



HAL
open science

Concevoir des systèmes socio-techniques et innover dans une perspective de soutenabilité

Flore Vallet

► **To cite this version:**

Flore Vallet. Concevoir des systèmes socio-techniques et innover dans une perspective de soutenabilité. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Paris-Saclay, 2022. tel-04351098

HAL Id: tel-04351098

<https://hal.science/tel-04351098v1>

Submitted on 18 Dec 2023

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.

Concevoir des systèmes socio-
techniques et innover dans une
perspective de soutenabilité
Vers une synergie entre imaginaire
et rationalité

**Habilitation à diriger des recherches
de l'Université Paris-Saclay**

**présentée et soutenue à CentraleSupélec, le 28/09/2022
par**

Flore VALLET

Composition du jury

Stéphanie BUISINE Directrice de Recherche, CESI Ecole d'Ingénieurs	Rapportrice
Pascal LE MASSON Professeur, Mines Paris Tech	Rapporteur
Peggy ZWOLINSKI Professeure, Université Grenoble-Alpes	Rapportrice
Jean-François BOUJUT Professeur, Université Grenoble-Alpes	Président
Claudia ECKERT Professeure, The Open University, UK	Examinatrice
Bernard YANNOU Professeur, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay	Examineur

Titre : Concevoir des systèmes socio-techniques et innover dans une perspective de soutenabilité -

Vers une synergie entre imaginaire et rationalité

Mots clés : Systèmes socio-techniques, éco-innovation, conception centrée usager, scénarios prospectifs, activités, compétences

Résumé : L'ensemble des travaux synthétisés dans ce mémoire s'attachent à outiller l'exploration problème-solution en conception et innovation centrée usager, en éco-conception et en éco-innovation. Il s'agit de produire des supports méthodologiques à destination des concepteurs au sens large : ingénieurs-concepteurs mais aussi designers industriels. Ces concepteurs sont aujourd'hui confrontés à (1) la nécessité de concevoir des produits, mais aussi des services voire des systèmes socio-techniques mêlant solutions technologiques et scénarisation des usages et modes de vie ; (2) à l'impératif d'intégrer une dimension environnementale et sociale à la conception pour s'inscrire dans une transition soutenable.

Nous sommes à l'heure actuelle dans une période d'instabilité, d'incertitudes et de bouleversements environnementaux et sociaux.

Afin de saisir ces défis, je propose d'orienter mes futures activités et collaborations suivant trois axes exploratoires. Le premier axe, le plus large, s'intéresse à la modélisation de la transition des usages entre passé et futur et à la conception de futurs usages soutenables. Le second axe se concentre sur l'articulation entre une pensée rationnelle et des imaginaires créatifs en conception, en explorant par exemple le potentiel de la narration et du jeu en conception participative, et plus largement les apports de pratiques artistiques à la conception de systèmes socio-techniques en transition. Le troisième axe propose un cadre pour penser la relation de l'innovation à la technologie dans une perspective de soutenabilité, qui interroge les approches dites basses et hautes technologies.

Title : Design socio-technical systems and innovate for sustainability – Towards a synergy between imagination and rationality

Keywords : socio-technical systems, eco-innovation, user-centered design, prospective scenarios, activity, competencies

Abstract : The different pieces of research summarized in the manuscript aim to support the problem-solution exploration in user-centered design and innovation, eco-design and eco-innovation. The objective is to create methodological approaches for designers in the wider sense: design engineers but also industrial designers. Nowadays, designers are confronted with (1) the need to design products, but also services and even socio-technical systems embedding technological solutions as well as usage and lifestyle scenarios; (2) the urge to integrate environmental and social dimensions in order to take part to a sustainable transition process. We are, at the present time, facing a period of instability, uncertainty, environmental and social

disruptions. In order to address such challenges, I believe my future research work should be moving in three exploratory directions. The first encompassing direction deals with the modeling of usage transitions and sustainable design of future usages. The second direction focuses on the articulation of a rational thinking with creative imaginaries for designing socio-technical systems, through for instance narrative or gaming approaches, and more broadly through artistic practices. The third direction strives to structure and discuss the relationship between innovation and technology towards sustainability, based on high and low tech lenses.

