aux résultats de l'étude principale et à l'hypothèse 3.7, nos analyses montrent qu'il n'y a pas de différences au niveau de la capacité perçue des personas prospectif et ordinaire à favoriser le changement de perspective. Cependant et à la différence de l'étude principale, ces analyses nous permettent de statuer en faveur de l'hypothèse 3.6 qui indiquait que l'utilisation du persona prospectif est à l'origine d'une gestion de contraintes perçue plus importante que l'utilisation du persona ordinaire.

4. Discussion de l'étude 3

Cette étude avait deux objectifs. D'un point de vue appliqué, elle cherchait à identifier des concepts pertinents d'artefacts futurs intégrant l'hydrogène énergie dans l'habitat. Cet objectif a dû être abandonné en raison de la difficulté à mobiliser la population d'experts à même d'apporter des idées ayant une forte valeur. Cet objectif ayant par ailleurs été réalisé dans le cadre de l'étude 2.

D'un point de vue méthodologique, l'étude cherchait à identifier une approche méthodologique permettant de soutenir l'idéation par les concepteurs, de concepts d'artefacts qui répondent aux besoins futurs des utilisateurs. À cet effet, cette étude visait à mesurer l'effet de l'utilisation du

persona prospectif, du persona ordinaire ou de la non-utilisation de persona, sur la génération d'idées d'artefacts futurs. Pour cela, des séances de créativité individuelles ont été conduites, durant lesquelles des étudiants spécialisés dans le domaine de l'énergie et de l'habitat devaient générer des idées d'artefacts concernant le futur de l'énergie dans l'habitat, avec un persona ordinaire, avec un persona prospectif ou sans persona. De plus, une étude complémentaire a été réalisée pour répliquer nos mesures concernant la qualité des personas, concernant la gestion de contraintes perçue et le changement de perspective perçu.

Le persona prospectif est un persona qui a pour spécificité de représenter des utilisateurs futurs. Ces personas présentent un pattern de besoins et d'activités prospectifs. C'est la combinaison d'activités et de besoins qui indépendamment peuvent ne pas être prospectifs, mais qui ensemble le sont, qui caractérise le persona prospectif. Ces patterns sont obtenus en analysant les données collectées auprès d'utilisateurs précurseurs sur des besoins qu'ils expérimentent dans le présent et sur des besoins futurs anticipés. Ainsi, ces personas décrivent ce que l'on peut considérer comme des besoins futurs.

Nous supposons que le persona prospectif, permet de faciliter la compréhension des utilisateurs et leur prise en compte dans la conception grâce au changement de perspective qu'il permet au concepteur, et que le persona prospectif permet d'améliorer la gestion des contraintes en décrivant des besoins futurs qui ne sont pas banals et difficilement accessibles aux concepteurs (car elles proviennent d'utilisateurs qui sont rares), afin de favoriser la recherche d'idées adaptées et nouvelles.

4.1. Des idées d'artefacts plus équilibrées avec le persona prospectif

Les résultats montrent que l'utilisation du persona prospectif et que la non-utilisation de persona donne lieu à plus d'idées nouvelles que l'utilisation du persona ordinaire. Par ailleurs, les idées émises dans la condition sans persona sont en moyenne plus nouvelles que celles émises avec un persona prospectif ou ordinaire. Cette différence de résultat peu semblée contre intuitive, mais elle peut être expliquée par les indicateurs utilisés. En effet, elle indique que la non-utilisation du persona et que l'utilisation du persona prospectif sont tous les deux à l'origine d'un nombre plus

important d'idées jugées comme nouvelles, par rapport à l'utilisation d'un persona ordinaire. Cependant, la non-utilisation de persona permet de générer globalement des idées qui sont plus nouvelles que celles du persona prospectif, même lorsqu'elles ne sont pas jugées comme nouvelles. Enfin, l'utilisation du persona ordinaire ou prospectif est à l'origine d'idées en moyenne plus faisables.

On constate donc une différence en termes de créativité entre l'utilisation du persona prospectif, du persona ordinaire et sans persona. On observe un persona ordinaire qui favorise des idées faisables mais moins nouvelles, la non-utilisation de persona qui favorise des idées nouvelles moins faisables, et le persona prospectif qui favorise des idées nouvelles et faisables. Ces résultats sont conformes à ceux de Bornet et Brangier (2016) qui montrent que les personas conduisent à la génération d'idées plus faisables et ils sont cohérent avec Lilien et al. (2002) qui observent que les méthodes basées sur la représentation d'utilisateurs ordinaires sont à l'origine d'un effet de conformité qui ne permet pas de générer des idées nouvelles. Ils sont aussi en accord avec Mulet et al. (2017) et Pichot, Bonnardel et al. (2020), qui indiquent que les productions jugées comme les plus nouvelles sont jugées comme les moins faisables. Selon ces auteurs, ces dimensions seraient régies par une relation de corrélation négative qui implique que l'augmentation du jugement sur une dimension provoque la diminution du jugement sur l'autre dimension. Nous retrouvons cette relation dans notre étude, avec pour l'utilisation du persona ordinaire des idées plus faisables et moins nouvelles, et pour la non-utilisation de persona des idées plus nouvelles et moins faisables. Cependant, l'utilisation du persona prospectif semble ne pas être assujettie à cette relation de corrélation négative, puisqu'elle est à l'origine d'idées plus équilibrées, à la fois plus faisables que celles dans la condition sans persona et plus nouvelles que celles obtenues avec l'utilisation du persona ordinaire. Ainsi, le persona ordinaire par la représentation de besoins présents semble donc activer des connaissances qui se rapportent à des façons actuelles de répondre à ces besoins et qui ne sont donc pas nouvelles mais qui sont faisables. Le persona prospectif par la représentation de besoins futurs, permettrait d'introduire de nouvelles connaissances qui seraient à l'origine d'idées nouvelles puisque répondant à de nouveaux besoins qui ne sont pas nécessairement satisfaits par les artefacts actuels. Ces nouvelles connaissances seraient aussi à l'origine d'idées faisables car répondant à des besoins explicites et contextualisés. On peut expliquer

que la non-utilisation de persona favorise la génération d'idées qui sont nouvelles dans la mesure où ces idées tentent de répondre à un contexte futur nouveau qui nécessite donc de nouvelles solutions. Cependant, ce contexte futur est équivoque et n'apporte donc pas de soutien à la génération d'idées faisables.

4.2. Les besoins futurs : une contrainte prescrite plutôt que déduite

Concernant la qualité perçue des personas, dans l'étude principale, nos résultats ne montrent pas de différence entre capacité perçue des personas prospectif et ordinaire à favoriser le changement de perspective, et au niveau de la capacité perçue des personas prospectif et ordinaire à favoriser la gestion de contraintes. Cependant, les résultats de l'étude complémentaire indiquent que l'utilisation du persona prospectif est à l'origine d'une gestion de contraintes perçue comme plus importante que l'utilisation du persona ordinaire. Comme pour l'étude principale, aucune différence n'est constatée au niveau de la capacité perçue des personas prospectif et ordinaire à favoriser le changement de perspective. Le persona prospectif permet donc au concepteur d'envisager le monde du point de vue de l'utilisateur. Ce résultat n'est pas surprenant, car le persona prospectif conserve les caractéristiques figuratives du persona, lui permettant de favoriser la simulation mentale de comportements et pensées de l'utilisateur.

Ainsi, les personas ordinaire et prospectif permettraient le même niveau de changement de perspective, mais le persona prospectif induirait une meilleure gestion de contraintes. Nous expliquons cette amélioration de la gestion de contraintes, par l'ajout de contraintes de conception prescrites. Dans le cas du persona ordinaire, on décrit des besoins présents, et c'est au concepteur de déduire ou de spéculer sur les besoins futurs (contraintes déduites), alors que dans le cas du persona prospectif, ces besoins futurs sont des contraintes qui sont explicitement décrites (contraintes prescrites). Les besoins futurs, sont des contraintes transmises à travers le persona, sont des données qui sont moins accessibles et donc nouvelles, qui permettent au concepteur de redéfinir son espace problème (Bonnardel, 2009; Eastman, 1969) – sa représentation du problème et de l'artefact à concevoir – et son espace de recherche (Bonnardel, 2012) – sa représentation des solutions pouvant s'appliquer au problème de conception –, qui sont initialement imprécis

(Bonnardel, 2009; 2012; 2015). Ainsi, le concepteur en enrichissant ces représentations grâce à ces contraintes futures nouvelles et explicites, est à même de produire des idées qui sont plus nouvelles – par l’enrichissement de l’espace de recherche par des données non banales – et adaptées – par l’enrichissement de l’espace problème par un contexte futur. Ces résultats sont partiellement en accord avec Bornet (2014) qui trouvait que les personas permettent d’identifier des idées plus nouvelles, grâce aux nouvelles contraintes qu’ils proposent aux concepteurs, et qui leur permettent d’élargir leur espace de recherche pour identifier des solutions nouvelles. Nos résultats concernant le persona ordinaire suggèrent qu’il permet – dans le cas de la conception orientée futur – d’enrichir la représentation du problème et donc de définir des idées plus faisables, mais pas d’enrichir la définition de l’espace recherche et donc qu’il ne permet pas de définir des idées nouvelles. Le persona prospectif lui semble permettre les deux. Ces résultats soutiennent donc l’idée que la gestion de contraintes permet à la fois de définir l’espace problème et l’espace de recherche. Dans le cas de l’ergonomie prospective, la gestion de contraintes de façon descriptive et explicite est donc prometteuse, car elle semble permettre de mieux circonscrire le futur.

4.3. Le persona prospectif : une variation de la méthode du persona adaptée à la conception tournée vers le futur

Le persona prospectif, si nous le qualifions de méthode, n’est pour autant pas une méthode structurellement différente de la méthode du persona. Il s’agit plutôt d’une variation de la méthode du persona. Cette variation a la particularité de représenter des utilisateurs futurs et leurs besoins, sur une base la plus rigoureuse possible. Le persona prospectif se différencie donc des personas futurs décrits par Fergnani (2019), qui correspondent plutôt à des *assumptions based personas* (personas construits sur la base des connaissances du concepteur et sans recueils de données) visant à rendre un scénario prospectif plus concret.

Le persona prospectif peut être considéré comme faisant partie de la méthode des utilisateurs extraordinaires (Buisine et al., 2018) qui consiste à intégrer des utilisateurs ayant des capacités particulières dans le processus de conception afin de promouvoir la créativité. Buisine et al. (2018) ont également suggéré que cette méthode pourrait être facilitée par l’utilisation de personas qui représentent ces utilisateurs spécifiques. Ceci est particulièrement pertinent dans le cas où

l'anticipation est réalisée avec des utilisateurs précurseurs, qui sont rares, et qu'il n'est pas forcément possible d'inclure dans toutes les étapes de la conception future exploratoire.

Cette étude permet donc de reproduire les résultats concernant la méthode des personas, parfois considérés comme trop peu nombreux (Bonnardel et al., 2016; Bornet & Brangier, 2016). Elle permet également de soutenir l'idée que différentes variations de cette méthode peuvent être plus ou moins efficaces en fonction de la nature et des contraintes du projet de conception, comme le suggère l'étude de Bonnardel et Pichot (2020) sur les personas dynamiques virtuels. Notre étude soutient que l'utilisation du persona prospectif est plus appropriée que l'utilisation du persona ordinaire dans le cas de la conception d'idées d'artefacts futurs.

5. Conclusion de l'étude 3

Cette étude cherchait à comparer l'efficacité du persona ordinaire et du persona prospectif dans un contexte de conception orientée vers le futur. À travers cette comparaison, c'est la façon dont les besoins futurs sont considérés dans la définition d'idées d'artefacts qui est questionnée. Dans un cas, le persona ordinaire, les besoins futurs sont déduits par les concepteurs à partir d'informations sur les besoins présents, ils ne sont pas directement accessibles. Dans l'autre cas, le persona prospectif, les besoins futurs sont décrits, ils sont directement accessibles.

Dans le contexte de la conception exploratoire future, le persona prospectif semble un outil adapté pour implémenter les besoins des utilisateurs futurs dans la définition d'idées d'artefacts. Tout comme la méthode du persona classique, le persona prospectif semble permettre le changement de perspective, afin de faciliter la compréhension et la prise en compte des utilisateurs dans la conception. De plus, il permet au concepteur d'enrichir sa représentation pour avoir des idées nouvelles et adaptées, en apportant des contraintes futures qui sont prescrites, plutôt que déduites sur la base de contraintes qui décrivent le présent. Cette méthode permet ainsi de générer des idées plus faisables, tout en étant à l'origine d'un plus grand nombre de nouvelles idées qu'avec le persona ordinaire. Ces résultats suggèrent aussi qu'il est plus bénéfique de décrire les besoins futurs, plutôt que de laisser les concepteurs spéculer sur les besoins futurs à partir de besoins présents.

Le persona prospectif, à travers la gestion de contraintes décrites explicitement concernant le futur et le changement de perspective permet donc au concepteur d'atténuer ses limites relatives à la définition d'idées d'artefacts futurs et de soutenir son idéation lors de cette étape de conception exploratoire future. Cette méthode permettrait au concepteur (1) d'intégrer les utilisateurs en amont de la conception et donc de ne pas avoir des idées uniquement technocentrée, (2) d'éviter l'effet de conformité lié à la prise en compte de besoins présents afin de favoriser la production d'idées nouvelles et (3) de générer des idées d'artefacts qui correspondent aux besoins futurs des utilisateurs car elles ne se basent pas sur une représentation hypothétique des besoins des utilisateurs.

Cette étude constitue une première étape dans l'évaluation du persona prospectif et présente évidemment des limites qui devraient être comblées par des études supplémentaires. Elle pourrait être reproduite en variant la tâche de créativité utilisée et en mobilisant une population plus expérimentée et avec un échantillon plus large. Un point, particulièrement serait à adresser. La comparaison des personas ordinaire et prospectif porte sur leur contenu et non leur forme. Si les effets pouvant être liés à la forme ont pu être neutralisés (la forme est identique), la question du contrôle des aspects qui ne relèvent pas du caractère prospectif ou ordinaire du contenu des personas, est plus délicate. Les deux personas utilisés dans cette étude sont construits sur la base de données réelles. Ils se différencient par leur pattern d'activités et de besoins qui caractérise soit des utilisateurs ordinaires soit des utilisateurs futurs. Nous avons cherché à inclure le même nombre de descriptions de besoins et d'activités et de le faire avec le même nombre de mots. Cependant, malgré ces précautions, il est possible que certains aspects du contenu que nous n'avons pu contrôler, aient une influence sur nos résultats (ex. référence à des aspects techniques). Cette étude pourrait donc être répliquée en utilisant un nombre conséquent de personas prospectifs et ordinaires.

Chapitre 8

Discussion générale

Résumé du chapitre

Ce chapitre propose une discussion générale de ce travail de recherche. Dans un premier temps, il propose un rappel des objectifs de ce travail de recherche et dresse une synthèse des 3 études réalisées. Dans un deuxième temps, (1) les apports méthodologiques en lien avec la conception exploratoire future et (2) les apports appliqués relatifs à l'étude de l'énergie pour l'habitat et de l'hydrogène énergie pour l'habitat sont discutés. Dans un troisième temps, ce chapitre présente une conclusion de ce travail de recherche et les perspectives qu'il fait naître.

1. Synthèse générale des études

Notre travail de recherche portait sur le soutien de l'idéation centrée sur les utilisateurs futurs lors de la phase de conception exploratoire future. Plus précisément, il cherchait à renseigner les questions de recherches suivantes :

- **Question de recherche méthodologique 1** : Comment soutenir l'idéation de besoins futurs des utilisateurs par les utilisateurs ?
- **Question de recherche méthodologique 2** : Comment soutenir l'idéation par les concepteurs, de concepts d'artefacts qui répondent aux besoins futurs des utilisateurs ?

À travers ces questions de recherche, l'objectif était de contribuer à l'élaboration d'une méthodologie de conception exploratoire future centrée sur les utilisateurs.

En parallèle de cet objectif méthodologique, ce travail de recherche visait à répondre à des objectifs appliqués en rapport à l'hydrogène énergie pour l'habitat, en cherchant à répondre aux questions des recherche suivantes :

- **Question de recherche appliquée 1** : Quels sont les besoins futurs des utilisateurs liés à l'hydrogène énergie ?
- **Question de recherche appliquée 2** : Quels concepts d'artefacts futurs intégrant l'hydrogène énergie peut-il être pertinent de concevoir ?

Pour répondre à ces différents objectifs, nous avons mené 3 études (voir Tableau 45). La liste des publications et communications réalisées autour de ce travail de thèse est disponible en annexe (voir Annexe 9 : Liste des publications et communications liées à la thèse).

Tableau 45 : Synthèse des objectifs des études

	Objectif	Méthodologique	Appliqué
Étude 1 : Les utilisateurs dans la conception de systèmes énergétiques intégrant l'hydrogène énergie	Proposer une méthode de formulation ou d'initiation de la demande en ergonomie prospective	✓	
	Définir l'objet d'étude appliqué du travail de recherche		✓
	Extraire des données sur les utilisateurs et l'hydrogène énergie		✓
	Comprendre comment l'utilisateur est pris en compte dans la conception d'artefacts qui intègrent l'hydrogène énergie		✓
<p>- Question de recherche méthodologique 1 : Comment soutenir l'idéation de besoins futurs des utilisateurs par les utilisateurs ?</p> <p>- Question de recherche appliquée 1 : Quels sont les besoins futurs des utilisateurs liés à l'hydrogène énergie ?</p>			
Étude 2 : Contribution des utilisateurs précurseurs, des utilisateurs ordinaires et des experts à l'anticipation de besoins futurs liés à l'hydrogène énergie pour l'habitat	Anticiper des besoins futurs relatifs à l'hydrogène énergie pour l'habitat		✓
	Mesurer la contribution d'experts, d'utilisateurs précurseurs et d'utilisateurs ordinaires à l'étape d'anticipation de besoins futurs	✓	
	Générer des idées d'artefacts relatives à l'hydrogène énergie pour l'habitat *		✓
<p>- Question de recherche méthodologique 2 : Comment soutenir l'idéation par les concepteurs, de concepts d'artefacts qui répondent aux besoins futurs des utilisateurs ?</p> <p>- Question de recherche appliquée 2 : Quels concepts d'artefacts futurs intégrant l'hydrogène énergie peut-il être pertinent de concevoir ?</p>			
Étude 3 : Génération d'idées d'artefacts futurs avec la méthode du persona prospectif	Générer des idées d'artefacts relatives à l'hydrogène énergie pour l'habitat		×
	Mesurer l'efficacité de la méthode du persona prospectif sur la définition d'idées d'artefacts futurs	✓	

* Cet objectif a été ajouté en cours d'étude

1.1. Synthèse de l'étude 1 - Les utilisateurs dans la conception de systèmes énergétiques intégrant l'hydrogène énergie

Méthode

L'étude 1 était une méta-analyse de la littérature scientifique concernant l'hydrogène énergie (152 publications analysées).

Principaux résultats méthodologiques

- Il est possible de formuler ou d'initier une demande en ergonomie prospective à travers une analyse systématique de la littérature scientifique sur le sujet. Cette demande peut être affinée avec une analyse de la littérature plus ciblée et un benchmark de dispositifs expérimentaux et de références.

Principaux résultats appliqués

- La conception des technologies de l'hydrogène énergie est techno-centrée ;
- Les utilisateurs sont pris en compte tardivement et dans l'optique de favoriser l'adoption des technologies par un ajustement de leurs modalités de déploiement ;
- L'application de l'hydrogène énergie à l'habitat est peu étudiée et présente des enjeux forts ;
- Le marché de l'hydrogène énergie dans l'habitat semble s'orienter principalement vers des applications où l'habitant est passif dans son interaction avec le système énergétique (centralisé ou distribué) ;
- Les habitants constituent un facteur important du succès des systèmes énergétiques ;

1.2. Synthèse de l'étude 2 - Contribution des utilisateurs précurseurs, des utilisateurs ordinaires et des experts à l'anticipation de besoins futurs liés à l'hydrogène énergie pour l'habitat

Méthode

L'étude 2 consistait en une analyse de 36 entretiens d'anticipation des besoins sur le thème de l'énergie dans l'habitat, avec des experts, des utilisateurs précurseurs et des utilisateurs ordinaires.

Hypothèses

- *Hypothèse générale 2* : Les idées de besoins futurs développées par les utilisateurs précurseurs et les experts sont plus nouvelles et adaptées que celles développées par les utilisateurs ordinaires. L'exposition des utilisateurs précurseurs à des activités et artefacts jugés comme précurseurs, leur permet (1) de développer précocement des besoins qui seront expérimentés par la majorité des utilisateurs dans le futur, et (2) des représentations élaborées sur les activités, le domaine et les artefacts, qui facilitent leur capacité à anticiper des besoins futurs. Les experts ont une représentation riche du domaine et sont créatifs, ce qui doit faciliter leur capacité à anticiper des besoins futurs.
- *Hypothèse générale 2* : Les représentations des besoins futurs développés par les utilisateurs précurseurs et les experts sont différentes. Les experts s'appuient sur une représentation hypothétique des utilisateurs, tandis que les utilisateurs précurseurs s'appuient sur une représentation construite sur la base de leur activité réelle.

Principaux résultats méthodologiques

- Les utilisateurs précurseurs ont des connaissances sur des activités qu'ils sont les seuls à expérimenter ;
- Les utilisateurs précurseurs ont le discours le plus riche et le plus original ;
- Les experts et les utilisateurs précurseurs sont détenteurs d'une représentation élaborée du domaine qui s'appuie sur des connaissances différentes : des connaissances professionnelles

pour les experts et des connaissances fondées sur l'expérience domestique pour les utilisateurs précurseurs ;

- Pour le thème le plus prospectif, les experts et les utilisateurs précurseurs ont produit plus d'idées de besoins, des idées plus nouvelles et plus pertinentes que les utilisateurs ordinaires ;

Principaux résultats appliqués

- Les activités de gestion du système énergétique se développent ;
- 234 idées de besoins liées à l'énergie dans l'habitat ont été identifiées ;
- 8 besoins généraux en lien avec l'énergie dans l'habitat ont été identifiés ;
- 4 scénarios d'usages futurs de l'énergie dans l'habitat et les profils utilisateurs correspondants ont été identifiés ;
- 62 idées d'artefacts portant sur des systèmes énergétiques pour l'habitat qui intègrent l'hydrogène énergie ont été définies.

1.3. Synthèse de l'étude 3 - Génération d'idées d'artefacts futurs avec la méthode du persona prospectif

Méthode

L'étude 3 portait sur l'analyse de séances de créativité individuelles avec un persona ordinaire, un persona prospectif ou sans persona. L'étude a été complétée par un questionnaire en ligne.

Hypothèse

Les idées d'artefacts futurs développées avec un persona prospectif sont plus nouvelles et adaptées que celles développées avec un persona ordinaire ou sans persona. Le persona prospectif permet, comme les personas classiques, le changement de perspective, qui permet d'intégrer les connaissances sur les utilisateurs futurs dans la définition des idées d'artefacts. Par ailleurs, le persona prospectif, en décrivant des besoins futurs qui sont moins courants et accessibles aux concepteurs que les besoins présents, est à l'origine d'un enrichissement de la représentation qu'ont les concepteurs des utilisateurs, par la gestion de contraintes plus importantes.

Principaux résultats méthodologiques

- Dans le cas de la définition d'artefacts futurs, l'utilisation du persona prospectif est à l'origine d'idées d'artefacts plus équilibrées, qui sont à la fois plus faisables que celles sans persona, et qui sont à la fois plus nouvelles que celles obtenues avec l'utilisation du persona ordinaire ;
- La gestion de contraintes perçue est plus importante avec le persona prospectif qu'avec le persona ordinaire ;
- Le changement de perspective perçue est aussi important avec le persona prospectif qu'avec le persona ordinaire.

2. Contribution méthodologique : le soutien de l'idéation lors de la conception exploratoire future

Ce travail de recherche visait à identifier et étudier une approche méthodologique de conception exploratoire future centrée sur les utilisateurs. La contribution méthodologique de ce travail consiste à la fois à mesurer l'efficacité de l'approche proposée et à tenter d'en expliquer les raisons.

Pour la communauté scientifique qui s'intéresse à la conception, ce travail permet d'apporter de nouvelles connaissances et pistes de réflexions sur la conception d'artefacts futurs. Pour les praticiens, ce travail doit permettre de proposer une méthodologie et des méthodes opérationnelles pour intervenir lors de la conception d'artefacts futurs qui n'existent pas.

2.1. La conception exploratoire future : une phase critique

La demande pour la conception d'artefacts futurs se développe et nécessite une réponse spécifique. L'ergonomie prospective cherche à répondre à cette demande en investissant la phase amont de la conception, où les concepts d'artefacts à développer sont formés. Cette phase de conception exploratoire future est importante, puisqu'elle doit permettre d'introduire les besoins futurs des utilisateurs dès le début du projet. Cependant, les concepteurs et les utilisateurs sont limités dans leur capacité à contribuer aux deux étapes qui caractérisent cette phase de conception amont : l'anticipation des besoins futurs et la définition d'idées d'artefacts futurs.

L'anticipation de besoins futurs vise à identifier prématurément des besoins utilisateurs futurs. Seulement, les utilisateurs comme les concepteurs sont limités dans leur capacité à identifier ou imaginer ces besoins. Les concepteurs ont des difficultés à se représenter les besoins réels des utilisateurs, car ils se basent sur une représentation hypothétique de l'interaction entre l'utilisateur et l'artefact (Hassenzahl, 2018; Norman, 1988). Les difficultés des utilisateurs portent majoritairement sur leur manque de capacité à se représenter un artefact qu'ils ne connaissent pas ou qui n'existe pas (Anastassova et al., 2007; Anastassova & Mayora-Ibarra, 2009; Barré et al., 2018; Bourgeois-Bougrine et al., 2018; Loup-Escande et al., 2014; Petiot & Yannou, 2004), à s'imaginer le futur (Barré et al., 2018; Bourgeois-Bougrine et al., 2018; Trope & Liberman, 2003, 2010) et à imaginer des besoins nouveaux (Spérandio, 2001 cité par Anastassova, 2006).

La définition d'idées d'artefacts futurs consiste à, sur la base de besoins futurs des utilisateurs, définir des idées préliminaires et incomplètes d'artefacts futurs. Cette étape est, elle aussi soumise aux limites des utilisateurs et des concepteurs. Les utilisateurs n'ont pas une connaissance suffisante du domaine cible qui est nécessaire à la définition d'artefacts (Borillo & Goulette, 2002), ce qui implique qu'ils évoquent des idées infaisables (Van Schaik, 1999). Les concepteurs peuvent être sujet à l'effet de conformité, c'est-à-dire qu'ils se basent sur leurs connaissances des artefacts présents et ont des difficultés à dépasser ces représentations pour imaginer des artefacts futurs différents (Jansson & Smith, 1991; Youmans & Arciszewski, 2014). De plus ils ont du mal à intégrer les utilisateurs (Loup-Escande et al., 2014), en particulier dans cette phase amont de la conception et préfèrent se focaliser sur les aspects techniques (Anastassova, 2006; Anastassova et al., 2007).

Pour autant, il est possible de mettre en place des méthodes, d'amplifier des processus cognitifs et de recourir à certains profils pour compenser ces difficultés (voir Tableau 46).

Tableau 46 : Synthèse des difficultés rencontrées, des processus cognitifs à amplifier, des méthodes recommandées et des profils à impliquer, pour les étapes d'anticipation des besoins futurs et de définition d'idées d'artefacts futurs

	Anticipation de besoins futurs	Définition d'idées d'artefacts futurs
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier prématurément des besoins futurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Définir des idées d'artefacts adaptées aux besoins futurs
Difficultés rencontrées	<p>Utilisateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se représenter un artefact qui n'existe pas - Se représenter l'utilisation d'un artefact qui n'existe pas - Exprimer des besoins concernant un artefact ou une activité non expérimentée - Exprimer les besoins concernant un artefact inconnu - Se représenter le futur - Se représenter des nouveaux besoins - S'affranchir des habitudes, du contexte actuel et du paradigme culturel - Accessibilité <p>Concepteurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se représenter les besoins réels des utilisateurs - Se représenter des besoins qui diffèrent des besoins actuels - Se représenter le futur 	<p>Utilisateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Évoquer des idées faisables - Évoquer des idées pertinentes <p>Concepteurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ne pas se focaliser sur les aspects technologiques - Intégrer les utilisateurs avant la fin de la conception - Ne pas se fier uniquement à leur représentation de l'artefact et des utilisateurs présents
Processus cognitifs à amplifier	<ul style="list-style-type: none"> - Cognition orientée futur 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestion de contraintes - Raisonnement analogique - Changement de perspective
Méthodes recommandées	<ul style="list-style-type: none"> - L'interaction avec un prototype - Le scénario - L'entretien d'anticipation des besoins - Le persona - La séance de créativité - Le staff d'experts de communauté 	<ul style="list-style-type: none"> - Brainstorming - Atelier C-K - TRIZ - Environnements numériques de conception - Persona prospectif
Profils à impliquer	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisateurs précurseurs - Experts du domaine 	<ul style="list-style-type: none"> - Experts du domaine - Experts en conception

Ce travail de recherche défendait la thèse de la nécessaire implication des utilisateurs dans la conception exploratoire future, à travers l'étape d'anticipation de besoins futurs. Dans cette idée, nous avons proposé d'appliquer une méthodologie de conception exploratoire future qui repose (1) sur l'implication d'utilisateurs précurseurs dans des entretiens d'anticipations des besoins futurs et (2) sur l'utilisation du persona prospectif avec des experts du domaine.

2.2. Les utilisateurs précurseurs en soutien à l'anticipation de besoins futurs

Compte tenu de l'importance d'impliquer les utilisateurs dans la phase d'identification des besoins (Loup-Escande et al., 2014; Muller et al., 1997), nous avons exploré l'apport des utilisateurs précurseurs – des utilisateurs qui expérimentent en avance des activités et des artefacts – à l'anticipation de besoins futurs. Pour cela nous avons comparé leur contribution lors d'entretiens d'anticipation des besoins à celle d'utilisateurs ordinaires et d'experts.

2.2.1 Utilisateurs précurseurs : détenteurs d'une expertise d'usage prospective

Il apparaît que les utilisateurs précurseurs ont le discours le plus riche et le plus original concernant les besoins futurs et présents. Ils évoquent notamment des activités qui ne sont pas rapportées par les utilisateurs ordinaires ou les experts, ce qui laisse supposer qu'ils sont les seuls à les expérimenter et à posséder des connaissances les concernant. Les experts ont néanmoins un discours plus original que celui des utilisateurs ordinaires, et qui diffère de celui des utilisateurs précurseurs. Les utilisateurs précurseurs ont un discours qui porte sur des thèmes liés à leur expérience de l'énergie dans l'habitat, alors que les experts évoquent des thèmes propres à leur univers professionnel. Dans le cas du thème le plus prospectif et qui nécessite donc le plus de connaissances du domaine et du futur du domaine, les idées de besoins développées par les experts et les utilisateurs précurseurs sont plus nombreuses, plus nouvelles et plus pertinentes que celles développées par les utilisateurs ordinaires.