REMERCIEMENTS

La liste sera longue car je tiens à remercier du fond du cœur toutes les personnes que j'ai eu la chance de côtoyer en enseignement et en recherche depuis plus de dix années, avec qui j'ai cheminé, échangé, collaboré, sympathisé. Vous serez chacun.e.s présent.e.s en filigrane au fil des pages de ce manuscrit. Certain.e.s seront même nominé.e.s à plusieurs reprises.

Je souhaite en premier lieu exprimer ma gratitude à l'ensemble des membres du jury de cette thèse d'habilitation à diriger les recherches : Stéphanie Buisine, Pascal Le Masson et Peggy Zwolinski en tant que rapporteurs ; Jean-François Boujut, Claudia Eckert et Bernard Yannou en tant qu'examineurs. Toute ma reconnaissance va à l'ensemble des partenaires de la chaire Anthropolis qui ont financé, encouragé et mis au défi nos recherches en mobilité durable depuis 2016 ; ainsi qu'à la dynamique équipe de la chaire : Jakob, Mariana, Tjark, Tarek, Michele, Sebastian, Yue, Ouidad, Julien.

Mes premiers remerciements vont à Jakob Puchinger et Bernard Yannou pour la confiance qu'ils m'ont accordée en me confiant le rôle de chercheuse confirmée au sein de la chaire Anthropolis depuis 2016. Merci à Jakob, garant de l'esprit de la chaire, pour m'avoir tant appris dans le domaine de la mobilité urbaine, dans un esprit de collaboration ouvert et fructueux. Merci également à Bernard d'avoir accepté le rôle de mentor dans cette aventure de l'HDR. Quel chemin parcouru depuis notre première rencontre lorsque le LGI s'appelait encore Laboratoire Productique Logistique... Un merci très chaleureux à Franck Marle qui, dans son rôle @Support Do It, m'a accompagnée, fait dépasser des moments d'errance rédactionnelle et mise au défi dans la réalisation pratique de ce manuscrit. Je partage également ceci avec Yann Leroy, pour nos échanges HDR en plein confinement au printemps 2020.

Je remercie tout spécialement les doctorants que j'ai eu la chance de co-encadrer et qui m'ont fait grandir en recherche depuis 2012 (dont 3 sont déjà docteurs) : Fabien Michelin, Ouail Al Maghraoui, Yiming Ma, Pascal Un, Tjark Gall et Julien Baltazar. C'est l'occasion d'adresser d'autres remerciements aux collègues avec qui j'ai effectué ces co-encadrements (outre Bernard et Jakob) : Benoît Eynard dont je salue la présence et le soutien depuis 2008, Tatiana Reyes, François Cluzel, Jean-Marie Burkhardt, Sonia Adelé, Nicolas Perry, Sylvie Douzou.

A Pascal Jollivet et à notre collaboration DD01 à l'UTC sur fond de dialogiques ; à Manu Duc pour ses conseils très avisés ; à Dominique Millet, pour avoir créé et fait exister le réseau EcoSD et pour son soutien à la thématique de l'éco-innovation ; à Alain Pineau, Laurent Greslin, François-Xavier Ferrari, Guillian Graves pour nos échanges toujours passionnants au sujet du design industriel et de l'éco-conception.

Une petite dédicace à l'équipe des « Djeuns » du réseau EcoSD (même si on l'est de moins en moins...) : Benjamin, François, Romain, Maud, Tatiana, Bertrand, Iban, Edouard... Votre présence -et nos afters mémorables- ont toujours été aussi stimulants que réconfortants.