Il semblerait donc que les utilisateurs précurseurs et les experts – qui ont par ailleurs une expertise perçue du domaine importante – ont une représentation élaborée du domaine et du futur du domaine, qui leur permet d'identifier et d'imaginer des besoins futurs. Les experts s'appuient sur des connaissances professionnelles et les utilisateurs précurseurs s'appuient sur des connaissances qui proviennent de leur expérience domestique. Ces derniers nous permettent d'identifier des besoins futurs qu'ils expérimentent aujourd'hui à travers des activités « avant-gardistes » qui seront potentiellement expérimentées par le reste des utilisateurs dans le futur. Ils détiennent une connaissance importante du domaine qui leur permet d'imaginer de nouveaux besoins futurs. Nous avançons l'idée que les utilisateurs précurseurs et les experts sont détenteurs de ce que l'on peut appeler une « expertise prospective » (Brangier, Brangier et al., 2019) : ils ont une connaissance considérable d'un domaine et ils sont capables d'aller au-delà de cette connaissance pour imaginer une représentation de l'avenir de ce domaine, et dans notre cas pour imaginer des besoins futurs. Pour les utilisateurs précurseurs, cette expertise prend source dans une représentations d'usages réels et émergents, qui permet d'anticiper des idées de besoins nouvelles, adaptées au domaine et aux utilisateurs.

2.2.2 Un apport complémentaire des utilisateurs précurseurs, des utilisateurs ordinaires et des experts

L'inclusion d'utilisateurs précurseurs à l'anticipation de besoins futurs permet donc de dépasser les difficultés liées aux représentations insuffisantes qu'ont les utilisateurs ordinaires du futur et d'artefacts émergents. De plus et contrairement aux experts, elle permet d'accéder à des besoins futurs « réels » qui s'inscrivent dans des expériences prématurées, et à des besoins futurs certes hypothétiques, mais qui reposent sur une représentation liée à l'expérience d'activités et d'artefacts en rapport avec le domaine. Ainsi, il est possible d'identifier des besoins futurs relatifs à des activités et artefacts émergents, mais aussi d'identifier la qualité de l'expérience utilisateur. Nous soutenons cependant qu'il est aussi important d'inclure dans la phase d'analyse et d'anticipation des besoins futurs, des experts et des utilisateurs ordinaires. En effet, si l'inclusion d'utilisateurs précurseurs permet l'identification de besoins utilisateurs futurs dans une perspective centrée sur leur activité, l'inclusion d'experts peut permettre d'inclure des idées qui sont relatives aux défis et mutations du domaine et qui ne sont pas visibles en dehors des sphères professionnelles concernées. À l'aune

de nos résultats, l'inclusion d'utilisateurs ordinaires ne semble pas être utile pour anticiper des besoins futurs. Cependant, leur inclusion peut permettre de mieux comprendre les besoins actuels, d'identifier les obstacles auxquels se heurtent les utilisateurs lorsqu'ils souhaitent se tourner vers des activités ou des artefacts nouveaux, et d'évaluer la perception qu'ont les utilisateurs des nouvelles activités et artefacts. Les utilisateurs précurseurs, les experts et les utilisateurs ordinaires proposent donc des contributions différentes à cette phase d'anticipation des besoins (voir Tableau 47).

Tableau 47 : Apports des utilisateurs ordinaires, utilisateurs précurseurs et experts à l'analyse et l'anticipation des besoins

		Utilisateurs ordinaires	Utilisateurs précurseurs	Experts
Caractéristiques		Ne détiennent pas d'expertise professionnelle du domaine et n'expérimentent pas d'activités ou d'artefacts précurseurs	Expérimentent prématurément des activités ou des artefacts précurseurs	Détiennent une expertise professionnelle du domaine
Expertise prospective	Source	Expérience personnelle	Expérience personnelle	Expérience professionnelle
	Fluidité	Réduite	Bonne	Bonne
	Nouveauté	Réduite	Bonne	Bonne
	Pertinence	Réduite	Bonne	Bonne
	Originalité	Réduite	Très bonne	Bonne
	Richesse	Conformité	Importante diversité	Bonne diversité
Objectif	Détection de besoins	Comprendre les besoins actuels	Détecter des besoins non ressentis par les utilisateurs ordinaires	Identifier les besoins liés aux défis et mutations du domaine
	Imagination de besoins	Identifier les obstacles que rencontrent les utilisateurs ordinaires pour passer à de nouvelles activités ou artefacts	Imaginer des besoins futurs	Imaginer des besoins futurs
	Autre	Évaluer la perception qu'ont les utilisateurs ordinaires des nouvelles activités ou artefacts	Identifier l'expérience utilisateur liées aux activités et artefacts émergents	-

2.3. Le persona prospectif en soutien à la définition d'idées d'artefacts futurs

Dans la mesure où les concepteurs grâce à leur expertise du domaine et/ou de la conception semblent les individus les plus pertinents à mobiliser pour la définition d'idées d'artefacts futurs,

nous avons étudié la capacité du persona prospectif – persona qui représente des utilisateurs précurseurs – à permettre aux concepteurs de prendre en compte des besoins utilisateurs futurs. Pour cela, nous avons comparé l'efficacité de l'utilisation du persona prospectif par rapport au persona ordinaire et à la non utilisation de persona, à une tâche de créativité orientée sur le futur.

2.3.1 Les besoins futurs : des contraintes prescrites par le persona prospectif

L'utilisation du persona prospectif permet aux concepteurs de produire des idées plus nouvelles qu'avec l'utilisation du persona ordinaire et plus faisable que sans l'utilisation de persona. C'est ainsi la condition qui permet l'émergence des idées les plus équilibrées. Cette nouveauté plus importante constatée dans les idées d'artefacts suggère que le persona prospectif permet un plus grand enrichissement de la représentation des concepteurs concernant l'espace problème (Bonnardel, 2009; Eastman, 1969) et son espace de recherche (Bonnardel, 2012). En effet, le persona prospectif est à l'origine d'une gestion de contraintes perçue plus importante que pour le persona ordinaire. La gestion de contraintes est un processus cognitif qui est reconnu pour améliorer la créativité en permettant justement la redéfinition de l'espace problème et de l'espace de recherche (Bonnardel, 2009, 2012). Dans le cas du persona prospectif, l'augmentation de la gestion de contraintes provient de l'ajout de contraintes prescrites : les besoins futurs. Dans le persona ordinaire, les besoins décrits sont des besoins actuels, il revient au concepteur d'imaginer les besoins du persona ordinaire pour une activité ou un artefact futur, ici les besoins futurs sont une contrainte déduite par le concepteur. Alors que pour le persona prospectif, les besoins futurs sont explicitement décrits et permettent ainsi d'enrichir la représentation des concepteurs dans la mesure où ce sont des données d'une certaine rareté.

Le persona prospectif est donc un outil pertinent pour la définition d'idées d'artefacts futurs, en ce qu'il permet aux concepteurs de contrecarrer l'effet de conformité grâce à la prise en compte de contraintes futures nouvelles, qui portent sur des besoins anticipés. Ces contraintes permettent à la fois aux concepteurs d'imaginer des artefacts qui sont nouveaux, car elles leur sont inconnues, et d'imaginer des artefacts qui soient adaptés aux utilisateurs futurs, car elles décrivent des exigences des utilisateurs. Le persona prospectif est une méthode qui permet de rendre les besoins futurs, directement accessibles par les concepteurs.

2.3.2 La compréhension d'utilisateurs futurs inaccessibles

Dans le cas de la conception d'idées d'artefacts futurs, il convient de prendre en compte les besoins d'utilisateurs qui n'existent pas. Les inclure dans la conception exploratoire est alors problématique. Le persona prospectif permet d'intégrer des représentants fictifs de ces utilisateurs. Ce sont des utilisateurs futurs qui sont construits avec des données issues d'un processus d'anticipation des besoins avec des utilisateurs précurseurs. De plus, le persona prospectif permet le même niveau de changement de perspective que le persona ordinaire. Il permet donc de faciliter la prise en compte des utilisateurs futurs par les concepteurs, car il leur permet de changer de perspective pour considérer l'artefact du point de vue de ces utilisateurs.

Ainsi, le persona prospectif permet de considérer des utilisateurs futurs qui sont inaccessibles, car ils n'existent pas. Cela est rendu possible par la construction puis la présentation de représentants fictifs d'utilisateurs futurs, dans un format qui permet au concepteur de prendre la perspective de l'utilisateur, de comprendre ses pensées et actions.

2.4. Une méthodologie de conception exploratoire future centrée sur les utilisateurs

2.4.1 L'amélioration de la représentation du futur pour améliorer l'idéation future

La méthodologie proposée permet de soutenir l'idéation lors de la conception exploratoire future. D'abord, une idéation relative à des besoins futurs et ensuite, une idéation relative à des artefacts futurs. Il s'agit dans les deux cas de soutenir l'idéation en s'appuyant sur une représentation avancée du futur. Soit en cherchant des individus qui ont une représentation élaborée du futur (ex. experts, utilisateurs précurseurs) soit, en cherchant à améliorer cette représentation (ex. cognition orientée futur, persona prospectif). Cette méthodologie cherche donc à explorer des futurs à travers sa représentation la plus élaborée possible. Les idées étant une trace de cette exploration. L'exploration porte d'abord sur les besoins, il s'agit d'explorer quelles formes peuvent prendre les

besoins dans le futur. Elle porte ensuite sur les artefacts, il s'agit d'explorer quelles formes peut prendre la réponse aux besoins dans le futurs.

De ce fait, nous nous inscrivons plutôt dans un paradigme de découverte des besoins, puisque nous cherchons à identifier des besoins futurs qui prennent forme dans le présent et nous cherchons à identifier comment ces besoins peuvent varier dans une représentation du futur.

2.4.2 Du bénéfice de l'implication des utilisateurs

Alors que les limites des utilisateurs concernant l'anticipation des besoins sont importantes et semblent représenter un frein rédhibitoire à leur implication, il apparaît qu'il est non seulement possible d'intégrer des utilisateurs dans la conception exploratoire future, mais qu'en plus cette approche est largement bénéfique. L'implication des utilisateurs précurseurs à l'anticipation des besoins permet à la fois de s'inscrire dans une approche des besoins basée sur une représentation réelle des usages et d'identifier des besoins concernant des activités qui ne sont pas abordées par les experts. Dans ce contexte, les utilisateurs apportent à la fois de la richesse (ils décrivent des besoins concernant différents thèmes et activités), de la nouveauté (ils sont les seuls à décrire certains besoins) et de la faisabilité (leurs idées de besoins sont basées sur des représentations d'usages réels et ils ont une connaissance suffisante du domaine).

Notre approche se différencie donc de celle de Barré (2015), qui reposait sur des méthodes visant à favoriser l'anticipation de besoins des utilisateurs par les concepteurs.

La méthodologie de conception exploratoire future que nous avons proposée cadre avec la position de Falzon (2005): « *L'ergonome joue un rôle important pour aider les opérateurs à se projeter dans les situations futures et pour traduire leurs contributions en termes utiles aux concepteurs* ». En effet, cette méthodologie cherche dans un premier temps à placer les utilisateurs dans une situation de développement des besoins futurs, pour les aider à se projeter dans le futur. Dans un second temps, elle cherche à analyser ces besoins afin de les transmettre aux concepteurs dans un format utilisable.

Cette approche relève donc d'une implication mixte participative-consultative des utilisateurs dans l'identification des besoins futurs. Participative car les utilisateurs sont placés dans une situation de construction des besoins futurs et consultative car l'ergonome fait seul l'analyse des besoins pour

la transmettre aux concepteurs. Ce n'est pas une méthodologie de co-construction des besoins au sens de la conception participative, dans laquelle les besoins se construisent dans un dialogue entre les concepteurs et les utilisateurs. Une telle approche aurait nécessité de raccourcir notre méthodologie en une étape, dans laquelle les utilisateurs seraient impliqués directement dans la définition d'idées d'artefacts, en tant que concepteurs. Cette approche de co-construction des besoins et de l'artefact aurait nécessité de devoir construire une situation de collaboration efficace entre les différentes parties prenantes, tout en créant une situation permettant de faire émerger des besoins futurs. De plus, compte tenu du caractère rare et spatialement distribué des utilisateurs précurseurs, nous avons opté pour une approche en deux étapes. La méthode du persona prospectif a ainsi permis de transmettre aux concepteurs des données construites avec des utilisateurs rares qu'ils était impossible d'impliquer dans toute la phase de conception exploratoire ou impossible de réunir collectivement.

2.4.3 La conception exploratoire future comme phase préliminaire à des approches préventive et corrective

Si l'ergonomie prospective se distingue des modalités d'intervention dites préventive et corrective, elle n'est pas en contradiction avec elles. Il s'agit donc de trouver l'articulation dans laquelle chacune est la plus efficace. Ainsi, l'ergonomie prospective avec la conception exploratoire future, est complémentaire aux approches préventives et de correction. L'ergonomie prospective à travers la conception exploratoire future a la capacité de définir en amont des concepts d'artefacts pertinents pour l'utilisateur et stratégiques pour le domaine. L'ergonomie prospective permet donc d'initier et guider le processus de conception en décrivant des utilisateurs, des activités et des besoins futurs, et les idées d'artefacts futurs qui y sont adaptés. Ensuite, l'ergonomie préventive a pour rôle d'adapter l'artefact à ses utilisateurs en mettant en œuvre les connaissances ergonomiques pour garantir une expérience utilisateur positive. Enfin, l'ergonomie corrective ajuste l'artefact aux particularités de la situation et de l'environnement dans lesquels il va être utilisé. Cette dernière étape peut prendre la forme d'une approche d'acceptation située qui a pour rôle d'ajuster finement les technologies aux particularités de la situation (Bobillier Chaumon, 2016). Cela est particulièrement important si l'on considère que la relation humain-technologie est dynamique,

qu'elle évolue avec le temps et qu'elle a des spécificités spatiales et culturelles (Adele & Brangier, 2013; Gunzburger et al., 2017) (voir Figure 77).

Modalité d'intervention en ergonomie	Prospective	Préventive	Corrective
Portée	Initier - Façonner	Adapter	Ajuster
Étape de conception	Conception exploratoire future	Conception	Reconception
Action	Définition de concepts d'artefact	Implémentation de l'artefact	Modification de l'artefact
État de l'artefact	Inconnu	En développement	Utilisé

 Temps

Figure 77 : Complémentarités et articulation des différentes modalités de l'intervention en ergonomie

Loup-Escande et Loup (2020) recommandent de suivre une approche expérimentale dans le cas de l'ergonomie préventive et une approche écologique pour l'ergonomie corrective.

2.4.4 Proposition d'une méthodologie opérationnelle de conception exploratoire future centrée sur les utilisateurs

Nous proposons de formaliser la démarche que nous avons mise en place pour en faire une méthodologie la plus opérationnelle possible (voir Figure 78).

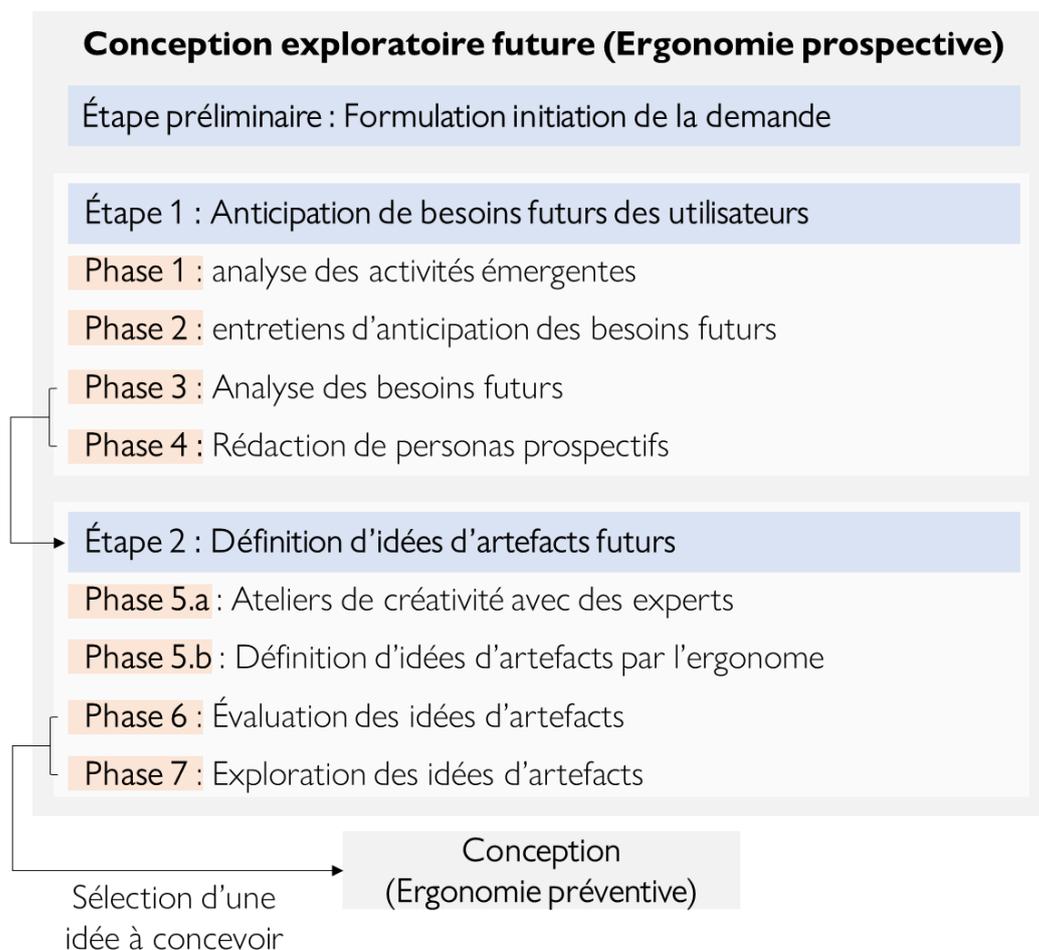


Figure 78 : Proposition de méthodologie opérationnelle de conception exploratoire future centrée sur les utilisateurs

Étape préliminaire : Formulation/Initiation de la demande

Dans le cas de l'ergonomie prospective la demande adressée à l'ergonome peut être particulièrement imprécise, voire inexistante. Il s'agit alors de tenter d'identifier dans le domaine cible, les éléments qui présentent des enjeux futurs stratégiques et qui sont liés aux utilisateurs. Pour cela il est possible de mettre en place différentes méthodes : analyse de littérature, benchmark, focus group avec des experts, analyse de tendances etc. Les enjeux importants identifiés forment l'objet d'étude sur lequel va porter l'intervention de l'ergonome.

Étape 1 : Anticipation de besoins futurs

Phase 1 - Analyse des activités émergentes : l'analyse et la compréhension de l'activité en lien avec l'objet d'étude sont importantes dans la construction des entretiens, en particulier, l'analyse des activités émergentes. C'est ce qui facilite l'obtention de données riches lors des entretiens. Pour cela il est possible de mettre en place des activités classiques pour analyser l'activité : revue de littérature, observation, entretien, analyse des traces de l'activité etc. Il convient de porter une attention importante aux activités qui sont émergentes ou nouvelles même si elles sont minoritaires. Pour cela il est possible de mobiliser des utilisateurs précurseurs.

Phase 2 - Entretiens d'anticipation des besoins futurs : une fois l'activité analysée, il convient de construire son protocole d'entretien d'anticipation des besoins. Pour favoriser la cognition orientée futur des participants, l'entretien doit se baser sur des expériences passées des participants, pour imaginer des expériences futures. Pour consolider la construction de ces représentations du futur, il est important de guider les participants pour qu'ils imaginent un épisode futur distinctif, le plus détaillé possible et qui inclut des éléments autobiographiques. Les entretiens doivent se baser sur l'activité pour favoriser l'expression d'expériences passées et futures, tout en n'étant pas restrictifs pour permettre aux participants d'évoquer des expériences liées à des activités non détectées ou inexistantes. Ces activités peuvent être rédigées sous forme de carte d'activités. Il est aussi possible d'inclure des relances qui font référence aux besoins hédoniques et pragmatiques fondamentaux pour favoriser l'expression d'expériences en lien avec la satisfaction ou l'insatisfaction de ces besoins.

Après avoir pre-testé l'entretien, celui-ci peut être conduit avec différents profils de participants : utilisateurs précurseurs, experts ou utilisateurs ordinaires. Les participants ayant un profil spécifique peuvent être identifiés à l'aide des réseaux sociaux et réseaux sociaux professionnels. Les entretiens pouvant atteindre une durée conséquente, il est important de s'assurer de la disponibilité des participants sur une période correspondantes.

Phase 3 - Analyse des besoins futurs : il faut ensuite identifier les besoins futurs. Cette étape passe par l'identification (voir Tableau 9 : Critères d'identification des idées de besoins) puis la catégorisation des verbalisations qui portent sur des éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive ou des éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative. Ces

expériences peuvent ensuite être catégorisées pour identifier les propositions originales. Les besoins peuvent ensuite être identifiés à travers l'expression de leur satisfaction ou de leur insatisfaction.

Phase 4 - Rédaction de personas prospectifs : après avoir identifié les besoins futurs, il faut identifier les différents patterns, c'est-à-dire les combinaisons de besoins et d'activités qui caractérisent les utilisateurs futurs fictifs. Ces profils peuvent être rédigés sous la forme de scénarios d'usages et de personas prospectifs.

Étape 2 : Définition d'idées d'artefacts futurs

Phase 5.a - Ateliers de créativité avec des experts : des ateliers de créativité avec des experts du domaine peuvent être mis en place. Ce sont des ateliers de créativité classiques qui sont alimentés par les données issues de l'étape d'anticipation de besoins futurs, et qui peuvent être outillés par des personas prospectifs. Leur objectif est de définir des concepts préliminaires et incomplets qui représentent de potentiels futurs produits, technologies, services, organisations ou systèmes.

Phase 5.b - Définition d'idées d'artefacts par l'ergonome : une autre alternative pour définir les idées consiste pour l'ergonome à associer aux besoins, aux verbatims, aux scénarios prospectifs et aux personas des idées d'artefacts. L'expertise du domaine des experts n'est donc pas intégrée à cette étape, mais pourra l'être plus tard, par exemple au moment du développement des solutions sélectionnées.

Phase 6 - Évaluation des idées d'artefacts : les idées d'artefacts produites sont ensuite à évaluer afin de permettre d'identifier celles qui sont les plus pertinentes. En fonction du projet et des parties prenantes, les idées peuvent être évaluées par des experts, des utilisateurs ou les décideurs. Nous recommandons l'évaluation de la qualité des idées concernant les dimensions de la nouveauté, de la faisabilité et de la pertinence. Ce diagnostic permettra de sélectionner les idées qui seront développées, et de s'orienter en fonction des objectifs du projet sur des idées plus ou moins nouvelles et plus ou moins faisables.

Phase 7 - Exploration des idées d'artefacts : à la manière de Allinc et al. (2019), il est possible d'explorer l'interaction potentielle entre les utilisateurs et une idée d'artefact futur qui a été sélectionnée. L'objectif ici est d'affiner les besoins en jeu dans cette interaction. Pour cela on peut

réaliser un entretien orienté futur qui consiste à placer l'utilisateur dans une situation d'interaction imaginaire et scénarisée, afin de recueillir son expérience future imaginée. Ces données permettront d'affiner l'idée d'artefact. On peut considérer cette étape comme un test utilisateur imaginaire.

Après cette étape, on quitte la conception exploratoire future pour entrer dans les phases de conception classiques durant lesquels l'artefact va être développé.

3. Contribution appliquée

La contribution appliquée de ce travail de recherche portait sur (1) des enjeux relatifs à la communauté scientifique principalement en ergonomie et psychologie, qui s'intéresse à l'étude de l'interaction entre l'énergie et l'humain dans l'habitat, et sur (2) des objectifs vis-à-vis du projet IMPACT ULHyS (Université de Lorraine Hydrogène Science et Technologies), qui fédère des recherches sur l'hydrogène-énergie dans le but de questionner comment ce vecteur énergétique peut contribuer à la transition énergétique. Ces objectifs ont été atteints à travers les études 1 et 2.

3.1. Apports à l'étude de l'interaction entre l'énergie et l'humain dans l'habitat

À cet effet, notre travail nous a permis de recueillir des informations concernant les activités présentes et futures liées à l'énergie dans l'habitat. Nous avons pu détailler des activités peu décrites dans la littérature : les activités d'installation et de rénovation du système énergétique, et les activités de gestion du système énergétique. Ces dernières étant des activités que l'on peut qualifier d'émergentes.

234 idées de besoins détaillées en rapport avec l'énergie dans l'habitat ont été identifiées. Nous avons aussi identifié 8 besoins généraux qui guident l'action et les décisions des utilisateurs en rapport avec l'énergie dans l'habitat : l'autosuffisance énergétique, l'indépendance vis-à-vis d'autres personnes et organisations, l'implication dans le système énergétique, le confort, le respect de l'environnement, la rentabilité/le coût, l'enthousiasme pour la technologie et la sécurité. Ces besoins

détaillés et généraux ont pour objectifs d'aider à définir et concevoir des artefacts en lien avec l'énergie dans l'habitat.

Enfin, les combinaisons que peuvent prendre ces activités et besoins dans le futur ont été identifiées à travers 4 scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat. Ces scénarios visent à guider la conception d'artefacts relatifs à l'énergie dans l'habitat. Ils décrivent des situations d'usages futures de l'énergie dans l'habitat, qui peuvent advenir et sur lesquels se baser pour imaginer de futurs artefacts. Ils comportent des patterns d'activités et de besoins différents, et doivent donc être soutenus par des artefacts différents. Pour que les systèmes énergétiques qui répondent à ces scénarios soient acceptés, utilisables, satisfaisants et performants, ils doivent être adaptés à leurs utilisateurs. Cela peut se faire en réfléchissant aux technologies fondamentales, à leur déploiement (réseau, dimensionnement, etc.) et aux solutions (techniques et organisationnelles) qui peuvent soutenir l'utilisation des technologies fondamentales (ex. système ambiant, outils d'aide à la maîtrise collective de l'énergie).

Ces activités, besoins et scénarios d'usages prospectifs portent sur l'énergie dans l'habitat de façon large. Ils peuvent être utilisés pour la conception de systèmes énergétiques qui intègrent l'hydrogène mais ne sont pas limités à cette proposition technologique.

3.2. Apports au champ de l'hydrogène énergie

Concernant les apports au champ de l'hydrogène énergie, ce travail a été l'occasion d'identifier une application stratégique de l'hydrogène énergie qui est peu étudiée, notamment par les sciences humaines et sociales : son utilisation pour l'habitat. Cette application est pertinente aujourd'hui et le sera probablement plus demain. En effet, l'ADEME (2012) prévoit une augmentation importante de la climatisation et de l'usage de produits électroménagers pour la salle de bain et la cuisine et des produits électroménagers de loisir (ex. console, ordinateur). Même si par ailleurs la consommation résidentielle d'énergie devrait baisser en raison de l'amélioration de la performance énergétique, cette augmentation de la climatisation et de l'électroménager entraînerait une hausse importante de la consommation spécifique d'électricité. Hors, l'énergie stockée sous forme d'hydrogène est couramment valorisée en électricité par conversion électrochimique. Avec

l'autoproduction et l'autoconsommation, l'hydrogène énergie pourrait être un moyen d'absorber cette augmentation de la demande spécifique d'électricité.

L'hydrogène énergie pour l'habitat a donc constitué l'objet d'étude principale de notre travail de recherche. Par ailleurs, l'identification de cet objet d'étude nous a permis d'identifier des déterminants de la relation humain-technologie dans le cas de l'hydrogène énergie : ils sont spécifiques aux caractéristiques de la technologie et de l'utilisateur, mais aussi à l'interaction entre eux, et au contexte sociopolitique dans lequel ils s'inscrivent.

Enfin, nous avons utilisé les connaissances concernant l'énergie dans l'habitat que nous avons extraites (besoins, activités et scénarios d'usages prospectifs) pour définir des idées d'artefacts futurs qui intègrent l'hydrogène énergie. Ce sont des idées préliminaires de technologies, fonctions, services, organisations ou systèmes qui portent sur des systèmes énergétiques pour l'habitat qui intègrent l'hydrogène énergie. Certaines idées portent sur les technologies de l'hydrogènes, sur le système énergétique, et d'autres sur des composants qui visent à soutenir les futurs systèmes énergétiques pour l'habitat qui intègrent l'hydrogène. Afin de faciliter leur sélection, les idées ont fait l'objet d'une évaluation permettant d'identifier celles qui sont les plus nouvelles, les plus faisables et les plus équilibrées. Les idées jugées pertinentes sont destinées à faire l'objet de projets de conception.

3.3. Recommandations relatives à l'hydrogène énergie dans l'habitat

Les scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat suggèrent des niveaux d'implications différents des habitants. Dans 3 des scénarios, on observe un souhait de s'impliquer plus ou moins fortement dans la gestion du système énergétique, et dans 1 scénario on observe un souhait de ne pas s'impliquer du tout dans la gestion du système énergétique. Pourtant, l'étude des dispositifs expérimentaux intégrant l'hydrogène énergie dans l'habitat, laisse supposer que le développement des systèmes énergétiques à base d'hydrogène dans l'habitat, s'orientent principalement vers des applications où l'habitant est passif (voir Figure 79).