Merci à la grande famille du LGI, et tout particulièrement à Delphine et Sylvie, Marija, Guillaume, Isabelle, l'équipe holocratie. Merci à Evren pour le soutien administratif. Je n'oublie pas une autre grande famille, celle des Gens de la Côte : que de bons moments rock'n'roll passés avec vous tous depuis 2016 ; vous m'avez donné une énergie si précieuse.

A l'IRT SystemX et au-delà de la chaire Anthropolis, je souhaite adresser ma reconnaissance à Ahmed Amrani, Mostepha Khouadjia, Yann Briand, à l'équipe IVA et Data IA. Merci à Amira Ben Hamida et Joanna Bussière pour votre amical soutien.

Une pensée particulière va à Benjamin et François, mes deux complices de recherche. Beaucoup de beaux projets avec vous, de joie à travailler et à enseigner ensemble, à se retrouver pour refaire le monde. J'espère que notre route commune sera encore longue.

J'adresse un dernier mot d'affectueuse reconnaissance à mes amis proches (une pensée spéciale à Lara) ainsi qu'à ma famille : Edith, Marie-Claude, Sophie, Gérard, sans oublier Claude et Françoise qui m'accompagnent toujours en pensée. Enfin à François et Céleste, indéfectiblement présents à mes côtés.

SOMMAIRE

1. Introduction	11
1.1 Organisation du manuscrit	11
1.2 Curriculum vitae et synthèse des activités	13
1.3 Prologue : parcours de recherche	30
1.4 Positionnement de mes activités d'enseignement et de recherche	34
2. Positionnement scientifique des travaux	36
2.1 Ingénierie de Conception et d'Innovation	36
2.2 Design for Sustainability : de la vision produit à la vision système	38
2.3 Problématiques de recherche	42
2.4 Méthode de recherche	43
3. Favoriser les activités d'éco-conception	46
3.1 Préambule : caractérisation des méthodes, outils et activités d'éco-conception	46
3.2 Articulation entre évaluation et amélioration environnementale	51
3.2.1 Contexte des travaux	51
3.2.2 Apports des travaux	52
3.2.3 Production scientifique associée.....	54
4. Favoriser les activités d'innovation et d'éco-innovation	55
4.1 La création de valeur soutenable comme fil conducteur de l'innovation	56
4.1.1 Contexte des travaux	57
4.1.2 Apport des travaux.....	59
4.1.3 Production scientifique et vulgarisation	66
4.2 L'expérience d'usage comme fil conducteur de l'innovation	67
4.2.1 Contexte des travaux	68
4.2.2 Apports des travaux	70
4.2.3 Production scientifique associée.....	72
4.3 La vision du futur comme fil conducteur de l'innovation	73
4.3.1 Contexte des travaux	74
4.3.2 Apports des travaux	75
4.3.3 Production scientifique associée.....	80
5. Favoriser la montée en compétences en ingénierie de conception	81
5.1 La montée en compétence par la création de trajectoires	81
5.1.1 Contexte des travaux	82
5.1.2 Apports des travaux	83
5.1.3 Production scientifique associée.....	86
5.2 La montée en compétence par la pratique ludique	87
5.2.1 Contexte des travaux	88
5.2.2 Apports des travaux	89
5.2.3 Production scientifique associée.....	94
6. Conclusions intermédiaires et bilan des activités de recherche.....	95

7. Projet de recherche et d'enseignement	102
7.1 <i>Des approches pour explorer la transition des usages entre passé et futur</i>	106
7.1.1 Scénariser les usages futurs pour une transition soutenable -Application à la mobilité urbaine	107
7.1.2 Evaluer les impacts des systèmes socio-techniques sur les modes de vie.....	108
7.1.3 Modéliser la diversité des usages futurs	110
7.1.4 Concevoir et innover avec les aînés	112
7.2 <i>Des approches qui articulent imaginaire et rationalité</i>	113
7.2.1 Mobiliser le jeu et la narration en mode participatif	114
7.2.2 Explorer une représentation sensible des données	115
7.3 <i>Un cadre pour penser la relation de l'innovation à la technologie, entre low tech et high tech</i>	118
7.3.1 Cadre de positionnement haute et basse technologie pour la pratique de l'ingénierie de conception vers une transition soutenable	119
7.3.2 Cadre de positionnement haute et basse technologie : application aux systèmes de mobilité .	122
7.4 <i>Epilogue</i>	124
Bibliographie.....	127
Annexes	137