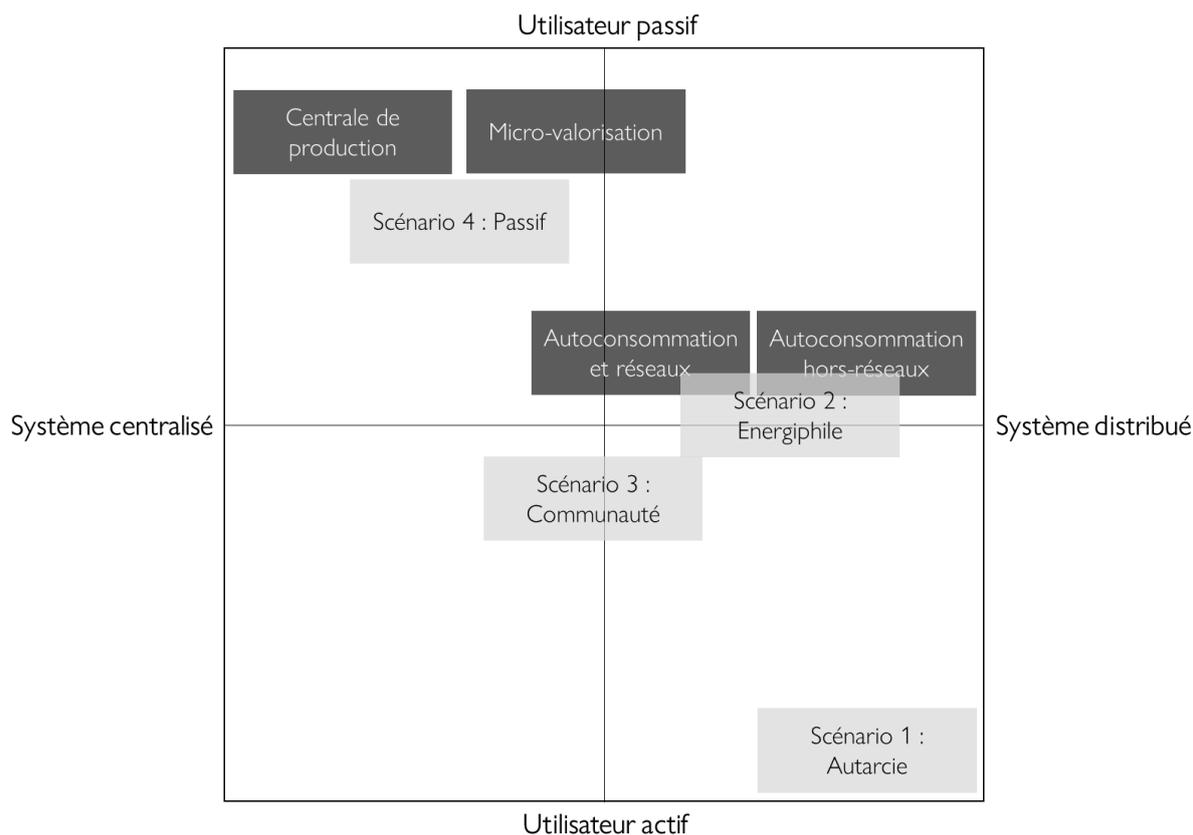


Figure 79 : Catégorisation des dispositifs intégrant l'hydrogène énergie dans l'habitat étudiés dans le benchmark (■) par rapport aux scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat (■)

Sachant que les différents scénarios d'usages nécessitent des artefacts différents, on observe un manque en ce qui concerne le développement de systèmes énergétiques pour l'habitat à base d'hydrogène, qui répondent à un besoin fort d'implication, dans des logiques distribuées comme centralisées.

Par ailleurs, dans le cas des systèmes distribués, l'hydrogène énergie est majoritairement envisagée dans des projets hors-réseaux, seulement un seul des dispositifs d'autoconsommation s'inscrit dans une logique d'autoconsommation connectée aux réseaux. Or, 2 scénarios d'usages prospectifs présentent une recherche d'autonomie qui s'inscrit plutôt dans une logique de réseaux, à la fois pour pallier une production ou un stockage insuffisant, mais aussi pour partager l'énergie.

Ainsi, il paraît important d'amorcer le développement de systèmes énergétiques à base d'hydrogène pour l'habitat, qui impliquent les habitants dans la gestion du système énergétique.

Cela, autant pour des systèmes centralisés que distribués et pas uniquement dans le cas des installations hors-réseaux.

Cette implication des utilisateurs pourrait aussi s'avérer bénéfique pour la transition énergétique. En effet, on considère qu'il y a deux axes qui peuvent permettre de réaliser la transition énergétique : la décarbonisation des sources d'énergie et la maîtrise de la demande énergétique (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2012). Cette dernière vise à réduire la consommation d'énergie via l'efficacité énergétique (diminuer la consommation énergétique des équipements) et la sobriété (diminuer la consommation d'énergie par la modification de l'activité). Le développement de systèmes énergétiques à base d'hydrogène dans l'habitat, pour lesquels l'habitant est passif, s'inscrit typiquement dans la décarbonisation des sources d'énergie. Il s'agit de remplacer une source d'énergie par une autre, sans que l'utilisateur ne s'en rende compte. Cette approche si elle est pertinente, puisqu'elle répond aux besoins de certains utilisateurs, ne s'appuie que sur un des leviers de la transition énergétique. Elle devrait donc s'accompagner d'une recherche de diminution de la demande énergétique. Concevoir des systèmes énergétiques pour l'habitat à base d'hydrogène, qui impliquent les habitants dans la gestion de leur système énergétique et la maîtrise de leur consommation d'énergie, peut-être une opportunité de générer des changements d'usages qui contribuent à la baisse de la demande énergétique.

Ce travail de recherche nous a permis d'identifier des besoins futurs liés à l'énergie dans l'habitat, qui sont valides dans le cas de l'hydrogène énergie. Il nous a aussi permis d'identifier des concepts d'artefacts relatifs aux systèmes énergétiques pour l'habitat qui intègrent l'hydrogène énergie. Ces concepts portent aussi bien sur des composantes du système énergétique que sur le système énergétique en lui-même. Enfin, nous avons pu distinguer les logiques stratégiques dans lesquels ces systèmes pourraient être développés pour contribuer à la transition énergétique.

4. Conclusion

L'ergonome est de plus en plus amené à travailler sur des projets qui sont tournés vers le futur. Il intervient alors en amont lors de la phase de conception exploratoire future. Son rôle est d'identifier des besoins utilisateurs futurs, c'est-à-dire des constructions mentales qui correspondent à l'opérationnalisation de besoins fondamentaux pragmatiques et hédoniques dans

un contexte futur. Ces besoins futurs doivent ensuite être analysés pour pouvoir être injectés dans la définition d'idées d'artefacts futurs adaptés. Pour ces deux étapes d'anticipation des besoins futurs et de définition d'idées d'artefacts futurs, il est nécessaire d'enrichir les représentations des concepteurs et des utilisateurs. Ces représentations sont en effet incomplètes et orientées, car l'utilisateur n'a pas de connaissances approfondies du domaine cible, et le concepteur n'a pas de connaissances relatives aux activités réelles de l'utilisateur. Ces représentations sont aussi approximatives, car elles portent sur des artefacts qui n'existent pas ou sont émergents, et sur le futur qui n'est pas un objet advenu et descriptible et pas forcément prédictible.

À travers l'étude 2, nous avons montré l'importance d'avoir recours à des profils d'utilisateurs spécifiques, les utilisateurs précurseurs, pour l'anticipation de besoins futurs. Ces utilisateurs par leurs expériences d'activités et d'artefacts émergents développent une représentation élaborée du domaine et d'activités que les utilisateurs n'ont pas expérimentées et sur lesquelles les concepteurs n'ont pas forcément d'informations. Ils sont détenteurs à la fois d'une représentation du domaine et de l'activité qui leur sont suffisantes pour construire une représentation du futur de ce domaine.

Dans l'étude 3, nous avons révélé que la description d'utilisateur futur à travers un persona prospectif construit sur la base de besoins anticipés par des utilisateurs précurseurs, permet aux concepteurs d'enrichir leur représentation du futur utilisateur. Ce persona prospectif leur permet d'émettre des idées d'artefacts futurs qui sont plus nouvelles que celles émises avec un persona ordinaire, et plus faisables que celles émises sans persona. Le persona prospectif agirait sur la créativité des concepteurs à travers l'ajout de contraintes de conception futures explicites qui lui permettent d'enrichir sa représentation du problème de conception et de la manière de le résoudre.

Ce travail de recherche permet de soutenir l'idée, largement admise en ergonomie, de l'importance d'inclure les utilisateurs dans la conception. Plus que de soutenir cette idée, elle étend sa pertinence à la conception de systèmes futurs qui n'existent pas.

5. Perspectives

Ce travail fait émerger différentes perspectives de recherches.

Validation de méthodes d'amplification de la cognition orientée futur

Dans notre revue de littérature nous avons développé l'idée que la cognition orientée futur qui permet de préexpérencier des épisodes futurs et donc d'enrichir les représentations du futur, est un processus cognitif qui favorise l'anticipation de besoins futurs. À cet effet, nous avons mobilisé les recommandations que nous avons formulées sur la base de la littérature pertinente pour construire le protocole d'entretien de l'étude 2, dans l'idée de favoriser ce processus cognitif. Nous avons donc mobilisé cette brique théorique sans la manipuler. Afin de stabiliser une méthode performante, il serait pertinent d'étudier et de valider dans quelle mesure ce processus peut être augmenté pour permettre aux individus de construire des représentations riches et réalistes du futur qui facilitent l'anticipation de besoins futurs.

Validation de méthodes d'exploration d'idées d'artefacts futurs

Dans cette thèse nous n'avons pas mis en place de méthode pour explorer les concepts d'artefacts imaginés. Il pourrait être intéressant de voir quelles sont les méthodes les plus intéressantes pour éprouver des idées d'artefacts. La proposition d'Allinc et al. (2019), de réaliser un entretien orienté futur pour placer l'utilisateur dans une situation d'interaction imaginaire et scénarisée, pourrait être complétée par l'adaptation de méthodes classiques à l'évaluation d'idées préliminaires d'artefacts (ex. analyse experte imaginaire).

Évaluation de la méthode du persona improbable

Concernant la définition d'idées d'artefacts futurs, nous avons travaillé sur la gestion de contraintes à l'aide du persona prospectif. Il pourrait être intéressant d'étudier la capacité de personas « improbables » – personas qui décrivent des utilisateurs qui ne représentent pas les utilisateurs cibles, mais qui représentent des utilisateurs de domaines complémentaires – à favoriser la créativité des concepteurs en inspirant des idées nouvelles. L'hypothèse étant que ce genre de persona mobilise le raisonnement par analogie pour élargir l'espace de recherche des concepteurs et apporte des contraintes nouvelles qui peuvent être à l'origine d'idées pertinentes et inédites. Ainsi, pour la définition d'un artefact futur qui porte sur le suivi de la consommation d'énergie, on

pourrait utiliser un persona qui représente une personne qui gère en temps réel une grande quantité d'informations avec de fortes contraintes de sécurité par exemple (ex. contrôleur aérien).

Évaluation de l'efficacité et de la légitimité de l'ergonome comme concepteur

Comme nous l'avons vu dans cette thèse, la définition d'idées d'artefacts peut être réalisées par les concepteurs et outillées par l'ergonome, mais elle peut aussi être directement réalisées par l'ergonome. Cette solution présente deux intérêts l'ergonome a une connaissance importante du corpus et donc des besoins des utilisateurs futurs, et elle est peu coûteuse en temps et ressources puisqu'elle ne nécessite pas de mobiliser des experts. Nous partageons à cet égard le constat fait par Nelson (2019) : l'apport direct de l'ergonome dans l'intervention ergonomique n'est pas assez étudié. Il semble donc porteur pour la discipline d'évaluer dans quelle mesure l'ergonome a la capacité de contribuer directement à la conception, non pas en tant que métier support mais en tant que concepteur.

Vers une ergonomie environnementalement responsable engagée

Si ce travail s'inscrit dans le champ de l'ergonomie environnementalement responsable, force est de constater que ce n'est que par un effet d'opportunisme. En effet, il s'agit d'une intervention en ergonomie qui porte sur un thème compatible avec l'aspect environnementalement responsable. Mais pour autant, c'est une intervention ergonomique classique dans le sens où elle n'a pas été modifiée pour intégrer spécifiquement des contraintes liées à cet aspect environnementalement responsable. Cette critique peut être étendue plus largement au champ de l'ergonomie environnementalement responsable, qui en grande partie propose que l'ergonomie dans sa définition même s'inscrit dans des objectifs pro-environnementaux ou qui propose que l'ergonomie contribue à des activités ayant des objectifs pro-environnementaux (conception de systèmes à faibles ressources, conception d'« emplois verts » et conception pour le changement de comportements) (Thatcher, 2013). La réponse à cette critique pourrait être de définir une ergonomie environnementalement responsable plus engagée, qui passerait par la modification des pratiques en incluant dans la démarche d'ergonomie des dimensions spécifiques à l'environnement.

Mesure du pattern de besoins fondamentaux liés à l'énergie dans l'habitat

Une dernière perspective appliquée, pourrait consister à mesurer à l'aide d'un questionnaire quantitatif l'intensité des différents besoins hédoniques et pragmatiques fondamentaux dans le cas

de l'énergie dans l'habitat. L'identification des besoins fondamentaux les plus saillants en rapport à ce domaine pourrait être une information importante pour la conception des systèmes énergétiques.

Bibliographie

- Addis, D. R., Wong, A. T., & Schacter, D. L. (2007). Remembering the past and imagining the future : Common and distinct neural substrates during event construction and elaboration. *Neuropsychologia*, 45(7), 1363-1377. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.10.016>
- Adele, S., & Brangier, É. (2013). Evolutions in the human technology relationship : Rejection, acceptance and technosymbiosis. *IADIS International Journal on www/Internet*, 11(3), 46-60.
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. (2012). *Contribution de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050*.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. (2016). *Nos logements en 2050 : Quelles évolutions pour notre habitat ?*
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. (2018). *Fiche technique—L'hydrogène dans la transition énergétique*.
- Allinc, A., Cahour, B., & Burkhardt, J.-M. (2019). The Guided Imaginary Projection, a New Methodology for Prospective Ergonomics. Dans S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Dir.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Vol. 824, p. 1340-1347). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96071-5_135
- Altmann, M., Schmidt, P., Mourato, S., & O'Garra, T. (2003). *Analysis and Comparison of Existing Studies. Final Report Work Package 3 of AcceptH2 Project*.
- Altshuller, G. (1996). *And suddenly the inventor appeared : TRIZ, the theory of inventive problem solving* (L. Shulyak, Trad.). Technical Innovation Center.
- Anastassova, M. (2006). *L'analyse ergonomique des besoins en amont de la conception de technologies émergentes*. Université René Descartes.
- Anastassova, M., & Mayora-Ibarra, O. (2009). Elicitation of User Requirements for Mobile Interaction with Visual and RFID Tags : A Prototype-Based Exploratory Study. In M. Kurosu (Dir.), *Human Centered Design* (Vol. 5619, p. 159-166). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02806-9_19
- Anastassova, M., Mégard, C., & Burkhardt, J.-M., J.-M. (2007). Prototype Evaluation and User-Needs Analysis in the Early Design of Emerging Technologies. Dans J. A. Jacko (Dir.), *Human-Computer Interaction. Interaction Design and Usability* (Vol. 4550, p. 383-392). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73105-4_42
- Annett, J., & Duncan, S. D. (1967). Task analysis and training design. *Occupational Psychology*, 41, 211-221.
- Ardichvili, A., Cardozo, R., & Ray, S. (2003). A theory of entrepreneurial opportunity identification and development. *Journal of Business Venturing*, 18(1), 105-123. [https://doi.org/10.1016/S0883-9026\(01\)00068-4](https://doi.org/10.1016/S0883-9026(01)00068-4)

- Arentz, J., Sautet, F., & Storr, V. (2013). Prior-knowledge and opportunity identification. *Small Business Economics*, 41(2), 461-478. <https://doi.org/10.1007/s11187-012-9437-9>
- Arzy, S., Collette, S., Ionta, S., Fornari, E., & Blanke, O. (2009). Subjective mental time : The functional architecture of projecting the self to past and future. *European Journal of Neuroscience*, 30(10), 2009-2017. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.06974.x>
- Bakker, S., van Lente, H., & Meeus, M. T. H. (2012). Dominance in the prototyping phase—The case of hydrogen passenger cars. *Research Policy*, 41(5), 871-883. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.01.007>
- Barcellini, F., Détienne, F., & Burkhardt, J.-M. (2008). User and developer mediation in an Open Source Software community : Boundary spanning through cross participation in online discussions. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(7), 558-570. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.10.008>
- Barré, J. (2015). *Vers de nouveaux outils pour l'anticipation des besoins utilisateurs : Apports méthodologiques pour l'ergonomie prospective*. École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.
- Barré, J., Buisine, S., & Aoussat, A. (2018). Persona logical thinking: Improving requirements elicitation for multidisciplinary teams. *CoDesign*, 14(3), 218-237. <https://doi.org/10.1080/15710882.2017.1301959>
- Bartlett, F. C. (1962). Ergonomics research society: The society's lecture 1962 given at Loughborough, 9 april the future for ergonomics. *Ergonomics*, 5(4), 505-511. <https://doi.org/10.1080/00140136208930653>
- Bastien, J.-M. C., Brangier, É., Dinet, J., Barcenilla, J., Michel, G., & Vivian, R. (2009). *The Expert Community Staff: An Innovative Method for Capturing End-users' Needs*. 374-377.
- Bastien, J.-M. C., & Scapin, D. (2004). La conception de logiciels interactifs centrée sur l'utilisateur : Étapes et méthodes. Dans Falzon, P. *Ergonomie* (1^{re} éd., p. 451-462). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2004.01.0451>
- Bazzaro, F., Charrier, M., & Sagot, J.-C. (2012). *Design et ergonomie : Facteurs d'innovation dans la conception*. 47^{ème} Congrès International de la Société d'Ergonomie de Langue Française.
- Béguin, P. (2003). Design as a mutual learning process between users and designers. *Interacting with Computers*, 15(5), 709-730. [https://doi.org/10.1016/S0953-5438\(03\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0953-5438(03)00060-2)
- Bennett, N., & Lemoine, G. J. (2014). What a difference a word makes : Understanding threats to performance in a VUCA world. *Business Horizons*, 57(3), 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2014.01.001>
- Bigerna, S., & Polinori, P. (2015). Willingness to Pay and Public Acceptance for Hydrogen Buses : A Case Study of Perugia. *Sustainability*, 7(10), 13270-13289. <https://doi.org/10.3390/su71013270>
- Blaise, G., & Glachant, M. (2019). Quel est l'impact des travaux de rénovation énergétique des logements sur la consommation d'énergie? *La revue de l'énergie*, 646, 46-60.

- Bobillier Chaumon, M-E. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : Premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 22(1), 4-21. <https://doi.org/10.1016/j.pto.2016.01.001>
- Bonetto, E., Pichot, N., Pavani, J.-B., & Adam-Troïan, J. (2021). The paradox of creativity. *New Ideas in Psychology*, 60, 100820. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2020.100820>
- Bonnardel, N. (2000). Towards understanding and supporting creativity in design : Analogies in a constrained cognitive environment. *Knowledge-Based Systems*, 13(7-8), 505-513. [https://doi.org/10.1016/S0950-7051\(00\)00067-8](https://doi.org/10.1016/S0950-7051(00)00067-8)
- Bonnardel, N. (2012). Designing future products : What difficulties do designers encounter and how can their creative process be supported? *Work*, 41, 5296-5303. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0020-5296>
- Bonnardel, N., Forens, M., & Lefevre, M. (2015). Collaborative creativity in prospective design activities : An exploratory study of the influence of static vs dynamic personas in a virtual environment. *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA*.
- Bonnardel, N., Forens, M., & Lefevre, M. (2016). Enhancing Collective Creative Design : An Exploratory Study on the Influence of Static and Dynamic Personas in a Virtual Environment. *The Design Journal*, 19(2), 221-235. <https://doi.org/10.1080/14606925.2016.1129145>
- Bonnardel, N., & Lubart, T. (2019). La créativité : Approches et méthodes en psychologie et en ergonomie. *RIMHE : Revue Interdisciplinaire Management, Homme & Entreprise*, n°37(4), 79-98. <https://doi.org/10.3917/rimhe.037.0079>
- Bonnardel, N., & Pichot, N. (2020). Enhancing collaborative creativity with virtual dynamic personas. *Applied Ergonomics*, 82, 102949. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102949>
- Bonnardel, N. (2009). Activités de conception et créativité : De l'analyse des facteurs cognitifs à l'assistance aux activités de conception créatives. *Le travail humain*, 72(1), 5. <https://doi.org/10.3917/th.721.0005>
- Bonnardel, N., & Bouchard, C. (2014). Design, ergonomics and user interfaces : Complementary and interdisciplinary studies to enhance creative activities. *Proceedings of the 2014 Ergonomie et Informatique Avancée Conference - Design, Ergonomie et IHM: Quelle Articulation Pour La Co-Conception de l'interaction*, 2-10. <https://doi.org/10.1145/2671470.2671471>
- Bonnin, M. (2016). *Habitable et confortable modeles culturels, pratiques de l'habitat et pratiques de consommation d'energie en logement social et coproprietes*. Université Paris Ouest.
- Borillo, M., & Goulette, J.-P. (Dir.). (2002). *Cognition et création : Explorations cognitives des processus de conception*. Mardaga.
- Bornet, C. (2014). *Evaluation de la méthode des personas en intervention corrective, préventive et prospective*. Université de Lorraine.
- Bornet, C., & Brangier, É. (2013). La méthode des personas : Principes, intérêts et limites. *Bulletin de psychologie*, Numéro 524(2), 115-134.

- Bornet, C., & Brangier, É. (2016). The effects of personas on creative codesign of work equipment : An exploratory study in a real setting. *CoDesign*, 12(4), 243-256. <https://doi.org/10.1080/15710882.2015.1112814>
- Bourgeois-Bougrine, S., Latorre, S., & Mourey, F. (2018). Promoting creative imagination of non-expressed needs : Exploring a combined approach to enhance design thinking. *Creativity Studies*, 11(2), 377-394. <https://doi.org/10.3846/cs.2018.7184>
- Bovay, C. (1987). *L'Énergie au quotidien : Aspects sociologiques et éthiques de la consommation d'énergie*. Labor et Fides.
- Boyer, P. (2008). Evolutionary economics of mental time travel? *Trends in Cognitive Sciences*, 12(6), 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.03.003>
- Brangier, É. (2006). Besoin et interface. In J. Akoka & I. Comyn-Wattiau (Dir.), *Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'information* (p. 1070-1084). Vuibert.
- Brangier, É., Barcenilla, J., & Robert, J.-M. (2017). Prospective ergonomics and innovative ideas in the early stages of design projects. Dans A. Zunjic (Dir.), *Ergonomic Design and Assessment of Products and Systems* (p. 47-68). Nova Science Publishers.
- Brangier, É., & Bastien, J.-M. C. (2010). L'évolution de l'ergonomie des produits informatiques : Accessibilité, utilisabilité, émotionnalité et influençabilité. In G. Valléry, M.-C. Le Port, & M. Zouinar, *Ergonomie, conception de produits et services médiatisés* (p. 307-328). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.lepo.2010.01.0307>
- Brangier, É., Bornet, C., Bastien, J. M. C., Michel, G., & Vivian, R. (2012). Effets des personas et contraintes fonctionnelles sur l'idéation dans la conception d'une bibliothèque numérique. *Le travail humain*, 75(2), 121-145. <https://doi.org/10.3917/th.752.0121>
- Brangier, É., Brangier, B., Marache-Francisco, C., Kopp, S., & Clause, J. (2019). An Interview Process to Anticipate Future Needs: First Analysis of an Approach to Explore Future User Experiences in the Fields of Business Travel and Tourism. Dans S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Dir.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Vol. 824, p. 718-729). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96071-5_76
- Brangier, É., Hammes-Adelé, S., & Bastien, J.-M. C. (2010). Analyse critique des approches de l'acceptation des technologies: De l'utilisabilité à la symbiose humain-technologie-organisation. *European Review of Applied Psychology*, 60(2), 129-146. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2009.11.002>
- Brangier, É., & Marache-Francisco, C. (2020). Measure of the Lived and Functional Effects of Gamification : An Experimental Study in a Professional Context. Dans F. Rebelo & M. M. Soares (Dir.), *Advances in Ergonomics in Design* (Vol. 955, p. 242-253). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20227-9_22
- Brangier, É., & Robert, J.-M. (2014). L'ergonomie prospective : Fondements et enjeux. *Le travail humain*, 77(1), 1. <https://doi.org/10.3917/th.771.0001>

- Brangier, É., Vivian, R., & Bornet, C. (2019). Méthodes d'ergonomie prospective appliquées à l'identification de besoins pour des systèmes d'énergie à base d'hydrogène : Étude exploratoire. *Psychologie Française*, 64(2), 197-222. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2019.02.002>
- Brem, A., Bilgram, V., & Gutstein, A. (2018). Involving Lead Users in Innovation : A Structured Summary of Research on the Lead User Method. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 15(03), 1850022. <https://doi.org/10.1142/S0219877018500220>
- Brosch, T., Stussi, Y., Desrichard, O., & Sander, D. (2018). Not my future? Core values and the neural representation of future events. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 18(3), 476-484. <https://doi.org/10.3758/s13415-018-0581-9>
- Bruns, A. (2006). Towards Produsage : Futures for User-Led Content Production. Dans C. Ess, F. Sudweeks, & H. Hrachovec (Dir.), *Proceeding of the 5th International Conference on Cultural Attitudes towards Technology and Communication* (p. 275-284). School of Information Technology. <https://eprints.qut.edu.au/4863/>
- Buckner, R. L., & Carroll, D. C. (2007). Self-projection and the brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(2), 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.11.004>
- Buisine, S., Boisadan, A., & Richir, S. (2018). L'innovation radicale par la méthode de l'utilisateur extraordinaire. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 24(4), 374-386. <https://doi.org/10.1016/j.pto.2017.11.001>
- Cahour, B., Salembier, P., & Zouinar, M. (2016). Analyzing lived experience of activity. *Le travail humain*, 79(3), 259-284. <https://doi.org/10.3917/th.793.0259>
- Cany, C., Mansilla, C., da Costa, P., & Mathonnière, G. (2017). Adapting the French nuclear fleet to integrate variable renewable energies via the production of hydrogen : Towards massive production of low carbon hydrogen? *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(19), 13339-13356. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.146>
- Carbone 4. (2020). *Le hub des prescripteurs bas carbone*.
- Cayol, A., & Bonhoure, P. (2004). User pleasure in product concept prospecting. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5(1), 16-26. <https://doi.org/10.1080/1463922031000086690>
- Cegarra, J., & Hoc, J.-M. (2006). Cognitive styles as an explanation of experts' individual differences : A case study in computer-assisted troubleshooting diagnosis. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(2), 123-136. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2005.06.003>
- Colin, C., & Martin, A. (2019). Improving mental time travel abilities to support the collection of needs : A pilot study. In O. Broberg & R. Seim (Dir.), *Proceedings of the 50th Nordic Ergonomics and Human Factors Society Conference (NES 2019)* (p. 86-93).
- Colin, C., Martin, A., Bonneviot, F., & Brangier, É. (2020). Unravelling future thinking : A valuable concept for prospective user research. Article soumis pour publication.
- Cooper, R. (2019). Design research – Its 50-year transformation. *Design Studies*, 65, 6-17. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.10.002>

- Crosnier, E. (1993). L'abstract scientifique anglais - français : Contraintes et libertés. *ASp*, 2, 177-198.
<https://doi.org/10.4000/asp.4287>
- Damodaran, L. (1996). User involvement in the systems design process-a practical guide for users. *Behaviour & Information Technology*, 15(6), 363-377.
<https://doi.org/10.1080/014492996120049>
- Dane, E. (2010). Reconsidering the Trade-off Between Expertise and Flexibility: A Cognitive Entrenchment Perspective. *Academy of Management Review*, 35(4), 579-603.
<https://doi.org/10.5465/amr.35.4.zok579>
- Daniellou, F. (2004). L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. Dans Falzon, P. *Ergonomie* (1^{re} éd., p. 359-373). Presses Universitaires de France.
<https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2004.01.0359>
- D'Argembeau, A. (2016). La pensée future épisodique: Entre simulation et contexte autobiographique. *Revue de neuropsychologie*, 8(1), 55-59.
<https://doi.org/10.3917/rne.081.0055>
- D'Argembeau, A., Ortoleva, C., Jumentier, S., & Van der Linden, M. (2010). Component processes underlying future thinking. *Memory & Cognition*, 38(6), 809-819.
<https://doi.org/10.3758/MC.38.6.809>
- D'Argembeau, A., Raffard, S., & Van der Linden, M. (2008). Remembering the past and imagining the future in schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, 117(1), 247-251.
<https://doi.org/10.1037/0021-843X.117.1.247>
- D'Argembeau, A., Renaud, O., & Van der Linden, M. (2011). Frequency, characteristics and functions of future-oriented thoughts in daily life. *Applied Cognitive Psychology*, 25(1), 96-103.
<https://doi.org/10.1002/acp.1647>
- D'Argembeau, A., & Van der Linden, M. (2004). Phenomenal characteristics associated with projecting oneself back into the past and forward into the future : Influence of valence and temporal distance. *Consciousness and Cognition*, 13(4), 844-858.
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2004.07.007>
- D'Argembeau, A., & Van der Linden, M. (2012). Predicting the phenomenology of episodic future thoughts. *Consciousness and Cognition*, 21(3), 1198-1206.
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.05.004>
- Dean, D. L., Hender, J. M., Rodgers, T. L., & Santanen, E. L. (2006). Identifying Quality, Novel, and Creative Ideas : Constructs and Scales for Idea Evaluation¹. *Journal of the Association for Information Systems*, 7(10), 646-698.
- Debus, D. (2016). Temporal Perspectives Dans Imagination : On the Nature and Value of Imagining the Future. Dans K. Michaelian, S. B. Klein, & K. K. Szpunar (Eds.), *Seeing the Future : Theoretical Perspectives on Future-Oriented Mental Time Travel* (p. 217-240). Oxford University Press.

- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The « What » and « Why » of Goal Pursuits : Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227-268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01
- Delzendeh, E., Wu, S., Lee, A., & Zhou, Y. (2017). The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1061-1071. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.264>
- Détienne, F., Martin, G., & Lavigne, E. (2005). Viewpoints in co-design : A field study in concurrent engineering. *Design Studies*, 26(3), 215-241. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.08.002>
- Dimitrov, D. M., & Rumrill Jr., P. D. (2003). Pretest-posttest designs and measurement of change. *Work: Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, 20(2), 159-165.
- Directive 2018/2001 du Parlement Européen relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, Journal officiel de l'Union européenne* (2018).
- Dörrenbächer, J., & Hassenzahl, M. (2019). Changing Perspective : A Co-Design Approach to Explore Future Possibilities of Divergent Hearing. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '19*, 1-12. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300259>
- Duarte, F., & Lima, F. (2012). Anticiper l'activité par les configurations d'usage : Proposition méthodologique pour conduite de projet. *Activites*, 09(2). <https://doi.org/10.4000/activites.314>
- Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., Wilson, J. R., & van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: Developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(4), 377-395. <https://doi.org/10.1080/00140139.2012.661087>
- Eastman, C. M. (1969). Cognitive processes and ill-defined problems : A case study from design. *Proceedings of the 1st international joint conference on Artificial intelligence*, 669–690.
- Elias, E., Bobillier Chaumon, M-E., & Vacher, M. (2019). Design Methods for the Projection of Uses for Vulnerable People. Dans S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Dirs.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Vol. 824, p. 765-773). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96071-5_80
- Ellis, G., Barry, J., & Robinson, C. (2007). Many ways to say 'no', different ways to say 'yes' : Applying Q-Methodology to understand public acceptance of wind farm proposals. *Journal of Environmental Planning and Management*, 50(4), 517-551. <https://doi.org/10.1080/09640560701402075>
- Fallery, B., & Rodhain, F. (2007). *Quatre approches pour l'analyse de données textuelles : Lexicale, linguistique, cognitive, thématique*. XVIème Conférence Internationale de Management Stratégique, Montréal.
- Falzon, P. (2005). *Ergonomie, conception et développement*. 40ème Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française.
- Faste, R. A. (1987). *Perceiving Needs*. 871534. <https://doi.org/10.4271/871534>

- Faullant, R., Schwarz, E. J., Krajger, I., & Breiteneker, R. J. (2012). Towards a Comprehensive Understanding of Lead Userness: The Search for Individual Creativity: Towards a comprehensive understanding of lead userness. *Creativity and Innovation Management*, 21(1), 76-92. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8691.2012.00626.x>
- Fernani, A. (2019). The future persona: A futures method to let your scenarios come to life. *Foresight*, 21(4), 445-466. <https://doi.org/10.1108/FS-10-2018-0086>
- Feys, J. (2016). Nonparametric Tests for the Interaction in Two-way Factorial Designs Using R. *The R Journal*, 8(1), 367–378.
- Fonseca, J. D., Camargo, M., Commenge, J.-M., Falk, L., & Gil, I. D. (2019). Trends in design of distributed energy systems using hydrogen as energy vector: A systematic literature review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(19), 9486-9504. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.177>
- Fournis, Y., & Fortin, M.-J. (2017). From social 'acceptance' to social 'acceptability' of wind energy projects: Towards a territorial perspective. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(1), 1-21. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1133406>
- Frederiks, A. J., Englis, B. G., Ehrenhard, M. L., & Groen, A. J. (2019). Entrepreneurial cognition and the quality of new venture ideas: An experimental approach to comparing future-oriented cognitive processes. *Journal of Business Venturing*, 34(2), 327-347. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2018.05.007>
- French, M. J. (1985). *Conceptual Design for Engineers*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-11364-6>
- Galinsky, A. D., & Ku, G. (2004). The Effects of Perspective-Taking on Prejudice: The Moderating Role of Self-Evaluation. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 30(5), 594-604. <https://doi.org/10.1177/0146167203262802>
- Garrigou, A., Thibault, J.-F., Jackson, M., & Mascia, F. (2001). Contributions et démarche de l'ergonomie dans les processus de conception. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 3-2. <https://doi.org/10.4000/pistes.3725>
- Gibson, W. (1999). *The science in science fiction* [National Public Radio]. <https://www.npr.org/2018/10/22/1067220/the-science-in-science-fiction?t=1605774253901>
- Gilbert, D. T., & Wilson, T. D. (2007). Prospection: Experiencing the Future. *Science*, 317(5843), 1351-1354. <https://doi.org/10.1126/science.1144161>
- Glaveanu, V., Lubart, T., Bonnardel, N., Botella, M., Biais, P.-M. de, Desainte-Catherine, M., Georgsdottir, A., Guillou, K., Kurtag, G., Mouchiroud, C., Storme, M., Wojtczuk, A., & Zenasni, F. (2013). Creativity as action: Findings from five creative domains. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00176>
- Goodman, E., Kuniavsky, M., & Moed, A. (2012). *Observing the User Experience a Practitioner's Guide to User Research*. Elsevier Science & Technology Books. <http://international.scholarvox.com/book/88809579>

- Greenaway, K. H., Cruwys, T., Haslam, S. A., & Jetten, J. (2016). Social identities promote well-being because they satisfy global psychological needs : Social identity satisfies psychological needs. *European Journal of Social Psychology*, 46(3), 294-307. <https://doi.org/10.1002/ejsp.2169>
- Gude, D. (2004). Prospective ergonomics in occupational health protection-Supporting potential of virtual reality. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin Arbeitsschutz und Ergonomie*, 54(9), 326-335.
- Guegan, J., Nelson, J., & Lubart, T. (2017). The Relationship Between Contextual Cues in Virtual Environments and Creative Processes. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 20(3), 202-206. <https://doi.org/10.1089/cyber.2016.0503>
- Guibourdenche, J. (2013). *Préoccupations et agencements dans les contextes d'activité domestique Contribution à la conception de situations informatiques diffuses, appropriables et énergétiquement efficaces*. Université de Lyon.
- Guibourdenche, J., Vacherand-Revel, J., Fréjus, M., & Haradji, Y. (2015). Analyse de contextes d'activité domestique pour la conception de systèmes diffus énergétiquement efficaces. *Activites*, 12(1). <https://doi.org/10.4000/activites.994>
- Gunzburger, Y., Agnoletti, M.-F., Deshaies, M., Ferey, S., & Raggi, P. (2017). Social perception of unconventional gas extraction on the outskirts of a former coal-mining area in Northeast France. *The Extractive Industries and Society*, 4(1), 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2016.12.006>
- Hall, N., Ashworth, P., & Devine-Wright, P. (2013). Societal acceptance of wind farms : Analysis of four common themes across Australian case studies. *Energy Policy*, 58, 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.009>
- Hallford, D. J., Yeow, J. J. E., Fountas, G., Herrick, C. A., Raes, F., & D'Argembeau, A. (2020). Changing the future : An initial test of Future Specificity Training (FeST). *Behaviour Research and Therapy*, 131, 103638. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2020.103638>
- Hassenzahl, M. (2018). The Thing and I: Understanding the Relationship Between User and Product. Dans M. Blythe & A. Monk (Dir.), *Funology 2* (p. 301-313). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68213-6_19
- Hassenzahl, M. (2008). User experience (UX) : Towards an experiential perspective on product quality. *Proceedings of the 20th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine on - IHM '08*, 11. <https://doi.org/10.1145/1512714.1512717>
- Hassenzahl, M., Diefenbach, S., & Göritz, A. (2010). Needs, affect, and interactive products – Facets of user experience. *Interacting with Computers*, 22(5), 353-362. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2010.04.002>
- Hassenzahl, M., Wiklund-Engblom, A., Bengs, A., Hägglund, S., & Diefenbach, S. (2015). Experience-Oriented and Product-Oriented Evaluation : Psychological Need Fulfillment, Positive Affect, and Product Perception. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 31(8), 530-544. <https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1064664>
- Hatchuel, A., & Weil, B. (2009). C-K design theory: An advanced formulation. *Research in Engineering Design*, 19(4), 181-192. <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0043-4>

- Hayes, A. F., & Krippendorff, K. (2007). Answering the Call for a Standard Reliability Measure for Coding Data. *Communication Methods and Measures*, 1(1), 77-89. <https://doi.org/10.1080/19312450709336664>
- Hennessey, B. A., & Amabile, T. M. (2010). Creativity. *Annual Review of Psychology*, 61(1), 569-598. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100416>
- Herzberg, F., Mausner, B., & Snyderman, B. (1959). *The motivation to work*, 2nd ed (p. xv, 157). John Wiley.
- Hoc, J.-M. (2008). Cognitive ergonomics : A multidisciplinary venture. *Ergonomics*, 51(1), 71-75. <https://doi.org/10.1080/00140130701801124>
- Hollis-Hansen, K., O'Donnell, S. E., Seidman, J. S., Brande, S. J., & Epstein, L. H. (2019). Improvements in episodic future thinking methodology : Establishing a standardized episodic thinking control. *PLOS ONE*, 14(3), e0214397. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214397>
- Huijts, N. M. A., Molin, E. J. E., Chorus, C., & van Wee, B. (2012). Public Acceptance of Hydrogen Technologies in Transport : A Review of and Reflection on Empirical Studies. Dans H. Geerlings, Y. Shiftan, & D. Stead (Dir.), *Transition towards sustainable mobility : The role of instruments, individuals and institutions* (p. 137-164). Ashgate.
- International Organization for Standardization. (2019). *ISO 9241-210:2019—Ergonomie de l'interaction homme-système—Partie 210 : Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs*. Association française de normalisation.
- Irish, M., & Piguet, O. (2013a). The Pivotal Role of Semantic Memory in Remembering the Past and Imagining the Future. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2013.00027>
- Irish, M., & Piguet, O. (2013b). The pivotal role of semantic memory in remembering the past and imagining the future. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7(27). <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2013.00027>
- Jansson, D. G., & Smith, S. M. (1991). Design fixation. *Design Studies*, 12(1), 3-11. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(91\)90003-F](https://doi.org/10.1016/0142-694X(91)90003-F)
- Jaruzelski, B., Staack, V., & Goelhe, B. (2014). Proven Paths to Innovation Success. *Strategy*, 77.
- Johanna, B. I., & Van Der Heijden, M. (2000). The Development and Psychometric Evaluation of a Multidimensional Measurement Instrument of Professional Expertise. *High Ability Studies*, 11(1), 9-39. <https://doi.org/10.1080/713669175>
- Kalkbrenner, B. J. (2019). Residential vs. Community battery storage systems – Consumer preferences in Germany. *Energy Policy*, 129, 1355-1363. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.041>
- Keates, S., & Clarkson, J. (2004). *Countering design exclusion : An introduction to inclusive design*.
- Kim, J., & Wilemon, D. (2002). Focusing the fuzzy front–end in new product development. *R&D Management*, 32(4), 269-279. <https://doi.org/10.1111/1467-9310.00259>

- Kristensson, P., Gustafsson, A., & Archer, T. (2004). Harnessing the Creative Potential among Users. *Journal of Product Innovation Management*, 21(1), 4-14. <https://doi.org/10.1111/j.0737-6782.2004.00050.x>
- Kristensson, P., Magnusson, P. R., & Matthing, J. (2002). Users as a Hidden Resource for Creativity: Findings from an Experimental Study on User Involvement. *Creativity and Innovation Management*, 11(1), 55-61. <https://doi.org/10.1111/1467-8691.00236>
- La Branche, S. (2015). *Réflexions sur l'engagement énergétique : Vers des profils énergétiques ?* 320-323.
- Lahoual, D., & Fréjus, M. (2013). *La maîtrise de l'énergie comme nouveau champ pour l'ergonomie : Un exemple avec l'analyse de l'activité de particuliers producteurs d'énergie solaire*. 48ème congrès international de la Société d'Ergonomie de Langue Française, Paris.
- Lallemand, C., Koenig, V., Gronier, G., & Martin, R. (2015). Création et validation d'une version française du questionnaire AttrakDiff pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des systèmes interactifs. *European Review of Applied Psychology*, 65(5), 239-252. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2015.08.002>
- Lemaire, M. (2002). Pratique de l'analyse thématique assistée par ordinateur. *L'Astrolabe*. <http://www.uottawa.ca/academic/arts/astrolabe/articles/art0023.htm/Pratique.htm>
- Lenté, C., Berthelot, S., & Buisine, S. (2014). Storyboarding to improve collaboration between ergonomics, design and engineering. *Proceedings of the 2014 Ergonomie et Informatique Avancée Conference - Design, Ergonomie et IHM: Quelle Articulation Pour La Co-Conception de l'interaction on - Ergo'IA '14*, 80-87. <https://doi.org/10.1145/2671470.2671481>
- Leonard, D., & Rayport, J. F. (1997). Spark innovation through empathic design. *Harvard Business Review*, 75(6), 102-113.
- Lévy, J.-P., Roudil, N., Flamand, A., & Belaïd, F. (2014). Les déterminants de la consommation énergétique domestique. *Flux*, N° 96(2), 40-54. <https://doi.org/10.3917/flux.096.0040>
- Lilien, G. L., Morrison, P. D., Searls, K., Sonnack, M., & Hippel, E. von. (2002). Performance Assessment of the Lead User Idea-Generation Process for New Product Development. *Management Science*, 48(8), 1042-1059. <https://doi.org/10.1287/mnsc.48.8.1042.171>
- Lines, L., Kuby, M., Schultz, R., Clancy, J., & Xie, Z. (2008). A rental car strategy for commercialization of hydrogen in Florida. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(20), 5312-5325. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.05.102>
- Loi n° 2017-227 du 24 février 2017 (2017) ratifiant les ordonnances n° 2016-1019 du 27 juillet 2016 relative à l'autoconsommation d'électricité et n° 2016-1059 du 3 août 2016 relative à la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables et visant à adapter certaines dispositions relatives aux réseaux d'électricité et de gaz et aux énergies renouvelables.
- Loup-Escande, E., Burkhardt, J.-M., Christmann, O., Chaniaud, N., & Richir, S. (2020). Usefulness and needs construction process in innovative artefacts: An exploratory study of designers' viewpoints. *International Journal of Virtual Reality*, 20(1), 48-71. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2020.20.1.2924>

- Loup-Escande, E., & Burkhardt, J.-M. (2017). Co-concevoir l'utilité des technologies émergentes en situation de travail : Exemple d'Appli-Viz'3D. *Actes du 52^{ème} congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française*, 37-41.
- Loup-Escande, E., Burkhardt, J.-M., Christmann, O., & Richir, S. (2014). Needs' elaboration between users, designers and project leaders : Analysis of a design process of a virtual reality-based software. *Information and Software Technology*, 56(8), 1049-1061. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.04.008>
- Loup-Escande, E., Burkhardt, J.-M., & Richir, S. (2013). Anticiper et évaluer l'utilité dans la conception ergonomique des technologies émergentes : Une revue. *Le travail humain*, 76(1), 27. <https://doi.org/10.3917/th.761.0027>
- Loup-Escande, E., & Loup, G. (2020). Designing acceptable emerging technologies : What contribution from ergonomics? *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2020.1836568>
- MacLeod, A. K. (1996). Affect, Emotional Disorder, and Future-directed Thinking. *Cognition & Emotion*, 10(1), 69-86. <https://doi.org/10.1080/026999396380394>
- MacLeod, A. K., Tata, P., Evans, K., Tyrer, P., Schmidt, U., Davidson, K., Thornton, S., & Catalan, J. (1998). Recovery of positive future thinking within a high-risk parasuicide group : Results from a pilot randomized controlled trial. *British Journal of Clinical Psychology*, 37(4), 371-379. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8260.1998.tb01394.x>
- Mahlke, S. (2008). Visual aesthetics and the user experience. Dans M. Hassenzahl, G. Lindgaard, A. Platz, & N. Tractinsky (Dirs.), *The Study of Visual Aesthetics in Human-Computer Interaction* (Numéro 08292). Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik, Germany.
- Maki, A., Carrico, A. R., Raimi, K. T., Truelove, H. B., Araujo, B., & Yeung, K. L. (2019). Meta-analysis of pro-environmental behaviour spillover. *Nature Sustainability*, 2(4), 307-315. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0263-9>
- Marks, D. F. (1973). Visual imagery differences in the recall of pictures. *British Journal of Psychology*, 64(1), 17-24. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1973.tb01322.x>
- Marshall, R., Cook, S., Mitchell, V., Summerskill, S., Haines, V., Maguire, M., Sims, R., Gyi, D., & Case, K. (2015). Design and evaluation : End users, user datasets and personas. *Applied Ergonomics*, 46, 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.008>
- Martin, A., Agnoletti, M.-F., & Brangier, É. (2019). Hydrogen Energy Technologies' Acceptance Review and Perspective : Toward a Needs' Anticipation Approach: First Results. Dans S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Dirs.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Vol. 825, p. 638-646). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96068-5_69
- Martin, A., Agnoletti, M.-F., & Brangier, É. (2020a). Ordinary users, precursory users and experts in the anticipation of future needs : Evaluation of their contribution in the elaboration of new needs in energy for housing. Article soumis pour publication.

- Martin, A., Agnoletti, M.-F., & Brangier, É. (2020b). Users in the design of Hydrogen Energy Systems : A systematic review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(21), 11889-11900. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.163>
- Martin, A., Agnoletti, M.-F., & Brangier, É. (2021, Sous presse). L'apport de l'analyse lexicale des verbalisations à l'ergonomie prospective : Le cas de l'étude des besoins futurs liés à l'énergie dans l'habitat. In Agnoletti, Marie-France & E. Salès-Wuillemin (Dirs.), *Communication réelle et virtuelle : Nouvelles perspectives en psychologie sociale de la communication* (Éditions Universitaires de Dijon).
- Marty, E., Marchand, P., & Ratinaud, P. (2013). Les médias et l'opinion- Eléments théoriques et méthodologiques pour une analyse du débat sur l'identité nationale. *Bulletin of Sociological Methodology/Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 117(1), 46-60. <https://doi.org/10.1177/0759106312465550>
- Maslow, A. H. (1954). The Instinctoid Nature of Basic Needs¹. *Journal of Personality*, 22(3), 326-347. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1954.tb01136.x>
- Maslow, A. H. (1962). *Toward a psychology of being*. D Van Nostrand. <https://doi.org/10.1037/10793-000>
- Maslow, A. H. (1981). *Motivation and personality*. Prabhat Prakashan.
- Midler, C. (2012). *L'auto qui n'existait pas : Management des projets et transformation de l'entreprise*. Dunod.
- Miller, R. (2007). Futures literacy : A hybrid strategic scenario method. *Futures*, 39(4), 341-362. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2006.12.001>
- Miloyan, B., McFarlane, K. A., & Suddendorf, T. (2019). Measuring mental time travel : Is the hippocampus really critical for episodic memory and episodic foresight? *Cortex*, 117, 371-384. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.01.020>
- Ministère de la transition écologique et solidaire. (2018a). *Chiffres clés de l'énergie—Édition 2018*.
- Ministère de la transition écologique et solidaire. (2018b). *Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*.
- Ministère de la Transition écologique, & Ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance. (2020). *Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France*.
- Mulet, E., Royo, M., Chulvi, V., & Galán, J. (2017). Relationship between the degree of creativity and the quality of design outcomes. *DYNA*, 84(200), 38-45. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n200.53582>
- Muller, M. J., Haslwanter, J. H., & Dayton, T. (1997). Participatory Practices in the Software Lifecycle. In *Handbook of Human-Computer Interaction* (p. 255-297). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044481862-1.50077-7>
- Nelis, S., Holmes, E. A., Griffith, J. W., & Raes, F. (2014). Mental imagery during daily life : Psychometric evaluation of the Spontaneous Use of Imagery Scale (SUIS). *Psychologica Belgica*, 54(1), 19-32. <https://doi.org/10.5334/pb.ag>

- Nelson, J. (2019). *Ergonomie prospective, Technologies émergentes, et Créativité* [Thèse d'habilitation à diriger des recherches]. Université de Lorraine.
- Nelson, J., Buisine, S., & Aoussat, A. (2013). Anticipating the use of future things: Towards a framework for prospective use analysis in innovation design projects. *Applied Ergonomics*, 44(6), 948-956. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.01.002>
- Nelson, J., Buisine, S., Aoussat, A., & Gazo, C. (2014). Generating prospective scenarios of use in innovation projects. *Le travail humain*, 77(1), 21-38. <https://doi.org/10.3917/th.771.0021>
- Nelson, J., Buisine, S., & Aoussat, A. (2012). A methodological proposal to assist scenario-based design in the early stages of innovation projects. *Le travail humain*, Vol. 75(3), 279-305.
- Nelson, J., & Guegan, J. (2019). "I'd like to be under the sea": Contextual cues in virtual environments influence the orientation of idea generation. *Computers in Human Behavior*, 90, 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.08.001>
- Nemeth, C. J., & Nemeth-Brown, B. (2003). Better than individuals? In P. B. Paulus & B. A. Nijstad (Dirs.), *Group Creativity*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195147308.001.0001>
- Newby-Clark, I. R., & Ross, M. (2003). Conceiving the Past and Future. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(7), 807-818. <https://doi.org/10.1177/0146167203029007001>
- Nguyen, C., & Cahour, B. (2014). Véhicule électrique et gestion de son autonomie : Une approche prospective ancrée dans l'expérience vécue. *Le travail humain*, 77(1), 63-89. <https://doi.org/10.3917/th.771.0063>
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering* (Nachdr.). Kaufmann.
- Nielsen, J. (1994). *Interactive Technologies : Usability Engineering*. Elsevier Science & Technology Books Ebrary, Incorporated.
- Nielsen, L. (2007). Personas: Communication or process? *Proceedings of the 7th Danish HCI Research Symposium*, 25-26.
- Nijstad, B. A., Stroebe, W., & Lodewijkx, H. F. M. (2003). Production blocking and idea generation : Does blocking interfere with cognitive processes? *Journal of Experimental Social Psychology*, 39(6), 531-548. [https://doi.org/10.1016/S0022-1031\(03\)00040-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1031(03)00040-4)
- Noël, X., Saeremans, M., Kornreich, C., Jaafari, N., & D'Argembeau, A. (2017). Future-oriented mental time travel in individuals with disordered gambling. *Consciousness and Cognition*, 49, 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.02.006>
- Norman, D. A. (1988). *The psychology of everyday things*. Basic Books.
- Norman, D. A. (2010). *Why Human Systems Integration Fails (And Why the University Is the problem)*. Invited talk for the 30th anniversary of the Human-Systems Integration Board of the National Research Council, Washington.
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Revised and expanded edition). Basic Books.
- Norman, D. A., & Draper, S. W. (Dirs.). (1986). *User centered system design : New perspectives on human-computer interaction*. Erlbaum.

- Ogawa, T., Takeuchi, M., & Kajikawa, Y. (2018). Analysis of Trends and Emerging Technologies in Water Electrolysis Research Based on a Computational Method : A Comparison with Fuel Cell Research. *Sustainability*, 10(2), 478. <https://doi.org/10.3390/su10020478>
- Osborn, A. F. (1957). *Applied imagination : Principles and procedures of creative thinking*. Oxford. <http://www.vlebooks.com/vleweb/product/openreader?id=none&isbn=9781447480723>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.H. (2007). *Engineering design : A systematic approach* (3rd ed). Springer.
- Partala, T., & Kallinen, A. (2012). Understanding the most satisfying and unsatisfying user experiences : Emotions, psychological needs, and context. *Interacting with Computers*, 24(1), 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2011.10.001>
- Pellegrin, L., Chassery, L., Chaudet, H., Texier, G., & Bonnardel, N. (2021). Decision-making during nonroutine outbreak management : Toward an exploration of experts' creative decisions. *Applied Ergonomics*, 90, 103232. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103232>
- Petiot, J.-F., & Yannou, B. (2004). Measuring consumer perceptions for a better comprehension, specification and assessment of product semantics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33(6), 507-525. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2003.12.004>
- Philibert, C. (2020). *Perspectives on a hydrogen strategy for the european union*.
- Pichot, N., Bonetto, E., Pavani, J.B, Arciszewski, T., Bonnardel, N., & Weisberg, R. W. (2020). The Construct Validity of Creativity : Empirical Arguments in Favor of Novelty as the Basis for Creativity. Article soumis pour publication.
- Pichot, N., Bonnardel, N., & Pavani, J. B. (2020). Towards a general factor of Disruptivity : The most novel creative objects tend to be the least valuable and feasible ones. Article soumis pour publication.
- Pruitt, J., & Adlin, T. (2006). *The persona lifecycle : Keeping people in mind throughout product design*. Elsevier : Morgan Kaufmann Publishers, an imprint of Elsevier.
- Pruitt, J., & Grudin, J. (2003). Personas : Practice and theory. *Proceedings of the 2003 Conference on Designing for User Experiences - DUX '03*, 1. <https://doi.org/10.1145/997078.997089>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies : Approche cognitive des instruments contemporains*. Colin.
- Ratinaud, P., & Marchand, P. (2016). *Quelques méthodes pour l'étude des relations entre classifications lexicales de corpus hétérogènes : Application aux débats à l'assemblée nationale et aux sites web de partis politiques*. Journées internationales d'Analyse statistique des Données Textuelles, Nice.
- Reinert, A. (1983). Une méthode de classification descendante hiérarchique : Application à l'analyse lexicale par contexte. *Cahiers de l'analyse des données*, 8(2), 187-198.
- Reuß, M., Grube, T., Robinius, M., Preuster, P., Wasserscheid, P., & Stolten, D. (2017). Seasonal storage and alternative carriers : A flexible hydrogen supply chain model. *Applied Energy*, 200, 290-302. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.050>

- Revell, K. M. A., & Stanton, N. A. (2017). *Mental models : Design of user interaction and interfaces for domestic energy systems*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Ricci, M., Bellaby, P., & Flynn, R. (2008). What do we know about public perceptions and acceptance of hydrogen? A critical review and new case study evidence. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(21), 5868-5880. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.07.106>
- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M. I., Laurance, W. F., & 15,364 scientist signatories from 184 countries. (2017). World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. *BioScience*, 67(12), 1026-1028. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix125>
- Robert, J.-M., & Brangier, É. (2012). Prospective ergonomics : Origin, goal, and prospects. *Work*, 41, 5235-5242. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0012-5235>
- Robert, J.-M., & Brangier, É. (2019). *Overview of methods for prospective ergonomics*. 96-104.
- Robert, J.-M., Maldar, M., Taraghi, M., & Seffah, A. (2019). User Innovation, Lead Users and Crowdsourcing for the Design of New Products and Services : Why, What and How? Dans S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Dir.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Vol. 824, p. 730-743). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96071-5_77
- Robert, J.-M., Martin, A., Taraghi, M., Colin, Clément, Masood, M., Bonneviot, F., & Brangier, É. (2021, Sous presse). Prospective Ergonomics at the Service of Technological Innovation. Dans M-E. Bobillier Chaumon (Dir.), *Digital transformations to the test of activity and employees : Understanding and supporting emerging technological changes* (ISTE Edition). ISTE.
- Robertson, S. (2001). Requirements trawling: Techniques for discovering requirements. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55(4), 405-421. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2001.0481>
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of innovations* (4th ed). Free Press.
- Rojey, A. (2014). *La prospective créative pour bâtir une vision d'avenir qui oriente l'action*. Vitrac.
- Ruault, J.-R., Gardinetti, E., Kolski, C., & Vanderhaegen, F. (2014). Adaptation de l'ergonomie prospective aux systèmes à longue durée de vie. *Le travail humain*, 77(3), 257-280. <https://doi.org/10.3917/th.773.0257>
- Rudolph, J. W., Morrison, J. B., & Carroll, J. S. (2009). The Dynamics of Action-Oriented Problem Solving : Linking Interpretation and Choice. *Academy of Management Review*, 34(4), 733-756. <https://doi.org/10.5465/amr.34.4.zok733>
- Sagot, J.-C., Gouin, V., & Gomes, S. (2003). Ergonomics in product design : Safety factor. *Safety Science*, 41(2-3), 137-154. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(02\)00038-3](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(02)00038-3)
- Scapin, D.L., & Bastien, J.-M. C. (2001). Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception : L'approche mad. Dans C. Kolski (Dir.), *Analyse et conception de l'ihm. Interaction homme-machine pour les si 1* (Vol. 1, p. 85-116). Hermès.

- Scapin, D. L., & Bastien, J.-M. C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. *Behaviour & Information Technology*, 16(4-5), 220-231. <https://doi.org/10.1080/014492997119806>
- Schacter, D. L., Addis, D. R., & Buckner, R. L. (2007). Remembering the past to imagine the future : The prospective brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(9), 657-661. <https://doi.org/10.1038/nrn2213>
- Schacter, D. L., Benoit, R. G., & Szpunar, K. K. (2017). Episodic future thinking : Mechanisms and functions. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 17, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.06.002>
- Schrepp, M., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2014). Applying the User Experience Questionnaire (UEQ) in Different Evaluation Scenarios. In A. Marcus (Dir.), *Design, User Experience, and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience* (Vol. 8517, p. 383-392). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3_37
- Scott, M., & Powells, G. (2020). Towards a new social science research agenda for hydrogen transitions : Social practices, energy justice, and place attachment. *Energy Research & Social Science*, 61, 101346. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101346>
- Sheehan, P. W. (1967). A shortened form of Betts' questionnaire upon mental imagery. *Journal of Clinical Psychology*, 23(3), 386-389. [https://doi.org/10.1002/1097-4679\(196707\)23:3<386::AID-JCLP2270230328>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1097-4679(196707)23:3<386::AID-JCLP2270230328>3.0.CO;2-S)
- Sheldon, K. M., Elliot, A. J., Kim, Y., & Kasser, T. (2001). What is satisfying about satisfying events? Testing 10 candidate psychological needs. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80(2), 325-339. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.80.2.325>
- Sheldon, K. M., & Gunz, A. (2009). Psychological Needs as Basic Motives, Not Just Experiential Requirements. *Journal of Personality*, 77(5), 1467-1492. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.2009.00589.x>
- Shepherd, D. A., & DeTienne, D. R. (2005). Prior Knowledge, Potential Financial Reward, and Opportunity Identification. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 29(1), 91-112. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2005.00071.x>
- Sidler, O. (2011, janvier). *De la conception à la mesure, comment expliquer les écarts ? ?* Congress Evaluate low consumption buildings efficiency, Angers.
- Simon, H. A. (1977). The Structure of Ill-Structured Problems. Dans R. S. Cohen & M. W. Wartofsky, *Models of Discovery* (Vol. 54, p. 304-325). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-9521-1_17
- So, C., & Joo, J. (2017). Does a Persona Improve Creativity? *The Design Journal*, 20(4), 459-475. <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1319672>
- Spérandio, J.-C. (2001). *Critères ergonomiques de l'assistance technologiques aux opérateurs*. JIM'2001 : Interaction Homme – Machine & Assistance, Metz.

- Stanton, N. A., & Stammers, R. B. (2008). Bartlett and the future of ergonomics. *Ergonomics*, 51(1), 1-13. <https://doi.org/10.1080/00140130701801116>
- Steimle, U., & Zink, K. J. (2006). Sustainable development and human factors. Dans W. Karwowski (Dir.), *International encyclopedia of ergonomics and human factors* (2^e éd., p. 2258-2263). Taylor & Francis.
- Stenmark, P., & Lilja, J. (2014). Designing for the satisfaction of high-level needs: Introducing the Ideation Need Mapping (INM) methodology. *The TQM Journal*, 26(6), 639-649. <https://doi.org/10.1108/TQM-08-2012-0058>
- Sterling, B. (2005). *Shaping things*. MIT Press.
- Suddendorf, T., & Corballis, M. C. (2007). The evolution of foresight: What is mental time travel, and is it unique to humans? *Behavioral and Brain Sciences*, 30(3), 299-313. <https://doi.org/10.1017/S0140525X07001975>
- Swan, L. G., & Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1819-1835. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>
- Szpunar, K. K., Watson, J. M., & McDermott, K. B. (2007). Neural substrates of envisioning the future. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(2), 642-647. <https://doi.org/10.1073/pnas.0610082104>
- Szpunar, K. K., & Schacter, D. L. (2013). Get real: Effects of repeated simulation and emotion on the perceived plausibility of future experiences. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 323-327. <https://doi.org/10.1037/a0028877>
- Takey, S. M., & Carvalho, M. M. (2016). Fuzzy front end of systemic innovations: A conceptual framework based on a systematic literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, 111, 97-109. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.06.011>
- Thatcher, A. (2013). Green ergonomics: Definition and scope. *Ergonomics*, 56(3), 389-398. <https://doi.org/10.1080/00140139.2012.718371>
- Torrance, E. P., Ball, O., & Safer, T. (1966). *The Torrance Test of Creative Thinking*. Bensenville, Illinois: Scholastic Testing Service.
- Trope, Y., & Liberman, N. (2003). Temporal construal. *Psychological Review*, 110(3), 403-421. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.110.3.403>
- Trope, Y., & Liberman, N. (2010). Construal-level theory of psychological distance. *Psychological Review*, 117(2), 440-463. <https://doi.org/10.1037/a0018963>
- Tuch, A. N., & Hornbæk, K. (2015). Does Herzberg's Notion of Hygienes and Motivators Apply to User Experience? *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 22(4), 1-24. <https://doi.org/10.1145/2724710>
- Tuch, A. N., Trusell, R., & Hornbæk, K. (2013). Analyzing users' narratives to understand experience with interactive products. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '13*, 2079. <https://doi.org/10.1145/2470654.2481285>

- Tyfield, D. (2018). Innovating innovation—Disruptive innovation in China and the low-carbon transition of capitalism. *Energy Research & Social Science*, 37, 266-274. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.024>
- Ullman, D. G. (1992). A taxonomy for mechanical design. *Research in Engineering Design*, 3(3), 179-189. <https://doi.org/10.1007/BF01580519>
- Ulwick, A. W. (2002). Turn customer input into innovation. *Harvard Business Review*, 80(1), 91-97, 126.
- Van Schaik, P. (1999). Involving users in the specification of functionality using scenarios and model-based evaluation. *Behaviour & Information Technology*, 18(6), 455-466. <https://doi.org/10.1080/014492999118878>
- Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decision Sciences*, 39(2), 273-315. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x>
- Verbecke, F., & Vesly, B. (2013). Safety strategy for the first deployment of a hydrogen-based green public building in France. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(19), 8053-8060. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.03.019>
- Verworn, B., Herstatt, C., & Nagahira, A. (2007). The fuzzy front end of Japanese new product development projects : Impact on success and differences between incremental and radical projects: The fuzzy front end of Japanese new product development projects. *R&D Management*, 38(1), 1-19. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2007.00492.x>
- Viard, A., Chételat, G., Lebreton, K., Desgranges, B., Landeau, B., de La Sayette, V., Eustache, F., & Piolino, P. (2011). Mental time travel into the past and the future in healthy aged adults : An fMRI study. *Brain and Cognition*, 75(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2010.10.009>
- Visser, W., & Falzon, P. (1988). Recueil et analyse de l'expertise dans une activité de conception : Questions de méthode. *Psychologie Française*, 33(No. Spécial « Psychologie de l'Expertise »), 133-138.
- Vivian, R., Brangier, É., & Bornet, C. (2018). How Design the Future Hydrogen Users' Needs? A Contribution of Prospective Ergonomics. Dans F. Rebelo & M. Soares (Dirs.), *Advances in Ergonomics in Design* (Vol. 588, p. 400-410). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60582-1_40
- Vivier, J. (2008). La traduction des émotions. Approche psycholinguistique. Dans D. Mellier, P. Le Maléfan, & Vivier, J (Dirs.), *Le langage émotionnel, le comprendre et le parler* (p. 99-118). Publications de l'Université de Rouen et du Havre.
- von Hippel, E. (1986). Lead Users : A Source of Novel Product Concepts. *Management Science*, 32(7), 791-805. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.7.791>
- Von Hippel, E. (2006). *Democratizing innovation* (1. MIT Press paperback ed). MIT Press.
- von Hippel, E., Franke, N., & Prügl, R. (2009). "Pyramiding: Efficient search for rare subjects". *Research Policy*, 38(9), 1397-1406. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.07.005>

- Waller, S., Bradley, M., Hosking, I., & Clarkson, P. J. (2015). Making the case for inclusive design. *Applied Ergonomics*, 46, 297-303. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.012>
- Wang, L., Shen, W., Xie, H., Neelamkavil, J., & Pardasani, A. (2002). Collaborative conceptual design—State of the art and future trends. *Computer-Aided Design*, 34(13), 981-996. [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(01\)00157-9](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(01)00157-9)
- Williams, J. M. G., Ellis, N. C., Tyers, C., Healy, H., Rose, G., & Macleod, A. K. (1996). The specificity of autobiographical memory and imageability of the future. *Memory & Cognition*, 24(1), 116-125. <https://doi.org/10.3758/BF03197278>
- Wolff, M., Burkhardt, J.-M., & de la Garza, C. (2005). Analyse exploratoire de “ points de vue ” : Une contribution pour outiller les processus de conception. *Le travail humain*, 68(3), 253-286. <https://doi.org/10.3917/th.683.0253>
- World Energy Council. (2020). *Five steps to energy storage*.
- Yetano Roche, M., Mourato, S., Fishedick, M., Pietzner, K., & Viebahn, P. (2010). Public attitudes towards and demand for hydrogen and fuel cell vehicles : A review of the evidence and methodological implications. *Energy Policy*, 38(10), 5301-5310. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.03.029>
- Youmans, R. J., & Arciszewski, T. (2014). Design fixation : Classifications and modern methods of prevention. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 28(2), 129-137. <https://doi.org/10.1017/S0890060414000043>
- Zélem, M., Gournet, R., & Beslay, C. (2013). Pas de smart cities sans smart habitants. *Les cahiers du développement urbain durable*, 15, 45-60.
- Zhang, H., Han, X., Li, R., Qin, S., Ding, G., & Yan, K. (2016). A new conceptual design method to support rapid and effective mapping from product design specification to concept design. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87(5-8), 2375-2389. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8576-6>

Annexes

Annexe 1 : Publications incluses dans l'étude 1

- [1] Abderezzak, B., K. Busawon, and R. Binns. 2017. 'Flows Consumption Assessment Study for Fuel Cell Vehicles: Towards a Popularization of FCVs Technology'. *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (April): 12905–11.
- [2] Achterberg, P. 2014. 'The Changing Face of Public Support for Hydrogen Technology Explaining Declining Support among the Dutch (2008–2013)'. *International Journal of Hydrogen Energy* 39 (November): 18711–17.
- [3] Achterberg, P., D. Houtman, S. van Bohemen, and K. Manevska. 2010. 'Unknowing but Supportive? Predispositions, Knowledge, and Support for Hydrogen Technology in the Netherlands'. *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (January): 6075–83.
- [4] Adamson, K-A. 2005. 'Calculating the Price Trajectory of Adoption of Fuel Cell Vehicles'. *International Journal of Hydrogen Energy* 30 (January): 341–50.
- [5] Agnolucci, P. 2007. 'Prospects of Fuel Cell Auxiliary Power Units in the Civil Markets'. *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (January): 4306–18.
- [6] Agnolucci, P, and W McDowall. 2007. 'Technological Change in Niches: Auxiliary Power Units and the Hydrogen Economy'. *Technological Forecasting & Social Change* 74 (October): 1394–1410.
- [7] Al-Amin, A. Q., A. F. Ambrose, M. M. Masud, and M. Nurul Azam. 2016. 'People Purchase Intention towards Hydrogen Fuel Cell Vehicles: An Experiential Enquiry in Malaysia'. *International Journal of Hydrogen Energy* 41 (January): 2117–27.
- [8] Alanne, K., and S. Cao. 2017. 'Zero-Energy Hydrogen Economy (ZEH2E) for Buildings and Communities Including Personal Mobility'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 71 (May): 697–711.
- [9] Ante G., and L. Marz. 2012. 'Alternative Energy Technologies as a Cultural Endeavor: A Case Study of Hydrogen and Fuel Cell Development in Germany'.
- [10] Appleyard, M. 1992. 'Electric Vehicle Drive Systems'. *Journal of Power Sources* 37 (January): 189–200.
- [11] Aprea, J. L. 2012. 'Two Years Experience in Hydrogen Production and Use in Hope Bay, Antarctica'. *International Journal of Hydrogen Energy* 37 (October): 14773–80.
- [12] Bakker, S. 2011. 'Competing Expectations : The Case of the Hydrogen Car'.
- [13] Bakker, S., and B. Budde. 2012. 'Technological Hype and Disappointment: Lessons from the Hydrogen and Fuel Cell Case.' *Technology Analysis & Strategic Management* 24 (6): 549–63.
- [14] Bakker, S., H. van Lente, and M. T. Meeus. 2012. 'Credible Expectations — The US Department of Energy's Hydrogen Program as Enactor and Selector of Hydrogen Technologies'. *Technological Forecasting & Social Change* 79 (6): 1059–71.

- [15] Bakker, S., H. van Lente, and M.T. Meeus. 2012. 'Dominance in the Prototyping Phase—The Case of Hydrogen Passenger Cars'. *Research Policy* 41 (June): 871–83.
- [16] Baptista, P., M. Tomás, and C. Silva. 2010. 'Plug-in Hybrid Fuel Cell Vehicles Market Penetration Scenarios'. *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (January): 10024–30.
- [17] Baykara, S.Z. 2005. 'Hydrogen as Fuel: A Critical Technology?' *International Journal of Hydrogen Energy* 30 (January): 545–53.
- [18] Borroni-Bird, C. E. 1996. 'Fuel Cell Commercialization Issues for Light-Duty Vehicle Applications'. *Journal of Power Sources* 61 (January): 33–48.
- [19] Bouallou, C., J. De Castro, and F. Werkoff. 2010. 'How to Improve the Public Perception of Hydrogen?'
- [20] Bowden, J. R., and G.W. May. 1986. 'Planning a Commercial Fuel Cell Installation'.
- [21] Shiftan, Y. 2016. 'Public acceptance of hydrogen technologies in transport: A review of and reflection on empirical studies'. *Transition towards Sustainable Mobility*, 161-188. Routledge.
- [22] Brey, J. J., R. Brey, and Ana F. Carazo. 2017. 'Eliciting Preferences on the Design of Hydrogen Refueling Infrastructure'. *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (May): 13382–88.
- [23] Budde, B. 2015. 'Hopes, Hypes and Disappointments: On the Role of Expectations for Sustainability Transitions: A Case Study on Hydrogen and Fuel Cell Technology for Transport'.
- [24] Celiktas, M. S., and G. Kocar. 2010. 'Hydrogen Is Not an Utopia for Turkey'. *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (1): 9–18.
- [25] Chang, P-L., C-W. Hsu, and P-C. Chang. 2011. 'Fuzzy Delphi Method for Evaluating Hydrogen Production Technologies'. *International Journal of Hydrogen Energy* 36 (January): 14172–79.
- [26] Chen, T-Y., D-R. Huang, and A. Y-J. Huang. 2016. 'An Empirical Study on the Public Perception and Acceptance of Hydrogen Energy in Taiwan'. *International journal of green energy* 13 (15): 1579–84.
- [27] Cherryman, S. J., S. King, F. R. Hawkes, R. Dinsdale, and D. L. Hawkes. 2008. 'An Exploratory Study of Public Opinions on the Use of Hydrogen Energy in Wales.' *Public Understanding of Science* 17 (3): 397.
- [28] Conte, M., and M. Ronchetti. 2013. 'ENERGY | Hydrogen Economy'. *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, 232–54.
- [29] Creti, A., A. Kotelnikova, G. Meunier, and J.P. 'Ponssard. 2015. A Cost Benefit Analysis of Fuel Cell Electric Vehicles'. *Doctoral dissertation*
- [30] Damart, S., A. Kpoumie, A. Tsoukias, and R. Benjamin. 2010. 'Using a MCDA Methodology for Evaluating Social Acceptance of Hydrogen Technology in France: From Collective Perceptions to Criteria'.
- [31] Dayhim, M., M. A. Jafari, and M. Mazurek. 2014. 'Planning Sustainable Hydrogen Supply Chain Infrastructure with Uncertain Demand'. *International Journal of Hydrogen Energy* 39 (April): 6789–6801.

- [32] Devine-Wright, P. 2007. *Social Representations and Risk Perceptions of Hydrogen in a UK Community-Owned Wind Hydrogen Project*. United Kingdom, Europe: Palgrave/Macmillan: Basingstoke.
- [33] Di Ruggero, O. 2014. 'Anticipating Public Acceptance: The Hydrogen Case'.
- [34] Dixon, R. K., X. Wang, M. Q. Wang, J. Wang, and Z. Zhang. 2011. 'Development and Demonstration of Fuel Cell Vehicles and Supporting Infrastructure in China'. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, no. 7: 775.
- [35] Dodds, P. E., and S. Demoullin. 2013. 'Conversion of the UK Gas System to Transport Hydrogen'. *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (June): 7189–7200.
- [36] Drolet, B., J. Gretz, D. Kluykens, F. Sandmann, and R. Wurster. 1996. 'The Euro-Québec Hydro-Hydrogen Pilot Project [EQHHPP]: Demonstration Phase'. *International Journal of Hydrogen Energy* 21 (January): 305–16.
- [37] Dutta, S. 2014. 'A Review on Production, Storage of Hydrogen and Its Utilization as an Energy Resource'. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20 (July): 1148–56.
- [38] Dyer, C.K. 2002. 'Fuel Cells for Portable Applications'. *Journal of Power Sources* 106 (January): 31–34.
- [39] Eames, M., W. McDowall, M. Hodson, and S. Marvin. 2006. 'Negotiating contested visions and place-specific expectations of the hydrogen economy'. *Technology Analysis & Strategic Management*, 18(3-4), 361-374.
- [40] Eames, M., and W. McDowall. 2010. 'Sustainability, Foresight and Contested Futures: Exploring Visions and Pathways in the Transition to a Hydrogen Economy.' *Technology Analysis & Strategic Management* 22 (6): 671–92.
- [41] Eichman, J., J. Brouwer, and S. Samuelsen. 2010. 'Exploration and prioritization of fuel cell commercialization barriers for use in the development of a fuel cell roadmap for California'. *Journal of Fuel Cell Science and Technology*, 7(5), 051017.
- [42] Eick, S. 2011. 'First Annual Fuel Cell End Users Forum'.
- [43] Ekins, P., and Nick H. 2010. 'The Prospects for a Hydrogen Economy (2): Hydrogen Transitions.' *Technology Analysis & Strategic Management* 22 (1): 1–17.
- [44] Elam, C. C., C. E.Gregoire Padró, G. Sandrock, A. Luzzi, P. Lindblad, and E. Fjermestad Hagen. 2003. 'Realizing the Hydrogen Future: The International Energy Agency's Efforts to Advance Hydrogen Energy Technologies'. *International Journal of Hydrogen Energy* 28 (January): 601–7.
- [45] El-Osta, W., and J. Zeghlam. 2000. 'Hydrogen as a Fuel for the Transportation Sector. Possibilities and Views for Future Applications in Libya'. *Applied Energy* 65 (January): 165–71.
- [46] Fayaz, H., R. Saidur, N. Razali, F.S. Anuar, A.R. Saleman, and M.R. Islam. 2012. 'An Overview of Hydrogen as a Vehicle Fuel'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (October): 5511–28.

- [47] Flynn, R., P. Bellaby, and M. Ricci. 2011. 'The Limits of Upstream Engagement in an Emergent Technology: Lay Perceptions of Hydrogen Energy Technologies'.
- [48] Flynn, R., M. Ricci, and P. Bellaby. 2011. 'The Mirage of Citizen Engagement in Uncertain Science: Public Attitudes towards Hydrogen Energy'.
- [49] Flynn, R., M. Ricci, and P. Bellaby. 2013. 'Deliberation over New Hydrogen Energy Technologies: Evidence from Two Citizens' Panels in the UK.' *Journal of Risk Research* 16 (3/4): 379.
- [50] Frenette, G., and D. Forthoffer. 2009. 'Economic & Commercial Viability of Hydrogen Fuel Cell Vehicles from an Automotive Manufacturer Perspective'. *International Journal of Hydrogen Energy* 34 (9): 3578–88.
- [51] Gerboni, R., and E. Salvador. 2009. 'Hydrogen Transportation Systems: Elements of Risk Analysis'. *Energy* 34 (January): 2223–29.
- [52] Gillis, E.A. 1992. 'American Fuel Cell Market Development'. *Journal of Power Sources* 37 (January): 45–51.
- [53] Greene, D. L., Z. Lin, and J. Dong. 2013. 'Analyzing the Sensitivity of Hydrogen Vehicle Sales to Consumers' Preferences'. *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (December): 15857–67.
- [54] Haraldsson, K., A. Folkesson, M. Saxe, and P. Alvfors. 2006. 'A First Report on the Attitude towards Hydrogen Fuel Cell Buses in Stockholm'. *International Journal of Hydrogen Energy* 31 (January): 317–25.
- [55] Hardman, S., A. Chandan, E. Shiu, and R. Steinberger-Wilckens. 2016. 'Consumer Attitudes to Fuel Cell Vehicles Post Trial in the United Kingdom'. *International Journal of Hydrogen Energy* 41 (April): 6171–79.
- [56] Hardman, S., A. Chandan, and R. Steinberger-Wilckens. 2015. 'Fuel Cell Added Value for Early Market Applications'. *Journal of Power Sources* 287 (August): 297–306.
- [57] Hardman, S., E. Shiu, R. Steinberger-Wilckens, and T. Turrentine. 2017. 'Barriers to the Adoption of Fuel Cell Vehicles: A Qualitative Investigation into Early Adopters Attitudes'. *Transportation Research Part A* 95 (January): 166–82.
- [58] Hardman, S., R. Steinberger-Wilckens, and D. Van der Horst. 2013. 'Disruptive Innovations: The Case for Hydrogen Fuel Cells and Battery Electric Vehicles'. *International Journal of Hydrogen Energy*, no. 35: 15438.
- [59] Heinz, B., and G. Erdmann. 2008. 'Dynamic Effects on the Acceptance of Hydrogen Technologies—an International Comparison'. *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (June): 3004–8.
- [60] Heo, J-Y., and S-H. Yoo. 2013. 'The Public's Value of Hydrogen Fuel Cell Buses: A Contingent Valuation Study'. *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (April): 4232–40.
- [61] Hickson, A., A. Phillips, and G. Morales. 2007. 'Public Perception Related to a Hydrogen Hybrid Internal Combustion Engine Transit Bus Demonstration and Hydrogen Fuel'. *Energy Policy* 35 (January): 2249–55.

- [62] Huijts, N., J.I.M. De Groot, E. Molin, and B. van Wee. 2013. 'Intention to Act towards a Local Hydrogen Refueling Facility: Moral Considerations versus Self-Interest'. *Transportation Research Part A* 48 (February): 63–74.
- [63] Huijts, N., E. Molin, and L. Steg. 2010. 'Understanding the Public Acceptance of Hydrogen Technologies in Transport: A Conceptual Framework'. *Schriften des Forschungszentrums Jülich/Energy & Environment*.
- [64] Huijts, N., E. Molin, and B. van Wee. 2014. 'Hydrogen Fuel Station Acceptance: A Structural Equation Model Based on the Technology Acceptance Framework'. *Journal of Environmental Psychology* 38 (June): 153–66.
- [65] Huijts, N., and B. van Wee. 2015. 'The Evaluation of Hydrogen Fuel Stations by Citizens: The Interrelated Effects of Socio-Demographic, Spatial and Psychological Variables'. *International Journal of Hydrogen Energy* 40 (September): 10367–81.
- [66] Hultman, M. 2009. 'Back to the Future: The Dream of a Perpetuum Mobile in the Atomic Society and the Hydrogen Economy'. *Futures* 41 (January): 226–33.
- [67] Iribarren, D., M. Martin-Gamboa, J. Manzano, and J. Dufour. 2016. 'Assessing the Social Acceptance of Hydrogen for Transportation in Spain: An Unintentional Focus on Target Population for a Potential Hydrogen Economy'. *International Journal of Hydrogen Energy*, no. 10: 5203.
- [68] Itaoka, K., A. Saito, and K. Sasaki. 2017. 'Public Perception on Hydrogen Infrastructure in Japan: Influence of Rollout of Commercial Fuel Cell Vehicles'. *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (March): 7290–96.
- [69] Kai, T., Y. Uemura, H. Takanashi, T. Tsutsui, T. Takahashi, Y. Matsumoto, K. Fujie, and M. Suzuki. 2007. 'A Demonstration Project of the Hydrogen Station Located on Yakushima Island—Operation and Analysis of the Station'. *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (January): 3519–25.
- [70] Kang, M. J., and H. Park. 2011. 'Impact of Experience on Government Policy toward Acceptance of Hydrogen Fuel Cell Vehicles in Korea'. *Energy Policy* 39 (January): 3465–75.
- [71] Keles, D., M. Wetschel, D. Möst, and O. Rentz. 2008. 'Market Penetration of Fuel Cell Vehicles – Analysis Based on Agent Behaviour'. *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (January): 4444–55.
- [72] Keskin Arabul, F., A. Yigit Arabul, C. Fadil Kumru, and A. R. Boynuegri. 2017. 'Providing Energy Management of a Fuel Cell–Battery–Wind Turbine–Solar Panel Hybrid off Grid Smart Home System'. *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (October): 26906–13.
- [73] Kervitsky, G. 2008. 'Hydrogen Technical Analysis -- Dissemination of Information'.
- [74] Köhler, J., M. Wietschel, L. Whitmarsh, D. Keles, and W. Schade. 2010. 'Infrastructure Investment for a Transition to Hydrogen Automobiles'. *Technological Forecasting & Social Change* 77 (January): 1237–48.

- [75] Kontogianni, A., C. Tourkolias, and E. I. Papageorgiou. 2013. 'Revealing Market Adaptation to a Low Carbon Transport Economy: Tales of Hydrogen Futures as Perceived by Fuzzy Cognitive Mapping'. *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (January): 709–22.
- [76] Lemke, R. 2016. 'Market Introduction of Hydrogen Fuel ; Markteinführung von Wasserstoff Als Kraftstoff'.
- [77] Lim, S-Y., H-J. Kim, and S-H. Yoo. 2018. 'Household Willingness to Pay for Expanding Fuel Cell Power Generation in Korea: A View from CO2 Emissions Reduction'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81 (Part 1): 242–49.
- [78] Lin, Z., J. D., and D. L. Greene. 2013. 'Hydrogen Vehicles: Impacts of DOE Technical Targets on Market Acceptance and Societal Benefits'. *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (June): 7973–85.
- [79] Lines, L., M. Kuby, R. Schultz, J. Clancy, and Z. Xie. 2008. 'A Rental Car Strategy for Commercialization of Hydrogen in Florida'. *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (January): 5312–25.
- [80] Lipman, T., and C. Brooks. 2006. 'Hydrogen Energy Stations: Poly-Production of Electricity, Hydrogen, and Thermal Energy'.
- [81] Lipman, T., J.L. Edwards, and C. Brooks. 2006. 'Renewable hydrogen: Technology review and policy recommendations for state-level sustainable energy futures'.
- [82] Loisel, R., L. Baranger, N. Chemouri, S. Spinu, and S. Pardo. 2015. 'Economic Evaluation of Hybrid Off-Shore Wind Power and Hydrogen Storage System'. *International Journal of Hydrogen Energy* 40 (June): 6727–39.
- [83] Luis Aprea, José. 2008. 'New Standard on Safety for Hydrogen Systems in Spanish. Keys for Understanding and Use'. *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (January): 3526–30.
- [84] Maack, M. H., and J. B. Skulason. 2006. 'Implementing the Hydrogen Economy'. *Journal of Cleaner Production* 14 (January): 52–64.
- [85] Mahalik, M., and C. Stephan. 2011. 'Analysis of combined hydrogen, heat, and power as a bridge to a hydrogen transition'.
- [86] Martin, E., S. A. Shaheen, E. Lipman, and J. R. Lidicker. 2009. 'Behavioral Response to Hydrogen Fuel Cell Vehicles and Refueling: Results of California Drive Clinics'. *International Journal of Hydrogen Energy* 34 (January): 8670–80.
- [87] Matthias A., P. Schmidt, R. Wurster, S. Mourato, L. Garrity, C. Graesel, A. Beerenwinkel, and S. Whitehouse. 2015. 'Public Acceptance and Economic Preferences Related to Hydrogen Transport Technologies in Five Countries'.
- [88] McCarney J., and M. Johnson. 2008. 'The Hydrogen Economy.' *Chemistry & Industry*, 30.
- [89] McDowall, W., and M. Eames. 2006. 'Forecasts, Scenarios, Visions, Backcasts and Roadmaps to the Hydrogen Economy: A Review of the Hydrogen Futures Literature'. *Energy Policy* 34 (January): 1236–50.

- [90] Millett, S., and K. Mahadevan. 2005. 'Commercialization Scenarios of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Applications for Stationary Power Generation in the United States by the Year 2015'. *Journal of Power Sources* 150 (January): 187–91.
- [91] Mohan, V. 2011. 'Design of a Hydrogen Community for Santa Monica'.
- [92] Montijn-Dorgelo, F. N. H., and C. J. H. Midden. 2008. 'The Role of Negative Associations and Trust in Risk Perception of New Hydrogen Systems'. *Journal of risk research* 11 (5): 659–71.
- [93] Mourato, S., B. Saynor, and D. Hart. 2004. 'Greening London's Black Cabs: A Study of Driver's Preferences for Fuel Cell Taxis'. *Energy Policy* 32 (January): 685–95.
- [94] Murray, M. L., E. H. Seymour, J. Rogut, and S. W. Zechowska. 2008. 'Stakeholder Perceptions towards the Transition to a Hydrogen Economy in Poland'. *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (January): 20–27.
- [95] O'Garra, R., P. Pearson, and S. Mourato. 2008. *Public Acceptability of Hydrogen Fuel Cell Transport and Associated Refuelling Infrastructure*. United Kingdom, Europe: Palgrave.
- [96] O'Garra, T., and S. Mourato. 2007. 'Public Preferences for Hydrogen Buses: Comparing Interval Data, OLS and Quantile Regression Approaches'. *Environmental and Resource Economics*, no. 4: 389.
- [97] O'Garra, T., S. Mourato, L. Garrity, P. Schmidt, A. Beerenwinkel, M. Altmann, D. Hart, C. Graesel, and S. Whitehouse. 2007. 'Is the Public Willing to Pay for Hydrogen Buses? A Comparative Study of Preferences in Four Cities'. *Energy Policy* 35 (January): 3630–42.
- [98] O'Garra, T., S. Mourato, and P. Pearson. 2005. 'Analysing Awareness and Acceptability of Hydrogen Vehicles: A London Case Study'. *International Journal of Hydrogen Energy* 30 (January): 649–59.
- [99] O'Garra, T., S. Mourato, and P. Pearson. 2008. 'Investigating attitudes to hydrogen refuelling facilities and the social cost to local residents'. *Energy policy*, 36(6), 2074-2085.
- [100] Ono, K., and K. Tsunemi. 2017. 'Identification of Public Acceptance Factors with Risk Perception Scales on Hydrogen Fueling Stations in Japan'. *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (April): 10697–707.
- [101] Park, S. Y., J. W Kim, and D. H Lee. 2011. 'Development of a Market Penetration Forecasting Model for Hydrogen Fuel Cell Vehicles Considering Infrastructure and Cost Reduction Effects'.
- [102] Pudukudy, M., Z. Yaakob, M. Mohammad, B. Narayanan, and K. Sopian. 2014. 'Renewable Hydrogen Economy in Asia – Opportunities and Challenges: An Overview'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30 (February): 743–57.
- [103] Quakernaat, J. 1995. 'Hydrogen in a Global Long-Term Perspective'. *International Journal of Hydrogen Energy* 20 (January): 485–92.
- [104] Ricci, M., P. Bellaby, and R. Flynn. 2010. 'Hydrogen Risks: A Critical Analysis of Expert Knowledge and Expectations'.
- [105] Ricci, M., P. Bellaby, R. Flynn, S. Dresner, and J. Tomei. 2010. 'Public Attitudes to Hydrogen'.

- [106] Ricci, M., P. Bellaby, and R. Flynn. 2008. 'What Do We Know about Public Perceptions and Acceptance of Hydrogen? A Critical Review and New Case Study Evidence'. *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (January): 5868–80.
- [107] Ricci, M., and R. Flynn. 2009. 'The "value-Action Gap" in Public Attitudes towards Sustainable Energy: The Case of Hydrogen Energy'. *SOCIOLOGICAL REVIEW* 57 (October): 159–80.
- [108] Ricci, M., R. Flynn, P. Bellaby, and M. Ricci. 2008. 'Environmental Citizenship and Public Attitudes to Hydrogen Energy Technologies'. *ENVIRONMENTAL POLITICS* 17 (5): 766–83.
- [109] Ricci, M., G. Newsholme, P. Bellaby, and R. Flynn. 2007. 'The Transition to Hydrogen-Based Energy: Combining Technology and Risk Assessments and Lay Perspectives.' *International Journal of Energy Sector Management* 1 (1): 34.
- [110] Flynn, R., P. Bellaby, and M. Ricci. 2013. 'Risk Perception of an Emergent Technology: The Case of Hydrogen Energy, Paper Presented to the ESRC Social Contexts and Responses to Risk (SCARR) Network Conference, 'Learning about Risk'.
- [111] Rogner, H.-H. 1998. 'Hydrogen Technologies and the Technology Learning Curve'. *International Journal of Hydrogen Energy* 23 (January): 833–40.
- [112] Satyapal, S., J. Petrovic, C. Read, G. Thomas, and G. Ordaz. 2007. 'The U.S. Department of Energy's National Hydrogen Storage Project: Progress towards Meeting Hydrogen-Powered Vehicle Requirements'. *Catalysis Today* 120 (January): 246–56.
- [113] Saxe, M., A. Folkesson, and P. Alvfors. 2007. 'A Follow-up and Conclusive Report on the Attitude towards Hydrogen Fuel Cell Buses in the CUTE Project—From Passengers in Stockholm to Bus Operators in Europe'. *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (January): 4295–4305.
- [114] Shaheen, S. A., E. Martin, and T.E. Lipman. 2008. 'Dynamics in behavioral response to fuel-cell vehicle fleet and hydrogen fueling infrastructure: An exploratory study'. *Transportation research record*, 2058(1), 155-162.
- [115] Schjøberg, I., and A. B. Østdahl. 2008. 'Security and Tolerable Risk for Hydrogen Service Stations'. *Technology in Society* 30 (January): 64–70.
- [116] Schmidt, A., and W. Donsbach. 2016. 'Acceptance Factors of Hydrogen and Their Use by Relevant Stakeholders and the Media'. *International Journal of Hydrogen Energy* 41 (March): 4509–20.
- [117] Schulte, I., D. Hart, and R. van der Vorst. 2004. 'Issues Affecting the Acceptance of Hydrogen Fuel'. *International Journal of Hydrogen Energy* 29 (January): 677–85.
- [118] Scott, D.S., and W. Häfele. 1990. 'The Coming Hydrogen Age: Preventing World Climatic Disruption'. *International Journal of Hydrogen Energy* 15 (January): 727–37.
- [119] Seip, K. L., B. Thorstensen, and H. Wang. 1991. 'Environmental Impacts of Energy Facilities: Fuel Cell Technology Compared with Coal and Conventional Gas Technology'. *Journal of Power Sources* 35 (January): 37–58.