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : DESCRIPTION DES PRINCIPALES ACTIVITES EXPERIMENTALES	45
TABLEAU 2 : CARACTERISATION DES COMPETENCES D'ECO-CONCEPTION PAR NIVEAU (THESE DE F. VALLET)	50
TABLEAU 3 : DESCRIPTION DES 7 MECANISMES D'ECO-IDEATION	60
TABLEAU 4 : DESCRIPTION DES CATEGORIES ET ILLUSTRATION DU STIMULUS DE PROBLEMES DE VOYAGE (THESE DE O. AL MAGHRAOUI)	71
TABLEAU 5 : SYNTHSE DES VARIABLES DE REALISATION DES ATELIERS MOBILITE FUTURE	78
TABLEAU 6 : SYNTHSE DES APPORTS METHODOLOGIQUES ASSOCIES A LA METHODE GECO	85
TABLEAU 7 : DESCRIPTION DES CARTES DEVELOPPEES POUR LE JEU SERIEUX RADICAL INNOVATION DESIGN®	92
TABLEAU 8 : PROPOSITIONS DE CROISEMENTS ENTRE AXES DE RECHERCHE.....	105
TABLEAU 9 : QUESTIONNEMENT « LOW TECH » ADAPTE DE (LOPEZ <i>ET AL.</i> , 2021)	121