- [120] Serfass, J. A., M. K. Bergman, and W. Rodenhiser. 1994. 'Politics, Economics and the Environment: Commercial, Environmental and Legislative Factors That Influence the Implementation of Fuel Cells'. *Journal of Power Sources* 49 (January): 193–208.
- [121] Shaw, S., and P. Mazzucchelli. 2010. 'Evaluating the Perspectives for Hydrogen Energy Uptake in Communities: Success Criteria and Their Application'. *Energy Policy* 38 (January): 5359–71.
- [122] Sherif, S.A., Frano Barbir, and T.N. Veziroglu. 2005. 'Towards a Hydrogen Economy'. *The Electricity Journal* 18 (January): 62–76.
- [123] Sherry-Brennan, F., H. Devine-Wright, and P. Devine-Wright. 2010. 'Public Understanding of Hydrogen Energy: A Theoretical Approach'. *Energy Policy* 38 (January): 5311–19.
- [124] Silva Veras, T., T. Simonato Mozer, D. da Costa Rubim Messeder dos Santos, and A. da Silva. 2017. 'Hydrogen: Trends, Production and Characterization of the Main Process Worldwide'. *International Journal of Hydrogen Energy*, no. 4.
- [125] Silverstein, H.B. 1982. 'Canada and Hydrogen Systems: An Energy Policy for a Nation'. *International Journal of Hydrogen Energy* 7 (January): 615–21.
- [126] Simona B., and P. Polinori. 2015. 'Willingness to Pay and Public Acceptance for Hydrogen Buses: A Case Study of Perugia'. *Sustainability, Vol 7, Iss 10, Pp 13270-13289 (2015)*, no. 10: 13270.
- [127] Slotin, L.A. 1983. 'The Hydrogen Economy: Future Policy Implications'. *International Journal of Hydrogen Energy* 8 (January): 291–94.
- [128] Solomon, B. D., and A. Banerjee. 2006. 'A Global Survey of Hydrogen Energy Research, Development and Policy'. *Energy Policy* 34 (January): 781–92.
- [129] Southall, G. D., and A. Khare. 2016. 'The Feasibility of Distributed Hydrogen Production from Renewable Energy Sources and the Financial Contribution from UK Motorists on Environmental Grounds'. *Sustainable Cities and Society* 26 (October): 134–49.
- [130] Steinberger-Wilckens, R.. 2003. 'Not Cost Minimisation but Added Value Maximisation'. *International Journal of Hydrogen Energy* 28 (January): 763–70.
- [131] Stephens-Romero, S. D., T. M. Brown, M. Carreras-Sospedra, J. E. Kang, J. Brouwer, D. Dabdub, W. W. Recker, and G. Scott Samuelsen. 2011. 'Projecting Full Build-out Environmental Impacts and Roll-out Strategies Associated with Viable Hydrogen Fueling Infrastructure Strategies'. *International Journal of Hydrogen Energy* 36 (January): 14309–23.
- [132] Stevenson, E. V. 2012. 'Sustainable Hydrogen Delphi survey round 2-participant report'.
- [133] Tarigan, A. K.M., and S. B. Bayer. 2012. 'Temporal Change Analysis of Public Attitude, Knowledge and Acceptance of Hydrogen Vehicles in Greater Stavanger, 2006–2009'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (October): 5535–44.
- [134] Tarigan, A. K.M., S. B. Bayer, O. Langhelle, and G. Thesen. 2012. 'Estimating Determinants of Public Acceptance of Hydrogen Vehicles and Refuelling Stations in Greater Stavanger'. *International Journal of Hydrogen Energy* 37 (April): 6063–73.

- [135] Thesen, G., and O. Langhelle. 2008. 'Awareness, Acceptability and Attitudes towards Hydrogen Vehicles and Filling Stations: A Greater Stavanger Case Study and Comparisons with London'. *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (January): 5859–67.
- [136] Trope, R. L., and E. Michael Power. 2006. 'Training the Spyglass: Law in Anticipation of the Hydrogen Economy.' *Proceedings of the IEEE* 94 (10): 1880.
- [137] Upham, P., E. Dütschke, U. Schneider, C. Oltra, R. Sala, M. Lores, R. Klapper, and P. Bögel. 2018. 'Agency and Structure in a Sociotechnical Transition: Hydrogen Fuel Cells, Conjunctural Knowledge and Structuration in Europe'. *Energy Research & Social Science* 37 (March): 163–74.
- [138] Verbecke, F., and B. Vesý. 2013. 'Safety Strategy for the First Deployment of a Hydrogen-Based Green Public Building in France'. *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (June): 8053–60.
- [139] Vezirođlu, T. Nejat. 1995. 'Twenty Years of the Hydrogen Movement 1974–1994'. *International Journal of Hydrogen Energy* 20 (January): 1–7.
- [140] Waegel, A., J. Byrne, D. Tobin, and B. Haney. 2006. 'Hydrogen Highways: Lessons on the Energy Technology-Policy Interface.' *Bulletin of Science, Technology & Society* 26 (4): 288–98.
- [141] Walter, S., S. Ulli-Ber, and A. Wokaun. 2010. 'Assessing Consumer Preferences for Hydrogen Driven Road-Sweepers'.
- [142] Walter, S., S. Ulli-Ber, and A. Wokaun. 2012. 'Assessing Customer Preferences for Hydrogen-Powered Street Sweepers: A Choice Experiment'. *International Journal of Hydrogen Energy* 37 (August): 12003–14.
- [143] Wang, B., Z. Mi, I. Nistor, and X-C. Yuan. 2017. 'How Does Hydrogen-Based Renewable Energy Change with Economic Development? Empirical Evidence from 32 Countries'. *International Journal of Hydrogen Energy*, March.
- [144] Weert C., A. Galich, and L. Marz. 2013. 'Negotiating Sustainable Innovation? Hydrogen and Fuel Cell Technologies in Germany'. *European Journal of Environmental Sciences, Vol 3, Iss 1, Pp 65-71 (2013)*, no. 1: 65.
- [145] Whitehead, J.R., and J.B. Taylor. 1985. 'The International Energy Agency Cooperative Programs on Hydrogen: Past Achievements and Future Potential'. *International Journal of Hydrogen Energy* 10 (January): 623–32.
- [146] Yang, H-J, Y. Cho, and S-H Yoo. 2017. 'Public Willingness to Pay for Hydrogen Stations Expansion Policy in Korea: Results of a Contingent Valuation Survey'. *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (April): 10739–46.
- [147] Yazici, M. S., and M. Hatipoglu. 2012. 'Hydrogen and Fuel Cell Demonstrations in Turkey'. *Energy Procedia* 29 (January): 683–89.
- [148] Yetano Roche, M., S. Mourato, M. Fishedick, K. Pietzner, and P. Viebahn. 2010. 'Public Attitudes towards and Demand for Hydrogen and Fuel Cell Vehicles: A Review of the Evidence and Methodological Implications'. *Energy Policy* 38 (January): 5301–10.

- [149] Zachariah-Wolff, J. L., and K. Hemmes. 2006. 'Public Acceptance of Hydrogen in the Netherlands: Two Surveys That Demystify Public Views on a Hydrogen Economy.' *Bulletin of Science, Technology & Society* 26 (4): 339–45.
- [150] Zaunbrecher, B. S., T. Bexten, M. Wirsum, and M. Ziefle. 2016. 'What Is Stored, Why, and How? Mental Models, Knowledge, and Public Acceptance of Hydrogen Storage'. *Energy Procedia* 99 (November): 108–19.
- [151] Zhang, L., J. Yu, J. Ren, L. Ma, W. Zhang, and H. Liang. 2016. 'How Can Fuel Cell Vehicles Bring a Bright Future for This Dragon? Answer by Multi-Criteria Decision Making Analysis'. *International Journal of Hydrogen Energy* 41 (October): 17183–92.
- [152] Zimmer, R., and J. Welke. 2012. 'Let's Go Green with Hydrogen! The General Public's Perspective'. *International Journal of Hydrogen Energy* 37 (November): 17502–8.

Annexe 2 : Dispositifs étudiés dans le benchmark

Tableau 48 : Identification et description des dispositifs étudiés dans le benchmark

Identifiant	Nom	Entreprise(s)	Description
 Systèmes avec hydrogène 			
1	Smart Autonomous Green Energy System (Refuge du palet)	Gest'Entreprise, Powidian, Mahytec, AMB et Weather Energie	Système de production et stockage d'énergie pour site isolé (hors réseaux)
2	Smart Autonomous Green Energy System (Micro-réseau solaire de Mafate)	Powidian et EDF	Système microgrid de production et stockage d'énergie pour des bâtiments isolés (hors réseaux)
3	Smart Autonomous Green Energy System (DeltaGreen)	Powidian	Système de production et stockage d'énergie pour un bâtiment autonome non isolé et connecté au réseau d'électricité
4	Smart Energy Hub	Sylfen	Système de production et stockage d'énergie pour un bâtiment non isolé et connecté aux réseaux d'énergies
5	GRHYD	ENGIE	Injection d'hydrogène issu d'EnR dans le réseau de gaz, à destination de logements individuels non isolés et connectés aux réseaux d'énergies
6	ENE-farm	Panasonic	Distribution à travers le réseau, de gaz naturel/hydrogène issu de l'importation à des logements individuels non isolés et connectés aux réseaux d'énergies, pour cogénération
7	-	Nexeya	Système de production et stockage d'énergie pour un site isolé (hors réseaux) ou microgrid
8	Smart Hydrogen Hub	AREVA	Système de production et stockage d'énergie pour un bâtiment non isolé
9	Autonomous Decentralised Power Plant (MYRTE)	AREVA	Système de production et stockage d'énergie pour village, ville ou ilot
10	EcobioH2		Production et stockage d'énergie pour un éco-ilot résidentiel-tertiaire non isolé
11	Jupiter 1000	CNR, RTE, McPHY	Production et injection d'hydrogène issu d'EnR dans le réseau de gaz
12	PACE	-	Cogénération pour logements individuels non isolés à partir de gaz

13	Hygreen Provence	-	Production, stockage et distribution d'hydrogène issu d'EnR
14	Hynoca	Haffner	Production, stockage et distribution d'hydrogène issu de biomasse (pour la mobilité)
21	Chaudière murale à hydrogène	BDR Thermea	Chaudière à hydrogène
Systèmes avec batterie			
17	xStorage Home	Eaton	Système de production et stockage d'énergie pour un bâtiment individuel non isolé
18	-	SolarWatt	Système de production et stockage d'énergie pour un bâtiment non isolé
19	-	GSE Integration, Enphase	Système de production et stockage d'énergie pour un bâtiment non isolé
20	Centrale villageoise	-	Investissement collectif (particulier, entreprise, collectivité) dans des moyens de production EnR
22	NiceGrid	-	Quartier avec production photovoltaïque et stockage
Autres			
15	-	MonAbee	Système d'optimisation de l'autoconsommation
16	-	MyLight	Système d'optimisation de l'autoconsommation

Annexe 3 : Entretiens exploratoires

Les entretiens exploratoires ont été réalisés avec 9 particuliers autoproducteurs d'énergie recrutés via le réseau de l'association BDPV (Base de Données d'installations PhotoVoltaïques).

L'objectif de ces entretiens était d'approfondir l'étude des activités de gestion du système énergétique. Pour cela les entretiens se sont déroulés en deux temps.

Entretiens de description de l'activité

Dans un premier temps, 5 entretiens ont eu lieu par téléphone. Il s'agissait d'entretiens centrés sur l'activité, pour lesquels le participant devait décrire ses activités liées à la gestion de l'énergie, à l'échelle de la journée et de l'année. À la fin de l'entretien, un schéma synthétique des activités décrites par le participant était présenté sur la plateforme en ligne MURAL (espace numérique de collaboration visuel). Le participant était alors invité à réagir sur la description de ce schéma, afin qu'il corresponde à son activité (voir Figure 80).

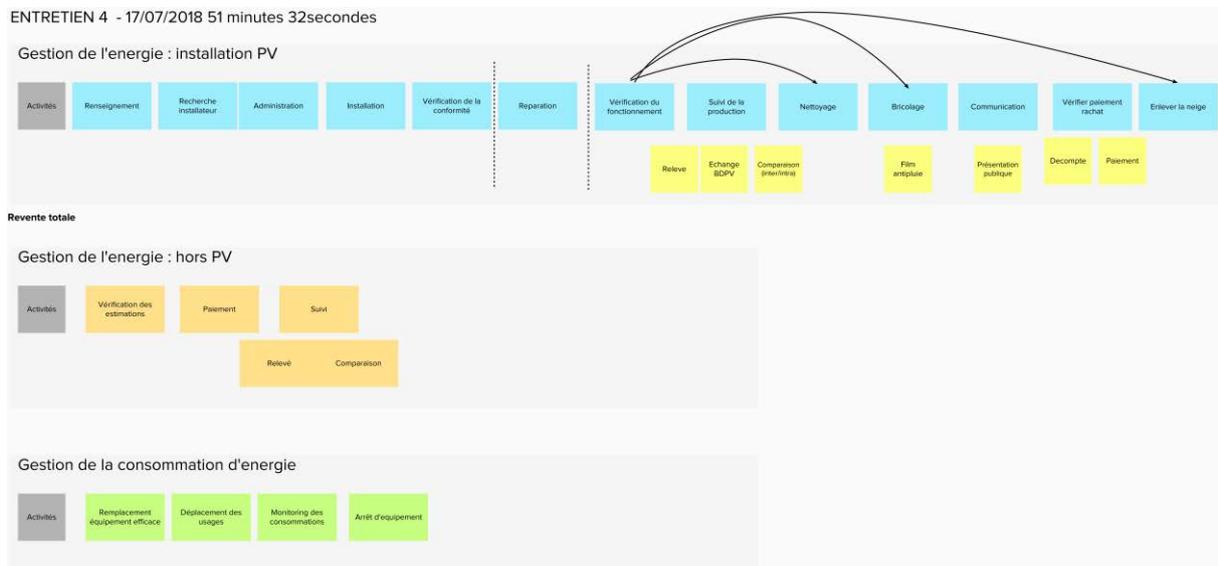


Figure 80 : Exemple du schéma synthétique sur la plateforme MURAL pour l'entretien exploratoire numéro 4

Entretiens de confrontation de l'activité

Dans un second temps, 4 entretiens de confrontation de l'activité ont été réalisés en présentiel. Pour ces entretiens, la littérature sur les activités liées à l'énergie dans l'habitat et les données recueillies dans les 5 premiers entretiens ont été synthétisées dans un schéma (voir Figure 81).

Dans ces entretiens, l'intervieweur indiquait à l'interviewé qu'il aller lui décrire ses activités (celle de l'interviewé) en lien avec l'énergie dans l'habitat. L'interviewé avait la consigne de reprendre l'intervieweur lorsqu'un élément de son activité était manquant, mal expliqué ou mal articulé sur le schéma, ou encore si un élément du schéma ne correspondait pas à son activité.

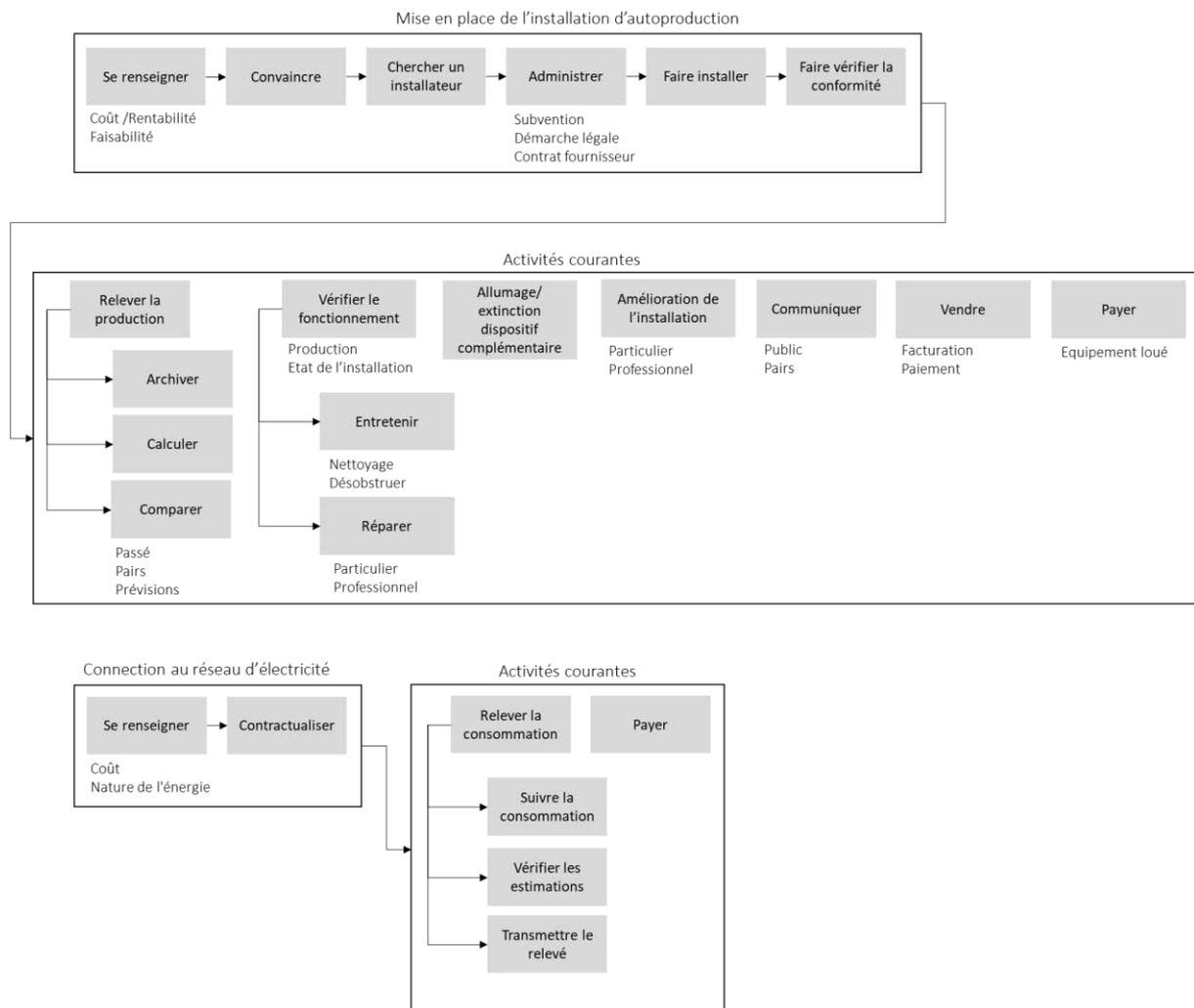


Figure 81 : Schéma des activités en lien avec l'énergie dans l'habitat au cours des entretiens de confrontation de l'activité

Ces entretiens nous ont permis de stabiliser nos connaissances sur les activités en lien avec l'énergie dans l'habitat, afin de construire les cartes d'activités utilisées dans les entretiens d'anticipation des besoins.

Annexe 4 : Évaluation des critères d'identification des idées de besoins

Les critères ont été évalués par 16 ergonomes. Sur une échelle de Likert allant de 1 (pas du tout adapté) à 7 (très adapté), ils devaient noter la pertinence (A) des critères 1.1 à 1.6 pour identifier la verbalisation d'éléments contribuant à une expérience utilisateur négative et (B) des critères 2.1 à 2.6 pour identifier la verbalisation d'éléments contribuant à une expérience utilisateur positive.

Tableau 49 : Critères d'identification des idées de besoins

1. Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative	2. Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive
1.1 Énonciation d'une source de déplaisir	2.1 Énonciation d'une source de plaisir
1.2 Énonciation d'une crainte	2.2 Énonciation d'un souhait
1.3 Énonciation d'une source d'inefficacité	2.3 Énonciation d'une source d'efficacité
1.4 Énonciation d'une difficulté / d'une source de difficulté	2.4 Énonciation d'un élément facilitateur
1.5 Énonciation d'une impossibilité / d'une source d'impossibilité	2.5 Énonciation d'une nouvelle fonction
1.6 Énonciation d'un manque	2.6 Énonciation d'un artefact nouveau

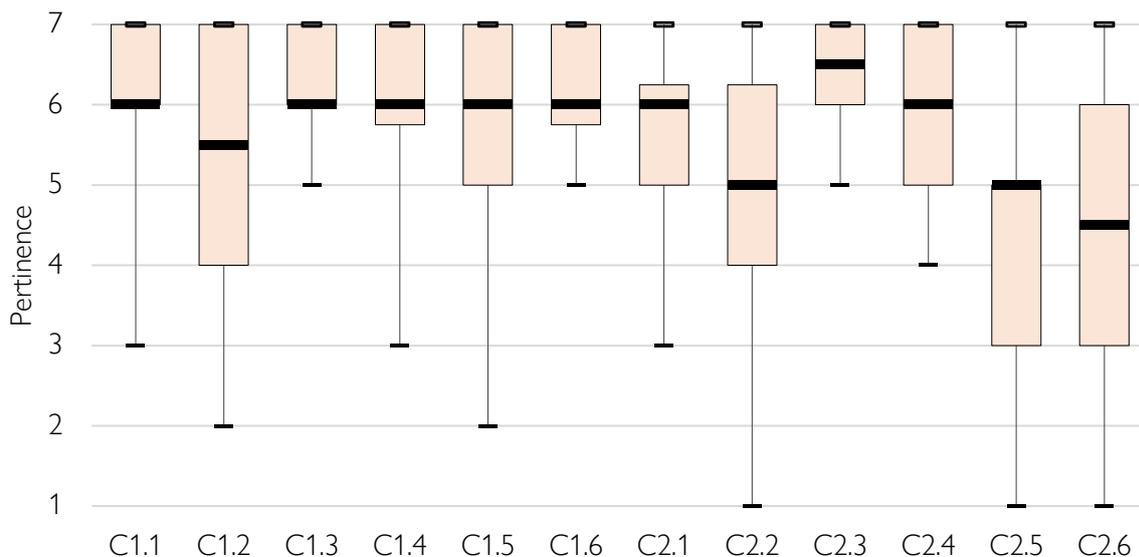


Figure 82 : Pertinence des critères d'identification des idées de besoins, évaluée par 16 ergonomes

Annexe 5 : Idées de besoins détaillés liées à l'énergie dans l'habitat

1. Installer/Rénover le système énergétique

1.1. Se renseigner

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Avoir accès aux informations
- Avoir une source d'information unique
- Avoir une source d'information neutre
- Avoir des informations compréhensibles par des non-experts
- Avoir des informations personnalisées
- Pouvoir choisir le niveau de complexité des informations

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Difficulté d'accéder aux informations
- Difficulté d'avoir confiance dans les sources d'informations
- Ne pas être accompagné par des professionnels pour se renseigner sur les systèmes énergétiques
- Ne pas connaître la consommation énergétique d'un bâtiment

1.2. Décider

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Avoir la preuve de l'efficacité d'un système/d'une technologie
- Pouvoir éprouver le système/la technologie en fonctionnement
- Être encouragé par ses proches
- Pouvoir prendre les décisions de gestion collectivement

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Difficulté d'obtenir un consensus en copropriété
- Impossibilité de participer à la décision en tant que locataire
- Difficulté de projeter les personnes sur le temps long
- Difficulté de convaincre des personnes ayant des valeurs différentes

1.3. Élaborer le système

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Connaître précisément ses besoins énergétiques
- Avoir une proposition de système énergétique associée à son logement lors de l'achat/location
- Concevoir le bâtiment comme un système énergétique

- Pouvoir faire évoluer le système énergétique en fonction de l'évolution de ses besoins énergétiques
- Être conseillé par des professionnels en conception de systèmes énergétiques
- Avoir accès à des technologies sûres
- Avoir accès à des technologies compactes
- Avoir accès à des technologies de grande puissance
- Avoir accès à des technologies compatibles entre elles
- Avoir accès à des technologies respectueuses de l'environnement

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Difficulté de connaître ses besoins énergétiques
- Difficulté de dimensionner son système énergétique
- Ne pas pouvoir faire évoluer le système énergétique en fonction de l'évolution de ses besoins énergétiques
- Ne pas avoir des systèmes en accord avec l'esthétique du bâti existant
- Ne pas pouvoir avoir un système qui fonctionne hors réseau/fournisseur
- Avoir des technologies bruyantes
- Avoir des technologies lourdes
- Ne pas avoir des technologies sûres
- Avoir accès à des technologies incompatibles entre elles
- Ne pas avoir de technologies respectueuses de l'environnement

1.4. Anticiper l'exploitation

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir projeter les coûts/bénéfices financiers du système énergétique
- Pouvoir anticiper l'évolution des tarifs de l'énergie
- Pouvoir anticiper le coût de remplacement du système

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas avoir de garantie de la rentabilité

1.5. Planifier les travaux

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Avoir des recommandations utilisateurs ou institutionnelles sur les installateurs/fournisseurs
- Avoir un service de coordination des installateurs
- Avoir confiance dans les installateurs

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas avoir confiance dans les installateurs
- Ne pas avoir accès à des installateurs compétents

1.6. Administrer

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Avoir des démarches légales liées à l'installation simplifiées

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Difficulté à réaliser les démarches légales liées à l'installation
- Ne pas avoir une législation adaptée à la production, au stockage et à l'autoconsommation d'énergie

1.7. Financer l'achat et les travaux

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Avoir des systèmes énergétiques moins chers
- Avoir un tarif de revente garanti
- Avoir plusieurs mécanismes de subventions
- Avoir des processus de subventions simplifiés
- Avoir un financement partiel du fournisseur
- Pouvoir autofinancer l'acquisition d'un système énergétique en le remboursant par une fourniture d'énergie
- Acquérir un système énergétique en location-accession
- Acquérir un système énergétique collectivement
- Contractualiser le partage de la propriété d'un système collectif
- Augmenter la valeur du bâtiment en installant un système énergétique

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas avoir de visibilité sur l'utilisation des subventions par les professionnels de l'énergie
- Ne pas avoir les moyens financiers pour acquérir seul un système énergétique
- Ne pas avoir un système énergétique d'une durée de vie équivalente au bâtiment
- Ne pas avoir accès aux subventions en auto-installation

1.8. Faire les travaux

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Avoir un système énergétique « prêt à installer »
- Pouvoir auto-installer son système
- Avoir un système auto-installable
- Avoir des formations à l'auto-installation
- Avoir des tutoriels d'auto-installation
- Avoir une application d'aide à l'auto-installation

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Subir les nuisances liées à l'installation
- Subir le manque de coordination des installateurs
- Difficulté d'auto-installer le système
- Difficulté d'intégrer le système énergétique au bâti existant

1.9. Vérifier la conformité

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Être assuré et avoir une garantie
- Faire vérifier son auto-installation par un professionnel
- Faire vérifier la conformité à distance

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Difficulté d'obtenir la conformité
- Difficulté d'avoir confiance dans les professionnels qui vérifient
- Ne pas pouvoir être assuré et garantie en auto-installation

1.10. S'approprier le système

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Être initié à la bonne utilisation de son système
- Avoir un suivi pour affiner les réglages du système
- Avoir une mise en route simple

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas savoir comment bien utiliser son système
- Ne pas avoir des réglages adaptés

2. Gérer le système énergétique

2.1. Vérifier le fonctionnement

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir consulter les informations de production

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas pouvoir identifier un défaut de production

2.2. Vérifier l'état

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir consulter les informations liées à l'état du système

2.3. Faire le suivi

Aucune idée de besoins relative à cette activité.

2.4. Maintenir

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir maintenir facilement soi-même
- Avoir localement une personne homologuée pour maintenir les systèmes énergétiques
- Avoir des technologies durables
- Avoir un espace local dédié à l'énergie

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas pouvoir maintenir soi-même
- Ne pas pouvoir anticiper les actes de maintenance

2.5. Réparer

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir réparer facilement soi-même
- Détecter automatiquement une panne
- Résoudre automatiquement une panne
- Être dépanné à distance
- Avoir des technologies standardisées
- Avoir des modules de réparation
- Avoir des systèmes qui résistent aux événements climatiques extrêmes liés au réchauffement climatique

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas pouvoir réparer soi-même
- Ne pas pouvoir détecter une panne
- Avoir des systèmes non réparables
- Ne pas être dépanné rapidement
- Ne pas pouvoir accéder au dispositif à réparer
- Avoir des systèmes qui ne résistent pas aux événements climatiques extrêmes liés au réchauffement climatique

2.6. S'approvisionner en énergie

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir choisir les sources d'énergie
- Pouvoir choisir en temps réel la source d'énergie
- Pouvoir « sourcer » son énergie

- Avoir un accès continu à l'énergie
- Avoir des moyens d'autoproduction, approvisionnement ou stockage de substitution
- Avoir une capacité d'autoproduction/stockage surdimensionnée
- Avoir des sources d'énergie locales
- Avoir des sources d'énergie équitables
- Avoir des sources d'énergie respectueuses de l'environnement
- Pouvoir produire de l'énergie la nuit
- Pouvoir autoproduire de l'énergie directement avec les équipements
- Pouvoir déplacer un dispositif de production/stockage
- Être autonome en énergie
- Être indépendant vis-à-vis d'autrui (voisin, entreprise, état)
- Avoir des moyens d'autoproduction pilotables

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas avoir confiance dans les fournisseurs d'énergie
- Ne pas pouvoir choisir les sources d'énergie
- Ne pas avoir physiquement l'énergie issue de la source de production choisie
- Ne pas avoir accès à des sources d'énergie équitables
- Ne pas avoir un accès continu à l'énergie
- Ne pas avoir accès à des sources d'énergie respectueuses de l'environnement
- Avoir des pertes d'énergie liées à la distance entre site de production et de consommation
- Ne pas pouvoir autoproduire d'énergie
- Ne pas avoir l'espace pour autoproduire de l'énergie
- Dépendre d'autrui (voisin, entreprise, état)
- Ne pas pouvoir anticiper le réapprovisionnement de l'énergie stockée

2.7. Choisir l'usage de l'énergie

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir consommer de l'énergie lorsqu'elle est produite
- Pouvoir choisir la destination de l'énergie (stockage, consommation ou distribution)
- Pouvoir stocker localement l'énergie (habitat, îlot ou quartier)
- Pouvoir stocker l'énergie
- Pouvoir stocker l'énergie collectivement
- Pouvoir stocker l'énergie individuellement
- Pouvoir stocker de l'énergie directement dans les équipements
- Pouvoir produire du froid
- Pouvoir autoconsommer l'énergie

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas consommer l'énergie quand elle est produite

- Ne pas pouvoir choisir l'utilisation de l'énergie (stockage, consommation ou distribution)
- Ne pas pouvoir produire de froid
- Ne pas avoir l'espace pour stocker de l'énergie
- Ne pas pouvoir stocker efficacement

2.8. Acheter l'énergie

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir diminuer le montant de sa facture en distribuant de l'énergie
- Ne pas payer de taxe sur l'énergie autoproduite
- Ne pas payer l'énergie
- Payer plus cher pour ne pas avoir de compteur communicant
- Avoir un tarif de l'énergie différencié en fonction de l'usage
- Avoir un tarif variable en fonction des caractéristiques du foyer (habitants et bâtiment)
- Avoir une égalité tarifaire
- Payer pour un niveau de confort et de performance
- Pouvoir négocier le tarif de l'énergie

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Payer trop d'intermédiaires
- Payer plus de taxes que d'énergie
- Payer plus cher lorsque l'on consomme peu
- Ne pas comprendre le prix de l'énergie
- Ne pas pouvoir négocier le tarif de l'énergie

2.9. Vendre/Distribuer l'énergie

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir distribuer l'énergie sur le réseau global
- Pouvoir distribuer l'énergie localement (voisins, îlot, quartier ou ville)
- Pouvoir distribuer l'énergie stockée dans les équipements
- Connaître le prix de vente de l'énergie en temps réel
- Pouvoir vendre l'énergie pour un usage spécifique
- Pouvoir vendre sans faire de bénéfice
- Pouvoir donner l'énergie
- Pouvoir distribuer l'énergie à des personnes en précarité énergétique
- Pouvoir échanger l'énergie contre des services, des ressources ou d'autres énergies
- Pouvoir distribuer pour alimenter un réseau déficitaire
- Avoir une infrastructure de distribution locale/entre particuliers
- Ne pas avoir à distribuer directement l'énergie entre particuliers
- Pouvoir restituer l'énergie à la planète

- Avoir un système énergétique solidaire

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas pouvoir distribuer l'énergie superflue produite
- Ne pas avoir d'organisation de centralisation de la distribution
- Avoir un système énergétique non solidaire

2.10. Autres

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Choisir son niveau d'implication dans la gestion du système
- Pouvoir contrôler soi-même le système

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas avoir le contrôle du système

4. Maitriser sa consommation d'énergie

4.1. Consulter sa consommation

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Avoir accès aux données de consommation en temps réel dans l'habitat
- Avoir accès aux données de consommation grises/délocalisées
- Avoir accès aux données de consommations à différentes échelles temporelles (jour, semaine, mois et année)
- Avoir accès aux données de consommation pour chaque équipement
- Avoir des informations de consommations gamifiées
- Avoir un rapport quotidien de la consommation d'énergie
- Avoir une notification de consommation à partir d'un certain seuil
- Pouvoir corriger la mesure de la consommation d'équipements en fonction de scénarios d'utilisation (météo, caractéristiques du bâtiment etc.)