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : STRUCTURE DU MANUSCRIT.....	12
FIGURE 2 : CINQ OUVRAGES DE REFERENCE AUTOUR DE CONCEPTION, SOUTENABILITE ET COMPLEXITE	33
FIGURE 3 : EVOLUTION DE L'EQUILIBRE ENSEIGNEMENT-RECHERCHE DE 2008 A CE JOUR	34
FIGURE 4 : POSITIONNEMENT DE NOTRE RECHERCHE EN INGENIERIE DE CONCEPTION, ADAPTE DE (MCMAHON, ECKERT AND FADEL, 2021)	37
FIGURE 5 : DESIGN FOR SUSTAINABILITY FRAMEWORK, SOURCE (CESCHIN AND GAZIULUSOY, 2016)	40
FIGURE 6 : REFERENTIEL POUR LA FORMATION A L'ECO-CONCEPTION (THESE DE F. VALLET).....	47
FIGURE 7 : STRATEGIES D'UTILISATION DU REFERENTIEL POUR L'APPRENTISSAGE DE L'ECO-CONCEPTION (A) PAR AXE ; (B) PAR NIVEAU ; (C) PAR CROISEMENT D'AXES (VALLET, EYNARD AND MILLET, 2014).....	50
FIGURE 8 : PRINCIPE METHODOLOGIQUE DU PLUGIN ECO-CONCEPTION	53
FIGURE 9 : ECHANGES DE DONNEES ENTRE LES PLUGINS DE LA BOUCLE D'OPTIMISATION (PENCIUC ET AL., 2016).....	54
FIGURE 10 : ATELIER THEMATIQUE ANNUEL ECOSD THE CHALLENGES OF ECO-INNOVATION – LA RECYCLERIE, PARIS, MARS 2015	56
FIGURE 11 : BOITE A OUTIL DE 7 MECANISMES D'ECO-IDEATION (VALLET AND TYL, 2020).....	59
FIGURE 12 : STRUCTURE ILLUSTREE DU MSE INNOVER PAR LE BIOMIMETISME, CAS DE LA BOUILLIERE NAUTILE.....	62
FIGURE 13 : PROCESSUS D'ECO-INNOVATION REPOSANT SUR LES MECANISMES D'ECO-IDEATION ...	63
FIGURE 14 : ARTICULATION ENTRE BALAYAGE ET EXPLORATION EN PROFONDEUR PAR LES MECANISMES D'ECO-IDEATION.....	63
FIGURE 15 : TRAME POUR L'EVALUATION DE LA SOUTENABILITE D'UN CONCEPT ECO-INNOVANT (VALLET AND TYL, 2019)	64
FIGURE 16 : REPRESENTATION DE L'EXPERIENCE DE VOYAGE (THESE DE O. AL MAGHRAOUI)	69
FIGURE 17 : DESCRIPTION DE LA METHODE DE SCENARISATION PERSONARRATIVE	76
FIGURE 18 : MISE EN ESPACE POUR LE SCENARIO DECELERATION, ECOLE D'ETE BEST 2019	79
FIGURE 19 : CARTOGRAPHIE DES OUTILS D'ECO-CONCEPTION EN FONCTION DE L'UTILISATION DANS LA CHAINE DE SOUS-TRAITANCE (THESE DE F. MICHELIN)	84
FIGURE 20 : SYNTHESE DES BRIQUES DE LA METHODE GECO (THESE DE F. MICHELIN)	85
FIGURE 21 : DEFINITION DES ELEMENTS D'UN JEU SERIEUX, ILLUSTRATION POUR LE JEU D'OPEN INNOVATION CONSORTIO (D'APRES THESE DE Y. MA).....	89
FIGURE 22 : ARTICULATION DES DIFFERENTS ETAGES DE CONCEPTION D'UN JEU SERIEUX (SYSTEME, NIVEAU, DEFI) (D'APRES THESE DE Y. MA).....	90
FIGURE 23 : MODELE DE CONCEPTION DE JEU SERIEUX EN V, APPLICATION A L'INGENIERIE DE CONCEPTION (IE) (D'APRES THESE DE Y. MA).....	91
FIGURE 24 : PRESENTATION DES CINQ NIVEAUX DU JEU SERIEUX RADICAL INNOVATION DESIGN®....	92
FIGURE 25 : PARCOURS DE JEU POUR LE NIVEAU « KNOWLEDGE AND PROBLEM DESIGN » DU JEU RADICAL INNOVATION DESIGN®.....	93
FIGURE 26 : POSITIONNEMENT DE NOS ACTIVITES DE RECHERCHE SUR LA GRILLE MDM D'APRES (JOORE AND BREZET, 2015).....	95
FIGURE 27 : PASSERELLE ENTRE LES ACTIVITES ANTHROPOLIS ET ECOSD.....	100
FIGURE 28 : ARTICULATION DES FUTURS AXES DE RECHERCHE	105
FIGURE 29 : AXE DE RECHERCHE TRANSITION DES USAGES, D'APRES (JOORE AND BREZET, 2015). 106	
FIGURE 30 : CONSTRUCTION DE FUTURS USAGERS EN APPUI SUR PERSONAS ET POPULATIONS SYNTHETIQUES	111
FIGURE 31 : DEMARCHE DE CONCEPTION DU PORTAIL DE VISUALISATION DE DONNEES, PROJET IVA (VALLET ET AL. 2021)	116
FIGURE 32 : PARCOURS D'UN ANALYSTE DE DONNEES UTILISANT LE PORTAIL DE VISUALISATION (VALLET ET AL. 2021) [PNB : PARIS-NORD].....	117