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas avoir accès aux données de consommation en temps réel
- Ne pas avoir accès aux données de consommation grises/délocalisées
- Ne pas avoir accès aux données de consommation pour chaque équipement consommateur
- Ne pas pouvoir comparer la consommation d'équipements en fonction de scénarios d'utilisation (météo, caractéristiques du bâtiment etc.)
- Ne pas pouvoir paramétrer l'interface de suivi de consommation
- Ne pas avoir de garantie sur le respect de la vie privée

4.2. Anticiper/Simuler sa consommation

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Anticiper les usages permis avec l'énergie disponible
- Anticiper la quantité d'énergie nécessaire à une activité

4.3. Comprendre sa consommation

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Avoir des outils d'aide à l'analyse et la prise de décision
- Avoir des recommandations automatiques sur les comportements et usages améliorables
- Avoir des recommandations sur les comportements et usages par un conseiller
- Avoir des références de consommation
- Avoir une formation scolaire sur l'énergie
- Pouvoir suivre un « service énergétique »
- Avoir une visibilité sur les sites de production

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas être en mesure d'identifier les usages/équipements pour lesquels une amélioration est possible
- Ne pas se représenter l'unité d'énergie
- Ne pas avoir de « culture énergétique »

4.4. Consulter l'énergie disponible

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir connaître la disponibilité de l'énergie (localement ou sur le réseau)

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas connaître l'énergie disponible

4.5. Anticiper/Simuler l'énergie disponible

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir anticiper la disponibilité d'énergie en fonction des prévisions météo

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas pouvoir prévoir la production d'énergie en fonction des prévisions météo

4.6. Modifier son activité

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir adapter son activité en fonction de la météo

- Pouvoir adapter son activité aux possibilités de consommation (approvisionnement, production et stockage) individuelles ou collectives
- Avoir une limite de quantité/puissance d'énergie utilisable
- Avoir des comportements énergétiquement sobres
- Être valorisé pour des comportements sobres

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Avoir la possibilité de consommer une quantité d'énergie illimitée
- Dépendre de ses voisins
- Être contraint dans son utilisation de l'énergie
- Être dépendant de facteurs techniques et organisationnels pour sa consommation d'énergie

4.7. Agir sur les équipements

Éléments qui soutiennent une expérience utilisateur positive

- Pouvoir éteindre l'ensemble des équipements de l'habitat
- Avoir des équipements qui s'éteignent automatiquement lorsqu'ils ne sont pas utilisés
- Pouvoir paramétrer les équipements
- Avoir des modes prédéfinis de consommation d'énergie
- Pouvoir agir à distance sur les équipements
- Partager des équipements et des espaces
- Avoir un règlement sur les équipements autorisés

Éléments qui entraînent une expérience utilisateur négative

- Ne pas pouvoir contrôler (allumer/éteindre/régler) un équipement
- Avoir des équipements qui consomment quand ils ne sont pas utilisés
- Être victime d'effets rebonds

Annexe 6 : Scénarios d'usages prospectifs

Scénario 1 : Le foyer autarcique en énergie

Se réappropriier son énergie

Dans ce scénario le respect de l'environnement et l'autonomie guident les choix du foyer en matière d'énergie dans l'habitat. Ils se matérialisent par une reprise de pouvoir des habitants sur leur énergie avec un système énergétique totalement autosuffisant et non raccordé au réseau. Être totalement autonome en énergie est une manière de s'émanciper du « système » et de se rapprocher de la « nature ». D'une part, produire son énergie, c'est ne plus dépendre de l'État et des fournisseurs d'énergie et donc avoir la maîtrise du coût de son énergie, avoir la certitude et la responsabilité que son énergie est produite dans des conditions respectueuses de l'environnement et des humains, et c'est aussi s'assurer de la sécurité de son approvisionnement en énergie. D'autre part, la production d'énergie étant locale et dépendante de la météo, c'est une façon de recréer des liens avec son environnement, avec l'espace dans lequel on vit, c'est changer la manière d'habiter l'espace.

Autonomie et sobriété

Si les habitants sont plutôt enclins à participer à l'installation du système énergétique, ce n'est pas une nécessité absolue et l'installation peut se faire par ou avec l'aide de professionnels. Cette recherche d'autarcie énergétique se traduit principalement dans l'activité des habitants par une forte autonomie concernant la gestion du système énergétique et une importante maîtrise de la consommation d'énergie. Ils prennent en charge le pilotage quotidien en lien avec la production et le stockage de l'énergie, la maintenance courante (entretien et petites réparations) et assurent le suivi. Pour adapter leur consommation d'énergie à leur capacité de production et de stockage d'énergie, les appareils domestiques qu'ils utilisent sont sélectionnés en fonction de leur performance énergétique. Ils sont prêts – voire même désireux – à diminuer leur niveau de confort et à adapter leurs activités au quotidien pour diminuer ou étaler leur consommation d'énergie. Cela nécessite notamment de pouvoir anticiper leur consommation et production d'énergie afin de pouvoir déplacer les activités au moment où l'énergie est disponible. Cette reprise

du contrôle de leur énergie s'accompagne d'une montée en puissance des connaissances des habitants sur l'énergie.

Scénario 2 : Le foyer energiphile

Rationaliser son énergie

Dans ce scénario, la montée en puissance des connaissances et compétences sur l'énergie et l'enthousiasme pour les nouvelles technologies emmènent les habitants à vouloir s'impliquer et reprendre le contrôle de l'énergie à leur domicile. Associées à la culture du Do It Yourself (faire soi-même) les habitants veulent installer et gérer leur système énergétique pour pouvoir l'optimiser et le rationaliser. L'amélioration du système énergétique passe principalement par une autoproduction d'énergie, l'augmentation de l'efficacité énergétique des technologies et par l'automatisation. Ces changements ne doivent cependant pas être à l'origine de compromis sur le confort de vie des habitants. L'autoproduction et l'optimisation de l'énergie sont aussi l'occasion d'avoir un système plus rentable financièrement et plus respectueux de l'environnement.

S'impliquer dans la gestion sans bousculer son quotidien

Cette forte implication se traduit par une tendance à l'auto-installation et à un fort engouement pour la gestion du système énergétique, notamment concernant le suivi de la production et de l'approvisionnement, et le choix de l'usage de l'énergie (autoconsommation, stockage ou redistribution). La redistribution avec la vente d'énergie est un élément important qui influence fortement la rentabilité du système. Au niveau de la maîtrise de l'énergie, il n'est pas question de changer son mode de vie, mais plutôt de piloter les usages qui peuvent l'être (par exemple programmer la machine à laver pour qu'elle démarre lorsqu'il fait beau), d'agir sur les équipements (efficacité énergétique et détection des surconsommations) et de suivre précisément sa consommation.

Scénario 3 : Le foyer membre d'une communauté énergétique

Le collectif et la solidarité énergétique

Dans ce scénario le respect de l'environnement, l'indépendance et la solidarité guident les choix des foyers habitants concernant l'énergie dans l'habitat. La volonté de ne plus dépendre des politiques de l'État et des grands fournisseurs d'énergie et de bénéficier d'une énergie respectueuse de l'environnement pousse les individus à s'orienter vers des modes de production d'énergie alternatifs et délocalisés. Cependant, ces systèmes énergétiques sont coûteux et peuvent être perçus comme relevant de logiques individualistes lorsqu'ils sont mis en place pour un logement seul. La solution du partage et de la mutualisation est donc un moyen de pouvoir accéder à ces systèmes énergétiques tout en restant dans un système de solidarité. Ce partage prend la forme de communautés énergétiques, qui peuvent être composées de logements individuels ou collectifs. Ces communautés se réapproprient collectivement l'énergie en l'autoproduisant.

Partager les décisions et l'énergie

Le partage du système énergétique en communauté d'individus réorganise l'ensemble des activités liées à l'énergie dans l'habitat. De la réflexion sur le projet, au financement et à l'installation du système énergétique, les décisions sont à prendre collectivement. La gestion quotidienne n'est pas nécessairement partagée et peut être externalisée ou assumée par un nombre limité d'habitants. Cependant, la gouvernance du système est partagée et nécessite que les habitants se réunissent pour prendre des décisions. La maîtrise collective de l'énergie doit permettre la répartition juste de l'énergie entre les habitants. Pour cela, les appareils domestiques que peuvent utiliser les habitants doivent répondre à des critères de performance énergétique établis par la communauté. Des règles peuvent aussi réglementer les comportements des habitants pour adapter leur consommation d'énergie, notamment dans le cas d'une demande énergétique plus importante que la quantité d'énergie disponible.

Scénario 4 : Le foyer passif

Une énergie nouvelle sans changements

Dans ce scénario, l'accès à une énergie plus respectueuse de l'environnement fait consensus, mais cela ne doit pas avoir un impact sur son prix ou sur le confort de l'habitat et cela ne doit pas nécessiter une implication particulière de l'habitant. Cette énergie plus respectueuse de l'environnement peut être produite par des systèmes de production centralisés ou locaux, tant qu'ils ne nécessitent pas l'intervention particulière de l'habitant. Il s'agit donc de modifier les moyens de productions d'énergie sans impacter l'habitant. Pour cela le changement des moyens de productions des centrales énergétiques doit être « invisible » pour l'utilisateur. Dans le cas de systèmes énergétiques locaux, ils doivent être totalement autonomes (technologies enfouies) ou totalement gérés par une organisation étatique ou professionnelle. La production d'énergie locale peut aussi être un moyen de baisser le montant de la facture d'énergie.

Ne pas s'investir dans l'énergie

Ce scénario est marqué par une implication quasi-nulle des utilisateurs dans la gestion du système énergétique, et une implication faible dans les activités de maîtrise de la consommation d'énergie. L'installation est réalisée par des professionnels. Les habitants peuvent souhaiter connaître la source de l'énergie qu'ils utilisent. S'il existe une production locale, un stockage local d'énergie et de la revente, les habitants ne souhaitent pas avoir à les gérer. La maîtrise de l'énergie ne doit pas être contraignante et ne doit pas impacter le confort et le mode de vie. Elle peut être faite par l'acquisition d'équipements énergétiquement performants. Dans ce scénario l'habitant s'en tient à payer sa facture et éventuellement consulter sa consommation ou la source de son énergie.

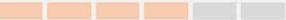


L'AUTOSUFFISANTE

- Consultante en mobilité
- 38 ans
- Vit avec son conjoint et son fils
- Propriétaire d'une maison

Héloïse MASSON

"Le plus important pour moi, c'est de me défaire des grands systèmes de production d'énergie, il n'y a pas de secrets!"

Culture de l'énergie 

DESCRIPTION

Héloïse vit avec son compagnon et son fils dans une maison bioclimatique. Elle n'est pas connectée au réseau et est 100% autonome en énergie grâce à ses panneaux solaires et batteries. Pour elle, l'autonomie est un moyen de s'émanciper. S'impliquer dans la production et la maîtrise de l'énergie est une source de plaisir qui lui permet de se reconnecter à la nature.

OBJECTIFS

- Ne pas dépendre de l'état et des fournisseurs d'énergies
- Être 100% autonome en énergie
- Utiliser des sources d'énergie qui respectent l'environnement
- Être proche de la nature

MOTIVATIONS



SES ACTIVITES EN RAPPORT A L'ENERGIE

	 Installer son système énergétique	 Gérer son système énergétique	 Maîtriser sa consommation d'énergie
Activité 	Héloïse a construit sa maison avec l'aide de sa famille et d'amis. Elle a installé elle-même ses panneaux solaires et batteries.	Héloïse supervise seule sa production d'énergie.	Pour ne pas utiliser plus d'énergie qu'elle n'en a, Héloïse s'adapte au quotidien, par exemple elle n'utilise sa machine à laver le linge que lorsqu'il fait beau.
Difficultés 	Compte tenu du fait qu'elle a installé son système énergétique avec son compagnon, elle ne peut pas assurer ses appareils ni avoir de garantie. Installer ses panneaux solaires et batteries sans l'aide de professionnels a été laborieux.	Elle ne peut pas savoir ce que lui permet de faire l'énergie dont elle dispose, elle n'arrive pas à transformer les unités (watts-heures) en temps d'utilisation de son four par exemple. Héloïse aimerait être autonome sur la maintenance et la réparation de son système énergétique, pour pouvoir se débrouiller en cas de panne.	Héloïse a peur d'augmenter sa consommation d'énergie sans le savoir, parce qu'elle ne connaît pas l'énergie "grise" ou délocalisée liée à ses usages. Suivre tous les jours les prévisions météo pour pouvoir anticiper l'énergie dont elle disposera lui prend du temps et ce n'est pas assez fiable.

Figure 83 : Persona prospectif associé au scénario 1 (Le foyer autarcique en énergie)



L'ENERGIPHILE

- Ingénieur thermicien
- 50 ans
- Vit en couple
- Propriétaire d'une maison

Yves CORBIN

" Il est toujours plus intéressant de faire par vous-même que de faire appel à une tierce partie. C'est la loi de l'efficacité maximale."

Culture de l'énergie

DESCRIPTION

Yves est installé avec son épouse dans une maison en périphérie de Metz. Il a récemment installé seul des panneaux solaires, qu'il a accompagné de batteries et d'un système domotique fait maison. Il n'est pas encore 100% autonome en énergie et est donc relié au réseau d'électricité via lequel il achète l'énergie qui lui manque et revend celle qu'il ne peut stocker. Produire son énergie lui permet d'être plus autonome, mais cela ne doit pas impacter son confort.

OBJECTIFS

- Avoir le contrôle total de son système énergétique
- Être le plus autonome en énergie possible
- Ne pas faire de compromis sur son confort de vie
- Avoir des sources d'énergie renouvelable

MOTIVATIONS



SES ACTIVITES EN RAPPORT A L'ENERGIE

	 Installer son système énergétique	 Gérer son système énergétique	 Maîtriser sa consommation d'énergie
Activité 	Yves a installé tout seul ses panneaux solaires et s'est fait aider de son électricien pour les batteries. Il a conçu son propre système domotique.	Il s'implique beaucoup dans la gestion de sa production d'énergie et son stockage, et en fait un suivi précis.	Yves cherche à identifier les équipements qui ont une consommation anormalement élevée.
Difficultés 	Il rencontre des difficultés à trouver des informations fiable et neutre sur les technologies qu'il veut acheter. Les technologies qu'il a trouvées n'étaient pas toutes compatibles entre elles.	Yves n'est pas 100% autonome en énergie, il ne peut pas stocker suffisamment d'énergie. Il aimerait choisir d'utiliser son énergie comme il le souhaite (la consommer, la revendre ou la stocker), mais son onduleur fait le choix automatiquement.	Il ne veut pas être contraint dans son quotidien et ne souhaite pas changer ses habitudes pour diminuer sa consommation d'énergie. Il peut recharger sa voiture électrique chez lui uniquement s'il fait beau, sinon il n'a pas assez d'énergie disponible.

Figure 85 : Persona prospectif associé au scénario 3 (Le foyer membre d'une communauté énergétique)





LA PASSIVE

- Éducatrice spécialisée
- 55 ans
- Vit seule
- Locataire d'un appartement

Blanche DEVOST

“ Produire de l'énergie un peu « verte » ça permet de participer à la diminution du réchauffement de la planète.”

Culture de l'énergie

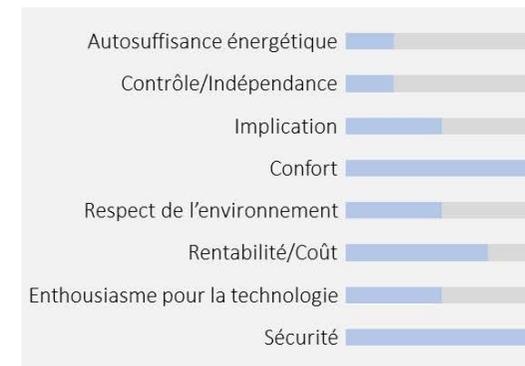
DESCRIPTION

Blanche s'est installée dans un écoquartier. L'immeuble dans lequel elle vit est un bâtiment passif qui dispose de panneaux solaires dont l'énergie n'est pas stockée, mais distribuée aux habitants ou vendue sur le réseau. Cette formule convient à Blanche, car elle lui permet de faire des économies sur sa facture d'électricité, tout en optant pour de l'énergie plus verte.

OBJECTIFS

- Avoir des énergies vertes
- Payer moins cher sa facture d'énergie
- Vivre dans un logement confortable
- Ne pas dépendre de ses voisins

MOTIVATIONS



SES ACTIVITES EN RAPPORT A L'ENERGIE



Installer son système énergétique

Activité



Lorsque Blanche a emménagé tout était déjà installé.

Difficultés



La programmation de son thermostat était trop compliquée.

Blanche n'a pas eu le choix de la formule énergétique lié à son habitation.



Gérer son système énergétique

La gestion du système énergétique est faite par une société.

Le tarif de l'énergie payé par Blanche varie en fonction de la production et de la revente, mais ce n'est pas claire sur la facture.

Blanche ne sait pas d'où provient l'énergie qu'elle consomme et comment elle a été produite.



Maitriser sa consommation d'énergie

Blanche est prête à consommer moins d'énergie si cela n'a pas d'impact sur son confort.

Vivre en habitat passif est contraignant, Blanche ne peut pas ouvrir ses fenêtres quand elle le souhaite.

Elle trouve que l'écran qui lui permet de suivre sa consommation d'énergie et lui donne des conseils est trop culpabilisant et intrusif.

Annexe 8 : Catalogue d'idées d'artefacts liés à l'hydrogène énergie dans l'habitat

Ces 62 idées correspondent à des idées d'artefacts. Elles portent sur des systèmes énergétiques pour l'habitat qui intègrent l'hydrogène énergie. Certaines idées portent directement sur les technologies hydrogènes, d'autres caractérisent des solutions concernant des composants du système énergétique ou le système énergétique en lui-même. Ces idées visent à identifier des solutions utiles qui pourraient composer ou soutenir les futurs systèmes énergétiques pour l'habitat qui intègrent l'hydrogène. Elles sont des concepts préliminaires et incomplets qui représentent de potentiels futurs produits, technologies, services, organisation et systèmes.

ID1 - Pack énergétique

Besoin(s)

- Avoir une solution d'accès à l'énergie associée au logement

Description

Package énergétique associé à l'acte immobilier. Lors de l'achat ou de la location d'un bien immobilier, l'agent immobilier propose un choix de packages énergétiques clé en main (utilisables dès l'entrée dans les lieux), qui peuvent intégrer l'approvisionnement, la production, le stockage et la distribution d'énergie.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant loue un nouvel appartement, l'agent immobilier lui propose différents packs énergétiques associés, l'habitant opte pour un système qui intègre du stockage d'énergie in situ. À son entrée dans les lieux, le système est fonctionnel.

ID2 - Achat de la performance d'usage

Besoin(s)

- Accéder à la propriété de moyens de production d'énergie sans apport initial
- Éprouver un dispositif en fonctionnement

Description

Les habitants paient pour un niveau de performance énergétique. C'est une organisation qui est propriétaire du système énergétique et qui en assure la maintenance et l'entretien. Si les habitants respectent de bonnes pratiques d'utilisation du dispositif qui entraînent une baisse de son coût d'exploitation (entretien et ressources engagées), le prix de leur abonnement diminue.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant paie un abonnement pour avoir une température de 20° et un usage illimité de la cuisine, de l'eau chaude sanitaire et du multimédia. L'habitant fait attention à ne pas laisser les portes et fenêtres ouvertes, sa consommation d'énergie pour le chauffage a été diminuée, diminuant le prix de son abonnement.

ID3 - Location avec options d'achat

Besoin(s)

- Accéder à la propriété de moyens de production d'énergie sans apport initial
- Éprouver un dispositif en fonctionnement

Description

Location de technologie hydrogène avec options d'achat d'hydrogène.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant loue un système de stockage hydrogène, à la fin de la période de location définie il a la possibilité d'acheter la technologie à un tarif préférentiel.

ID4 - "Contrôle technique" du système énergétique

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Être assuré- Avoir une installation fonctionnelle
<p><i>Description</i></p> <p>"Contrôle technique" du système énergétique avant la vente ou la location immobilière.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant achète un logement, l'ancien propriétaire doit réaliser un contrôle technique pour vérifier et attester de l'état du système énergétique du logement.</p>

ID5 - Séjour d'expérimentation de production d'hydrogène

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Éprouver un dispositif en fonctionnement
<p><i>Description</i></p> <p>Séjour de plusieurs jours pour expérimenter la production, le stockage et l'autoconsommation avec des technologies hydrogènes.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant n'est pas convaincu par l'hydrogène au quotidien, mais souhaite être autosuffisant en énergie. Il part essayer pendant une semaine une maison autosuffisante en énergie grâce à un stockage d'hydrogène, pour se confronter à cette solution.</p>

ID6 - Autofinancement par fourniture d'énergie

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Accéder à la propriété de moyens de production d'énergie sans apport initial
<p><i>Description</i></p> <p>Autofinancement des technologies de l'énergie en échange d'une fourniture d'énergie.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant ne dispose pas des moyens suffisants pour acheter ses panneaux solaires et son stockage d'hydrogène. Il en devient propriétaire en s'engageant à fournir une certaine quantité d'énergie à l'organisation qui lui a vendus.</p>

ID7 - Comparaison corrigée de la performance énergétique

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Vérifier la performance d'un équipement domestique ou d'une technologie de l'énergie- Moduler la vérification de la performance en fonction de la météo et de l'activité des habitants
<p><i>Description</i></p> <p>Dispositif de comparaison des performances énergétiques des équipements domestiques ou des technologies de l'énergie en fonction de paramètres liés à l'activité des habitants et à la météo (correction climatique).</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant cherche la technologie de stockage d'énergie la plus efficace possible, grâce au dispositif, il peut entrer les données spécifiques liées à la météo de son lieu d'habitat et à son activité, pour moduler les performances annoncées des technologies qu'il consulte, et faire un choix juste.</p>

ID8 - Évaluation éthique

Besoin(s)

- Respecter l'environnement
- Respecter les humains

Description

Dispositif de comparaison des équipements domestiques ou des technologies de l'énergie en fonction de critères éthiques liés à l'humain (condition de production, travail des enfants etc.) et à l'environnement (CO2, énergie grise etc.).

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant cherche à avoir un impact le moins négatif possible sur l'environnement et les autres humains. Lorsqu'il achète de nouveaux équipements, il regarde différents indicateurs sur son dispositif pour orienter son choix.

ID9 - Simulation des coûts de fonctionnement

Besoin(s)

- Prévoir le cout énergétique de fonctionnement de l'habitat
- Prévoir les coûts/bénéfices financiers du système énergétique

Description

Dispositif de simulation des coûts énergétiques et des coûts ou bénéfices financiers liés au fonctionnement d'un système énergétique.

Exemple de cas d'utilisation

Au moment de la conception de son système énergétique, l'habitant utilise un dispositif pour simuler les coûts de fonctionnement de son futur système énergétique.

ID10 - Évaluation des besoins énergétiques

Besoin(s)

- Dimensionner son système énergétique à ses besoins

Description

Dispositif d'évaluation des besoins énergétiques des habitants en fonction de la composition de leur foyer, de leurs équipements, de leur activité, de leur logement et de leur environnement.

Exemple de cas d'utilisation

Pour définir la capacité de ses panneaux solaires et de son stockage d'hydrogène, l'habitant a besoin de connaître précisément la quantité d'énergie qu'il doit produire et stocker. À l'aide du dispositif, il évalue précisément ses besoins énergétiques et dimensionne son système en conséquence.

ID11 - Module Plug-and-Play

Besoin(s)

- Auto-installer sans connaissances ou compétences particulières
- Avoir un système énergétique modulaire
- Avoir des technologies qui s'intègrent facilement au bâti existant

Description

Technologie hydrogène "Plug and Play" (brancher et utiliser), installable par les habitants et intégrable à l'existant.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant veut installer un stockage d'hydrogène, il peut installer seul le dispositif sans réaliser de travaux et simplement en le branchant.

ID12 - Vérification professionnelle à distance de l'auto-installation

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Auto-installer- Être assuré
<p><i>Description</i></p> <p>Vérification à distance de la conformité d'une installation hydrogène par un professionnel, pour une installation réalisée par l'habitant.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant a installé seul son dispositif de stockage d'hydrogène, pour valider son installation et pouvoir être assuré, un professionnel vérifie le dispositif à distance.</p>

ID13 - Vérification professionnelle de l'auto-installation

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Auto-installer- Être assuré
<p><i>Description</i></p> <p>Vérification de la conformité d'une installation hydrogène par un professionnel, pour une installation réalisée par l'habitant.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant a installé seul son dispositif de stockage d'hydrogène, pour valider son installation et pouvoir être assuré, un professionnel vérifie le dispositif.</p>

ID14 - Application d'aide à l'auto-installation

Besoin(s) - Auto-installer
Description Application d'aide à l'auto-installation de technologie hydrogène.
Exemple de cas d'utilisation L'habitant est guidé par son téléphone dans les étapes cruciales de l'installation de son dispositif de stockage d'hydrogène.

ID15 - Auto-vérification de l'auto-installation

Besoin(s) - Auto-installer - Vérifier et valider l'auto-installation - Être assuré
Description Dispositif d'auto-vérification pour vérifier la conformité d'une auto-installation de technologies hydrogène.
Exemple de cas d'utilisation L'habitant a installé son dispositif de stockage d'hydrogène seul, il lance le système d'auto-vérification qui valide l'installation si elle est bien réalisée, le dispositif est maintenant fonctionnel.

ID16 - Plateforme de renseignements à niveaux d'informations adaptables

Besoin(s)

- Avoir accès à des informations complètes, neutres et fiables
- Pouvoir choisir le niveau de complexité des informations

Description

Site internet de renseignements sur les technologies de l'hydrogène pour l'habitat avec niveau d'informations adaptables au niveau de connaissance de l'utilisateur.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant est ingénieur électricien, lorsqu'il se renseigne sur les technologies qu'il peut installer, il choisit d'avoir une information très détaillée et technique.

ID17 - Coordination de l'installation du système énergétique

Besoin(s)

- Avoir des démarches légales liées à l'installation facilitée
- Être accompagné dans la coordination de l'installation du système énergétique

Description

Service d'accompagnement des habitants pour coordonner l'installation du système énergétique (prise en charge des démarches légales, du financement, de la coordination des professionnels sur le chantier et du paramétrage du système).

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant fait installer des panneaux solaires avec un stockage hybride batterie et hydrogène pour autoconsommer. C'est une organisation qui gère pour lui les démarches légales à faire avec la mairie et qui coordonne les travaux.

ID18a - Label « Technologie énergétique respectueuse de l'environnement »

<i>Besoin(s)</i> - Respecter l'environnement
<i>Description</i> Label « Technologie énergétique respectueuse de l'environnement » qui contraint les fabricants à respecter des normes environnementales.
<i>Exemple de cas d'utilisation</i> L'habitant a acheté son dispositif hydrogène « Technologie énergétique respectueuse de l'environnement », pour être sûr d'opter pour une technologie en accord avec ses valeurs.

ID18b - Label « Énergie respectueuse de l'environnement »

<i>Besoin(s)</i> - Respecter l'environnement
<i>Description</i> Label « Énergie respectueuse de l'environnement » qui contraint les fournisseurs à respecter des normes environnementales.
<i>Exemple de cas d'utilisation</i> L'habitant achète de l'énergie « Énergie respectueuse de l'environnement », pour être sûr d'opter pour une énergie en accord avec ses valeurs.

ID19a - Label « Technologie énergétique équitable »

<p><i>Besoin(s)</i></p> <p>- Respecter les humains</p>
<p><i>Description</i></p> <p>Label « Technologie énergétique équitable » qui contraint les fabricants à respecter des normes de respect des humains.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant a acheté son dispositif hydrogène « Technologie énergétique équitable », pour être sûr d'opter pour une technologie qui n'exploite pas les travailleurs lors de sa fabrication.</p>

ID19b - Label « Énergie équitable »

<p><i>Besoin(s)</i></p> <p>- Respecter les humains</p>
<p><i>Description</i></p> <p>Label « Énergie équitable » qui contraint les fournisseurs à respecter des normes de respect des humains.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant achète systématiquement de l'énergie « Énergie équitable », il est garanti que cette énergie est produite en rémunérant correctement les producteurs.</p>

ID20 - Modules évolutifs

Besoin(s)

- Avoir un système énergétique évolutif
- Faire évoluer le système énergétique en fonction des phases de vies et de l'évolution des besoins
- Avoir un système énergétique modulaire

Description

Système énergétique composé de modules évolutifs avec la possibilité de personnaliser ou faire évoluer l'installation en ajoutant/enlevant des modules (en fonction de la saison, des besoins etc.).

Exemple de cas d'utilisation

Les 2 enfants de l'habitant ont quitté le domicile, le système énergétique est maintenant surdimensionné, l'habitant opte pour un module de stockage de plus faible capacité.

ID21 - Stockage d'hydrogène multi-échelles

Besoin(s)

- Stocker collectivement
- Diversifier les stockages
- Produire et stocker l'énergie localement

Description

Technologies de stockage d'hydrogène individuelles de court terme/faible capacité au niveau du logement, et collectives de long terme/forte capacité au niveau du quartier.

Exemple de cas d'utilisation

L'énergie produite par l'habitant est stockée directement chez lui dans un petit réservoir hydrogène qui lui donne quelques jours d'autonomie et qu'il gère comme il le souhaite. Lorsqu'il produit plus qu'il ne peut stocker chez lui, un système de stockage au niveau du quartier peut absorber son surplus, il pourra l'utiliser quand il en aura besoin.

ID22 - Intégrateur multi-énergies

Besoin(s) - Avoir des moyens de production et d'approvisionnement de substitution
Description Technologies de production d'hydrogène à partir de différentes sources d'énergie (électricité solaire, gaz, déchets etc.).
Exemple de cas d'utilisation Pour avoir toujours de l'énergie, l'habitant peut alimenter son stock d'hydrogène énergie par électrolyse avec l'électricité produite par ses panneaux solaires et par gazéification avec les déchets organiques de sa cuisine et de son jardin.

ID23 - Adaptation au changement climatique

Besoin(s) - Avoir un système énergétique qui résiste aux événements climatiques extrêmes liés au réchauffement climatique
Description Technologies hydrogène résistantes aux aléas climatiques liés au changement climatique (sécheresse, chaleur, inondation etc.).
Exemple de cas d'utilisation Spécifiquement conçus pour résister à la chaleur, lors du dernier épisode de canicule, les performances des panneaux solaires et de la pile à combustible de l'habitant n'ont pas été impactées.

ID24 - Sourçage et sélection de l'énergie

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Pouvoir sourcer son énergie- Pouvoir sélectionner en temps réel sa source d'énergie
<p><i>Description</i></p> <p>Dispositif de sourcing et sélection en temps réel de l'énergie (provenance géographique, moyen de production, producteur, prix, quantité disponible, impact sur l'environnement etc.).</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>Lorsque l'habitant a besoin d'une grande quantité d'énergie, il regarde les caractéristiques précises des énergies à sa disposition, comme lorsqu'il achète sa nourriture.</p>

ID25 - Aiguillage de l'énergie

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Choisir la destination de son énergie- Pouvoir choisir son niveau d'implication dans le système
<p><i>Description</i></p> <p>Dispositif d'aiguillage de l'énergie (vente, stockage, autoconsommation ou distribution) paramétrable, en fonction des prix, de la production et des stocks.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant a entré dans son dispositif des règles très précises d'aiguillage de l'énergie qu'il produit. Il sait que son énergie est toujours utilisée comme il le souhaite.</p>

ID26 - Gardiennage de système énergétique

Besoin(s)

- Ne pas avoir à s'impliquer dans la gestion du système énergétique
- Pouvoir choisir son niveau d'implication dans le système

Description

Service de "gardiennage" (temporaire ou permanent) du système énergétique. Si l'habitant ne peut pas ou ne souhaite pas superviser son système, une organisation tierce le fait pour lui (à distance et sur place).

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant ne s'occupe pas de son système énergétique, c'est une société qui s'occupe de surveiller le stockage et la redistribution de l'énergie.

ID27 - Service de gestion à distance

Besoin(s)

- Pouvoir agir à distance sur son système énergétique

Description

Dispositif de gestion de la production, du stockage, de l'achat et de la distribution de l'énergie à distance.

Exemple de cas d'utilisation

Lorsqu'il est en déplacement, l'habitant vérifie que tout se passe bien et apporte parfois des modifications à la gestion de son système énergétique.

ID28 - Monitoring du stockage

Besoin(s) - Afficher les informations liées à l'état du système de stockage
Description Dispositif de suivi en temps réel des données du système de stockage d'hydrogène (niveau de charge, température, pression, durée jusqu'à la charge totale, prévision des gestes de maintenance etc.).
Exemple de cas d'utilisation L'habitant consulte de temps en temps les données de son système de stockage, notamment pour anticiper les gestes de maintenance.

ID29 - Revalorisation de l'environnement

Besoin(s) - Enrichir l'environnement
Description Dispositif de restauration de l'environnement. L'habitant peut utiliser une partie de son énergie pour restaurer la biodiversité, l'équilibre climatique, dépolluer ou reconstituer des stocks d'énergies fossiles.
Exemple de cas d'utilisation L'habitant alloue une partie de l'énergie qu'il produit pour capter du CO2.

ID30 - Microreseaux multi-énergies

Besoin(s) - Distribuer sur le réseau global ou localement
Description Microréseaux locaux d'échanges multi-énergies pour distribuer son énergie (électricité, chaleur, froid ou hydrogène).
Exemple de cas d'utilisation L'habitant vend du froid en été et du chaud en hiver.

ID31 - Tarif par foyer

Besoin(s)

- Distribuer sur le réseau global ou localement
- Être solidaire énergétiquement

Description

Prix de vente/achat de l'énergie qui varie en fonction des caractéristiques du foyer destinataire (nombre d'habitants, comportements, contribution) et des caractéristiques du logement.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant vend son énergie moins chère aux familles nombreuses.

ID32 - Tarif progressif de l'énergie

Besoin(s)

- Distribuer sur le réseau global ou localement
- Tarif progressif

Description

Prix de vente/achat de l'énergie qui augmente avec la quantité d'énergie vendue/achetée, les grandes quantités sont plus rares et la sobriété est valorisée.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant vend son énergie plus chère en grande quantité qu'en petite quantité.

ID33 - Énergie destinée à un usage

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Distribuer sur le réseau global ou localement- Vendre en fonction de l'usage- Être solidaire énergétiquement
<p><i>Description</i></p> <p>Distribuer de l'énergie pour un usage spécifique uniquement.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant ne vend son énergie que pour la cuisine.</p>

ID34 - Tarif de l'énergie en fonction de l'usage

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Distribuer sur le réseau global ou localement- Tarification en fonction de l'usage- Être solidaire énergétiquement
<p><i>Description</i></p> <p>Prix de vente/achat de l'énergie variable en fonction de l'usage auquel elle est destinée.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant vend son énergie moins chère pour le chauffage et la cuisine que pour le multimédia.</p>

ID35 - Don d'énergie

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Distribuer gratuitement l'énergie- Être solidaire énergétiquement
<p><i>Description</i></p> <p>Dispositif de don d'énergie à destination de personnes en situation de précarité énergétique ou à une association.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant se considère chanceux d'avoir une certaine autonomie énergétique, il donne une partie de son énergie à une famille du quartier qui a du mal à se chauffer correctement l'hiver.</p>

ID36 - Troc d'énergie

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Échanger l'énergie contre des services, des ressources ou d'autres énergies- Distribuer son énergie- S'approvisionner
<p><i>Description</i></p> <p>Dispositif de troc d'énergie, permettant à l'habitant de troquer son énergie contre d'autres énergies, des services, ou des ressources.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant produit beaucoup d'électricité et en troque une partie avec une habitante du quartier qui produit des fruits.</p>

ID37 - Approvisionnements énergétiques différenciés

Besoin(s)

- Avoir physiquement l'énergie issue de la source de production choisie
- S'approvisionner

Description

Systèmes d'approvisionnement physiquement différenciés en fonction des différentes sources d'énergie.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant achète de l'électricité peu chère mais polluante pour son atelier et achète de l'électricité plus respectueuse de l'environnement et plus chère pour son chauffage et son électroménager, il différencie les différents réseaux.

ID38 - Négociation d'énergie

Besoin(s)

- Distribuer son énergie
- S'approvisionner
- Négocier le prix de l'énergie

Description

Dispositif d'aide à la négociation du prix d'achat ou de vente de l'énergie.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant a besoin de beaucoup d'énergie ce jour-là, il négocie un tarif avantageux pour la journée mais devra en contrepartie fournir de l'énergie lors des pics de consommation la semaine suivante.

ID39 - Module de réparation

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Réparer et maintenir soi-même- Être dépanné rapidement
<p><i>Description</i></p> <p>Modules de réparation prêts à être installés pour technologies hydrogènes.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>La pile à combustible de l'habitant est en panne, il change uniquement la partie qui ne fonctionne plus en changeant le module défaillant par un nouveau module prêt à être installé.</p>

ID40 - Assistance par réalité virtuelle

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Réparer et maintenir soi-même- Être dépanné rapidement
<p><i>Description</i></p> <p>Application en réalité augmentée d'aide à l'entretien et la réparation de technologie hydrogène.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>La pile à combustible de l'habitant est en panne, il utilise son téléphone pour être guidé en réalité augmentée dans les étapes de la remise en route de la pile.</p>

ID41 - Autodiagnostic du bon fonctionnement

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Détecter automatiquement tout dysfonctionnement
<p><i>Description</i></p> <p>Dispositif de vérification automatique du bon fonctionnement de l'ensemble du système énergétique (approvisionnement, production, stockage et consommation) type "analyse antivirus".</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant consulte rapidement tous les jours le dispositif ce qui lui permet de voir si tout fonctionne bien.</p>

ID42 - Maintenance et dépannage à distance

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Être dépanné rapidement- Pouvoir faire la maintenance et le dépannage par des professionnels à distance
<p><i>Description</i></p> <p>Dispositif de maintenance et de dépannage à distance de la technologie hydrogène.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>Le stockage hydrogène de l'habitant est en panne. Il appelle le service de dépannage à distance qui peut faire un diagnostic à distance et agir sur certaines causes de pannes sans se déplacer.</p>

ID43 - Gestionnaire homologué de système hydrogène partagé

Besoin(s) - Pouvoir confier la gestion locale de l'énergie à une personne homologuée
Description Former et certifier une personne bénévole pour qu'elle gère localement un système hydrogène partagé.
Exemple de cas d'utilisation L'habitant partage son système de stockage d'hydrogène avec ses voisins. C'est un des voisins qui assure la gestion et les opérations courantes, tout en restant couvert par les assurances.

ID44 - Production et stockage d'hydrogène dans les équipements

Besoin(s) - Produire et stocker de l'énergie directement dans les équipements - Pouvoir stocker de l'énergie en vivant dans de petits espaces - Consommer en dehors des périodes de production d'énergie
Description Produire et/ou stocker l'hydrogène directement dans les équipements.
Exemple de cas d'utilisation L'habitant produit de l'hydrogène et en stocke directement une partie dans ses équipements qui disposent d'une pile à combustible (frigo, four, machine à laver etc.).

ID45 - Dispositif hydrogène nomade

Besoin(s) - Pouvoir déplacer ses moyens de production d'énergie
Description Dispositif de production et stockage d'hydrogène nomade.
Exemple de cas d'utilisation L'habitant a parfois besoin de grandes quantités d'énergie à des endroits éloignés de son domicile. Pour couper du bois dans sa forêt, il prend avec lui son dispositif de production et stockage d'hydrogène nomade afin de pouvoir alimenter plusieurs tronçonneuses.

ID46 - Cartouche d'hydrogène

Besoin(s) - Avoir des dispositifs standardisés - Pouvoir distribuer l'énergie
Description Cartouches d'hydrogène standardisées et multi-usages.
Exemple de cas d'utilisation L'habitant dépanne ses voisins lorsqu'ils n'ont plus d'énergie. Il leur donne une cartouche d'hydrogène qu'ils peuvent directement brancher sur certains équipements (ex. tondeuse) ou qu'ils peuvent brancher sur leur système énergétique.

ID47 - Stockage virtuel

Besoin(s)

- Consommer en dehors des périodes de production d'énergie
- Pouvoir stocker de l'énergie en vivant dans de petits espaces

Description

Location d'un espace virtuel de stockage d'énergie.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant souhaite stocker l'énergie excédentaire qu'il produit, mais il n'en a pas la place. Il loue un espace de stockage virtuel à une organisation, il injecte sur le réseau son énergie excédentaire et peut en récupérer la même quantité quand il le souhaite. L'organisation qui gère la solution gère les bénéfices et pertes liées à la vente et l'achat d'énergie sur le réseau.

ID48 - Stockage délocalisé

Besoin(s)

- Consommer en dehors des périodes de production d'énergie
- Pouvoir stocker de l'énergie en vivant dans de petits espaces

Description

Location d'un espace de stockage d'énergie délocalisé.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant souhaite stocker l'énergie excédentaire qu'il produit, mais il n'en a pas la place. Il loue un espace de stockage à une organisation à qui il transmet son énergie et auprès de laquelle il peut la récupérer.

ID49 - Production multi-énergies

Besoin(s)

- Autoconsommer
- Être énergétiquement autosuffisant

Description

Technologie de production de différentes « énergies finales » (électricité, gaz, chaud et froid) à partir d'hydrogène, pour adresser le plus efficacement possible les différents usages et équipements.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant se chauffe et cuisine grâce à la combustion de l'hydrogène, mais il a aussi besoin d'électricité pour son électroménager et ses équipements multimédias.

ID50 - Extinction de l'habitat

Besoin(s)

- Éteindre l'ensemble des équipements non essentiels de l'habitat

Description

Dispositif qui permet d'éteindre la totalité des équipements non essentiels du logement.

Exemple de cas d'utilisation

Lorsqu'il va se coucher l'habitant ne veut pas continuer à consommer de l'énergie inutilement, il éteint tous les appareils non essentiels en appuyant sur un bouton.

ID51 - Niveau d'implication dans l'énergie pour l'habitat

<i>Besoin(s)</i> - Choisir son niveau d'implication dans la gestion du système énergétique de l'habitat
<i>Description</i> Dispositif qui permet de choisir le niveau d'implication dans la gestion du système énergétique de son habitat en fonction de modes prédéfinis (manuel, semi-automatique ou automatique).
<i>Exemple de cas d'utilisation</i> L'habitant a beaucoup de travail cette semaine et il n'a pas le temps de s'impliquer dans la gestion de son système énergétique. Il le passe du mode semi-automatique au mode automatique pour lequel il n'a plus rien à gérer.

ID52 - Niveau de consommation de l'habitat

<i>Besoin(s)</i> - Choisir son niveau de consommation énergétique
<i>Description</i> Dispositif qui permet de choisir le niveau de consommation énergétique de son habitat en fonction de modes prédéfinis (norma, eco ou super-eco).
<i>Exemple de cas d'utilisation</i> L'habitant reçoit sa famille ce weekend, il ne souhaite pas se contraindre et passe donc du mode super-eco qu'il utilise habituellement, au mode normal.

ID53 - Recommandation d'adaptation des comportements énergétiques à l'énergie disponible en temps réel

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Avoir des recommandations sur les comportements- Comprendre et analyser sa consommation- Adapter son activité aux possibilités de consommation individuelle ou collective
<p><i>Description</i></p> <p>Dispositif de recommandations dynamique et en temps réel sur les comportements énergétiques à avoir en fonction de l'énergie disponible.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant ne dispose plus de beaucoup d'énergie, son dispositif lui recommande en temps réel des comportements énergétiques lui permettant de ne pas tomber en manque d'énergie.</p>

ID54 - Comptabilisation des énergies grises/délocalisées

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Afficher l'énergie grise/délocalisée liée à un équipement ou à un usage
<p><i>Description</i></p> <p>Dispositif qui indique la quantité, la nature et l'emplacement des énergies grises/délocalisées associés à une l'utilisation d'un équipement.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant souhaite réduire sa consommation « globale » d'énergie, il s'est rendu compte de l'énergie délocalisée liée au streaming et a diminué son usage de ce dernier.</p>

ID55 - Suivi des données énergétiques

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Avoir des informations détaillées sur la consommation d'énergie- Avoir des informations détaillées sur la gestion du système énergétique
<p><i>Description</i></p> <p>Dispositif qui propose un bilan journalier, hebdomadaire ou mensuel des données de production, stockage et de consommation d'énergie.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant fait un suivi précis de ses données de production et de consommation d'énergie pour pouvoir identifier des éléments améliorables.</p>

ID56 - Conseils comportementaux et techniques sur la maîtrise de l'énergie

<p><i>Besoin(s)</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Être conseillé sur la gestion et l'utilisation de systèmes énergétiques pour l'habitat- Comprendre et analyser sa consommation- Avoir des recommandations sur les comportements
<p><i>Description</i></p> <p>Service ou dispositif de recommandations sur les comportements et les technologies qui permettent une meilleure maîtrise de sa consommation d'énergie.</p>
<p><i>Exemple de cas d'utilisation</i></p> <p>L'habitant ne comprend pas pourquoi après tous ses efforts sa consommation ne diminue pas. Il peut reprendre ses données avec son conseiller qui lui donne des conseils.</p>

ID57 - Anticipation de la quantité d'énergie disponible en fonction de la météo

Besoin(s)

- Anticiper la disponibilité d'énergie en fonction des prévisions météo
- Anticiper le réapprovisionnement de l'énergie stockée

Description

Dispositif qui permet d'anticiper la quantité future d'énergie disponible en fonction de la production, du stockage, de la consommation et des prévisions météo journalières, hebdomadaires et saisonnières.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant souhaite connaître la quantité d'énergie dont il disposera le mercredi suivant, son dispositif lui indique une prévision d'énergie disponible (ex. « Le 17 mai vous disposerez de 2 kWh »).

ID58 - Anticipation de la quantité d'énergie nécessaire pour une activité

Besoin(s)

- Anticiper la quantité d'énergie nécessaire à une activité
- Anticiper les besoins en énergie

Description

Dispositif qui permet d'anticiper la quantité d'énergie nécessaire pour une activité future, en fonction de plusieurs paramètres.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant prévoit de poncer un meuble la semaine suivante, il peut consulter l'énergie qu'il lui sera nécessaire pour faire cette activité.

ID59 - Partage de la consommation d'énergie collective

Besoin(s)

- Partager l'énergie produite/stockée collectivement

Description

Dispositif qui permet de consulter et de se répartir l'énergie partagée en fonction de règles données et en fonction de la quantité d'énergie disponible.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant produit et stocke de l'énergie avec ses voisins, pour s'assurer que chacun ne consomme pas plus que sa disponibilité en énergie, ils peuvent consulter l'énergie dont ils disposent et appliquer des règles de priorité en fonction des usages (ex. assurer d'abord les besoins de tous en eau chaude sanitaire).

ID60 - Pilotage de la consommation

Besoin(s)

- Déplacer temporellement son activité pour la faire coïncider avec la production
- Adapter son activité aux possibilités de consommation individuelle ou collective
- Adapter son activité à la météo

Description

Dispositif qui permet de programmer et optimiser des activités (ex. démarrer la machine si la production d'énergie est supérieure à x)

Exemple de cas d'utilisation

Pour pouvoir utiliser son énergie lors de sa production, l'habitant programme ses appareils électroménagers pour qu'ils démarrent lorsque de l'énergie est produite.

ID61 - Durée d'autonomie énergétique de l'habitat

Besoin(s)

- Comprendre l'unité d'énergie
- Connaître les usages permis en fonction de l'énergie disponible et la durée d'usage restante

Description

Dispositif de calcul et d'affichage la quantité d'énergie stockée/disponible en durée d'autonomie énergétique de l'habitat (ex. 1 journée d'autonomie énergétique).

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant veut connaître de la quantité d'énergie dont il dispose, pour savoir s'il doit se restreindre. Il consulte l'interface qui lui indique qu'il lui reste 2 journées d'énergie pour son habitat en fonctionnement « habituel ».

ID62 - Quantité d'usages disponible

Besoin(s)

- Comprendre l'unité d'énergie
- Connaître les usages permis en fonction de l'énergie disponible et la durée d'usage restante

Description

Dispositif de calcul et d'affichage de la quantité d'énergie stockée/disponible en unités d'usage (ex. 2 heures de four à 180°), avec la possibilité d'ajouter différents usages.

Exemple de cas d'utilisation

L'habitant veut connaître la quantité d'énergie dont il dispose, pour savoir s'il doit se restreindre. Il consulte l'interface qui lui indique qu'il lui reste assez d'énergie pour deux journées d'éclairage et pour préparer quatre repas.

Tableau 50 : Évaluation des idées de solutions par le juge 1 et le juge 2 (score de disruptivité : plus les valeurs sont proches de 0 plus l'idée est équilibrée ; score de nouveauté : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont nouvelles, les valeurs négatives équivalent à des idées non nouvelles ; score de pertinence/faisabilité : plus les valeurs sont hautes plus les idées sont pertinentes/faisables, les valeurs négatives équivalent à des idées non pertinentes/faisables)

Nom	Juge 1 (expert technique scientifique)			Juge 2 (expert industriel)	
	Disruptivité	Nouveauté	Pertinence/ Faisabilité	Nouveauté	Pertinence/ Faisabilité
ID1 - Pack énergétique	0.3357	0.21	0.98	0.87	1.17
ID2 - Achat de la performance d'usage	0.0008	0.84	0.84	0.19	1.14
ID3 - Location avec options d'achat	0.0695	0.72	0.55	-0.40	-0.44
ID4 - "Contrôle technique" du système énergétique	1.1948	-1.96	0.79	1.17	1.23
ID5 - Séjour d'expérimentation de production d'hydrogène	0.2920	1.04	0.36	-0.23	0.17
ID6 - Autofinancement par fourniture d'énergie	0.0067	0.75	0.76	-0.78	0.15
ID7 - Comparaison corrigée de la performance énergétique	0.3550	-0.58	0.24	1.03	1.41
ID8 - Évaluation éthique	0.7614	-1.08	0.67	-1.36	0.02
ID9 - Simulation des coûts de fonctionnement	0.7054	-0.74	0.89	-0.22	-0.25
ID10 - Évaluation des besoins énergétiques	0.1508	0.50	0.85	-0.68	1.22
ID11 - Module Plug-and-Play	1.1661	0.91	-1.78	-0.30	-0.87
ID12 - Vérification professionnelle à distance de l'auto-installation	1.4203	1.17	-2.11	-1.77	-1.46
ID13 - Vérification professionnelle de l'auto-installation	1.4325	-2.27	1.04	-2.19	1.37
ID14 - Application d'aide à l'auto-installation	1.2596	0.93	-1.98	0.94	-1.31
ID15 - Auto-vérification de l'auto-installation	1.0809	0.86	-1.64	-0.28	-1.88
ID16 - Plateforme de renseignements à niveaux d'informations adaptables	1.2273	-1.82	1.02	1.14	1.37
ID17 - Coordination de l'installation du système énergétique	0.4630	-0.10	0.97	-0.41	0.20
ID18a - Label « Technologie énergétique respectueuse de l'environnement »	0.3009	-0.22	0.47	-0.78	0.15
ID18b - Label « Énergie respectueuse de l'environnement »	1.3349	-2.94	0.14	0.23	0.09
ID19a - Label « Technologie énergétique équitable »	0.2875	0.72	0.06	-2.53	0.41
ID19b - Label « Énergie équitable »	0.0902	0.49	0.28	-0.04	-0.50

Nom	Juge 1 (expert technique scientifique)			Juge 2 (expert industriel)	
	Disruptivité	Nouveauté	Pertinence/ Faisabilité	Nouveauté	Pertinence/ Faisabilité
ID20 - Modules évolutifs	0.1645	0.37	0.75	1.52	0.83
ID21 - Stockage d'hydrogène multi-échelles	0.5775	0.50	-0.84	0.34	0.02
ID22 - Intégrateur multi-énergies	1.2427	0.88	-1.99	1.09	0.08
ID23 - Adaptation au changement climatique	0.0772	0.31	0.49	0.30	-0.21
ID24 - Sourçage et sélection de l'énergie	0.2268	-0.19	0.33	0.36	-0.05
ID25 - Aiguillage de l'énergie	0.6640	-0.51	1.02	-0.04	-0.33
ID26 - Gardiennage de système énergétique	0.3570	0.15	0.98	-0.09	-1.51
ID27 - Service de gestion à distance	0.5947	-0.59	0.78	-1.45	1.20
ID28 - Monitoring du stockage	0.6037	-1.20	0.19	-0.64	0.71
ID29 - Revalorisation de l'environnement	0.2045	0.96	0.49	-0.34	-1.97
ID30 - Microreseaux multi-énergies	1.0388	0.88	-1.52	1.08	0.99
ID31 - Tarif par foyer	0.7930	0.92	-0.91	0.28	0.48
ID32 - Tarif progressif de l'énergie	0.7104	1.06	-0.58	-0.48	-1.54
ID33 - Énergie destinée à un usage	0.9320	0.67	-1.49	-0.20	-2.05
ID34 - Tarif de l'énergie en fonction de l'usage	1.3833	1.12	-2.08	1.10	-0.10
ID35 - Don d'énergie	0.1011	1.03	0.80	1.21	-0.49
ID36 - Troc d'énergie	0.5344	0.11	-1.12	0.45	-1.40
ID37 - Approvisionnements énergétiques différenciés	0.4095	0.13	-0.81	-0.59	-2.06
ID38 - Négociation d'énergie	0.3390	-0.70	-1.49	0.04	0.65
ID39 - Module de réparation	1.2750	0.92	-2.02	-1.49	0.42
ID40 - Assistance par réalité virtuelle	0.6021	0.26	-1.13	1.37	-0.71
ID41 - Autodiagnostic du bon fonctionnement	0.0348	-0.28	-0.20	-0.48	0.91
ID42 - Maintenance et dépannage à distance	0.9560	-1.49	0.71	-2.22	0.00
ID43 - Gestionnaire homologué de système hydrogène partagé	0.1174	0.40	0.67	1.11	-0.62
ID44 - Production et stockage d'hydrogène dans les équipements	0.2267	0.06	0.58	0.96	-2.02
ID45 - Dispositif hydrogène nomade	0.2247	0.11	0.63	0.05	-0.80
ID46 - Cartouche d'hydrogène	0.4779	0.33	-0.77	0.59	-0.16
ID47 - Stockage virtuel	0.0522	0.54	0.42	-1.76	0.71
ID48 - Stockage délocalisé	0.0404	0.99	0.89	0.86	-0.04
ID49 - Production multi-énergies	1.0018	0.29	-2.03	1.08	-0.06

Nom	Juge 1 (expert technique scientifique)			Juge 2 (expert industriel)	
	Disruptivité	Nouveauté	Pertinence/ Faisabilité	Nouveauté	Pertinence/ Faisabilité
ID50 - Extinction de l'habitat	0.8069	-0.99	0.87	0.34	-1.51
ID51 - Niveau d'implication dans l'énergie pour l'habitat	0.3087	-0.03	0.68	-0.53	0.01
ID52 - Niveau de consommation de l'habitat	0.3600	-0.04	0.79	0.12	-0.17
ID53 - Recommandation d'adaptation des comportements énergétiques à l'énergie disponible en temps réel	0.0504	0.34	0.46	1.18	1.19
ID54 - Comptabilisation des énergies grises/délocalisées	0.0641	0.31	0.46	0.43	0.30
ID55 - Suivi des données énergétiques	0.9071	-2.20	-0.11	-2.00	1.35
ID56 - Conseils comportementaux et techniques sur la maîtrise de l'énergie	0.9398	-2.54	-0.37	-0.09	1.45
ID57 - Anticipation de la quantité d'énergie disponible en fonction de la météo	0.1977	0.96	0.50	1.35	0.24
ID58 - Anticipation de la quantité d'énergie nécessaire pour une activité	0.0457	0.18	0.29	1.06	1.02
ID59 - Partage de la consommation d'énergie collective	0.2255	0.04	0.56	0.22	-0.48
ID60 - Pilotage de la consommation	0.9921	-1.80	0.49	0.49	1.21
ID61 - Durée d'autonomie énergétique de l'habitat	0.2701	-0.25	0.37	0.87	1.16
ID62 - Quantité d'usages disponible	0.0940	0.61	0.83	-0.06	-0.06

Annexe 9 : Liste des publications et communications liées à la thèse

Articles dans des revues avec comité de lecture

- Colin, C., Martin, A., Bonneviot, F. & Brangier, É. (2020). Unravelling future thinking: a valuable concept for prospective user research. Article soumis pour publication.
- Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2020). Ordinary users, precursory users and experts in the anticipation of future needs: evaluation of their contribution in the elaboration of new needs in energy for housing. Article soumis pour publication.
- Martin, A., Agnoletti, M-F., & Brangier, É. (2020). Users in the design of Hydrogen Energy Systems: A systematic review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(21), 11889–11900. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.163>

Chapitres d'ouvrages

- Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2021, Sous presse). L'apport de l'analyse lexicale des verbalisations à l'ergonomie prospective : le cas de l'étude des besoins futurs liés à l'énergie dans l'habitat. Dans Agnoletti, M.F & Salès-Wuillemin, E. (Dir). *Communication réelle et virtuelle : nouvelles perspectives en psychologie sociale de la communication*. Éditions Universitaires de Dijon.
- Martin, A. & Brangier, É. (2021, Sous presse). Cognition orientée futur. Dans Brangier, E. & Vallery, G. (Dir). *Dictionnaire de l'ergonomie*. Dunod.
- Robert, J-M., Martin, A., Taraghi, M., Colin, C., Maldar, M., Bonneviot, F. & Brangier, É. (2021, Sous presse). Prospective Ergonomics at the Service of Technological Innovation. Dans Bobillier-Chaumon, M-E. (Dir). *Digital transformations to the test of activity and employees: Understanding and supporting emerging technological changes*. ISTE Edition.

Communications avec actes publiés

- Colin, C. & Martin, A. (2019). Improving mental time travel abilities to support the collection of needs: a pilot study. Dans Broberg, O. & Seim, R. (dirs.). *Proceedings of the 50th Nordic Ergonomics and Human Factors Society Conference (NES 2019)*,86-93.
- Martin, A., Agnoletti, M-F., & Brangier, É. (2019). Hydrogen Energy Technologies' Acceptance Review and Perspective: Toward a Needs' Anticipation Approach. Dans Bagnara, S., Tartaglia, R., Albolino, S., Alexander, T. & Fujita, Y. (dirs). *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*. IEA 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 825, 638-646. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96068-5_69

Communications

- Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2019, Juillet). Hydrogène énergie pour l'habitat : Concevoir pour les utilisateurs finaux. Communication orale présentée à la *Journée Hydrogène et SHS*. Nancy, France.
- Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2019, Août). Contributing to the energy transition with the "Needs and uses ideation interview". Communication orale présentée au *50th Nordic Ergonomics and Human Factors Society Conference (NES 2019)*. Elsinore, Danemark.
- Martin, A., Agnoletti, M- F. & Brangier, É. (2019, Octobre). Identification d'idées à fort potentiel innovant : transformer les verbalisations pour construire des scénarios d'usages prospectifs de l'énergie dans l'habitat. Communication orale présentée au *4ème colloque de psychologie sociale de la communication*. Metz, France.
- Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2020, Septembre). Inhabitants' activity and experience as a starting point for the design of collective energy tools. *Communication orale présentée au Colloque Communautés énergétiques, autoproduction, autoconsommation : cadrages, pratiques et outils*. En ligne.
- Martin, A., Agnoletti, M-F. & Brangier, É. (2021, Juin). Improve creativity in future-oriented design with the Prospective Persona. Communication orale acceptée au *21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)*. Vancouver, Canada.
- Martin, A., Brangier, É. & Agnoletti, M-F. (2018, Juin). Hydrogène énergie, source d'innovation pour l'habitat ? Une recherche sur l'anticipation des besoins futurs grâce à l'Ergonomie Prospective. Communication affichée présentée aux *Journées de l'ADEME et ANR - La Recherche au service de la transition énergétique*. Paris, France.