ABREVIATIONS

ACV	ANALYSE DE CYCLE DE VIE
ANR	AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
EcoDoCS	ECO-DESIGN OF COMPLEX SYSTEMS
ECOSD	ECO-CONCEPTION DE SYSTEMES DURABLES
FFI	FUZZY FRONT-END OF INNOVATION
FFEI	FUZZY FRONT-END OF ECO-INNOVATION
GECO	GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS LA RELATION CLIENT/FOURNISSEUR
GES	GAZ A EFFET DE SERRE
IVA	INFORMATION VOYAGEUR AUGMENTE
MDM	MULTI-LEVEL DESIGN MODEL
PME	PETITES ET MOYENNES ENTREPRISES
PSS	PRODUCT SERVICE SYSTEM
PLM	PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT
SGDA	SERIOUS GAME DESIGN ASSESSMENT
SUPLIGHT	SUSTAINABLE AND EFFICIENT PRODUCTION OF LIGHT WEIGHT SOLUTIONS
TXCM	TRAVEL EXPERIENCE CONCEPTUAL MODEL
UNEP	UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME
UX	USER EXPERIENCE

1. Introduction

« Malheureusement –ou heureusement- l’univers tout entier est un cocktail d’ordre, de désordre et d’organisation. Nous sommes dans un univers d’où l’on ne peut écarter l’aléa, l’incertain, le désordre. Nous devons vivre et traiter avec le désordre.

L’ordre ? C’est tout ce qui est répétition, constance, invariance, tout ce qui peut être mis sous l’égide d’une relation hautement probable, cadré sous la dépendance d’une loi.

Le désordre ? C’est tout ce qui est irrégularité, déviations par rapport à une structure donnée, aléa, imprévisibilité.

Dans un univers d’ordre pur, il n’y aurait innovation, création, évolution. Il n’y aurait pas d’existence vivante ni humaine.

De même aucune existence ne serait possible dans le pur désordre, car il n’y aurait aucun élément de stabilité pour y fonder une organisation ».

Edgar Morin, Introduction à la pensée complexe (2005, p. 118)

1.1 Organisation du manuscrit

Le chapitre 1 est introductif : il comprend la synthèse de mes activités sous forme d’un CV détaillé et d’un parcours plus narratif qui met l’accent sur mes diverses collaborations de recherche et d’enseignement.

Dans le chapitre 2, les modèles et processus nécessaires à la compréhension de mes travaux en ingénierie de conception et conception soutenable sont brièvement introduits. Il en résulte trois familles de problématiques, conduisant à la mise en œuvre d’un ensemble de méthodes de recherche centrées sur l’activité dont je présente un aperçu en fin de chapitre 2. Ces trois problématiques donnent lieu au développement de contributions pour la période (2012-2021) dans les chapitres 3 à 5 (Figure 1). Le chapitre 3 intitulé Favoriser les activités d’éco-conception fait état des résultats initiés en thèse concernant la pratique et le développement d’outils pour l’éco-conception. Le chapitre 4, Favoriser l’innovation et l’éco-innovation, se positionne plus en amont et propose de nouveaux outils pour les phases préliminaires du processus d’innovation (FFI) et d’éco-innovation (FFEI). Le chapitre 5 relate les apports qui concernent la montée en compétence des concepteurs en éco-conception ou en innovation.

Je dresse un premier bilan réflexif de cette période dans le chapitre 6, mettant en évidence l’évolution dans les systèmes étudiés, les objets communs aux divers projets, les moyens et

l'organisation de ma recherche en lien avec l'enseignement et le positionnement par rapport à des laboratoires nationaux et internationaux de référence.

Le chapitre 7 présente enfin l'orientation que je souhaite donner à mes futurs travaux pour la conception de systèmes socio-techniques. Le premier axe s'intéresse à la modélisation de la transition des usages et à la conception de futurs usages soutenables. Le second axe se concentre sur l'articulation entre une pensée rationnelle et des imaginaires créatifs en conception. Le troisième axe propose un cadre pour penser la relation de l'innovation à la technologie dans une perspective de soutenabilité, au travers de la dialogique high tech-low-tech.

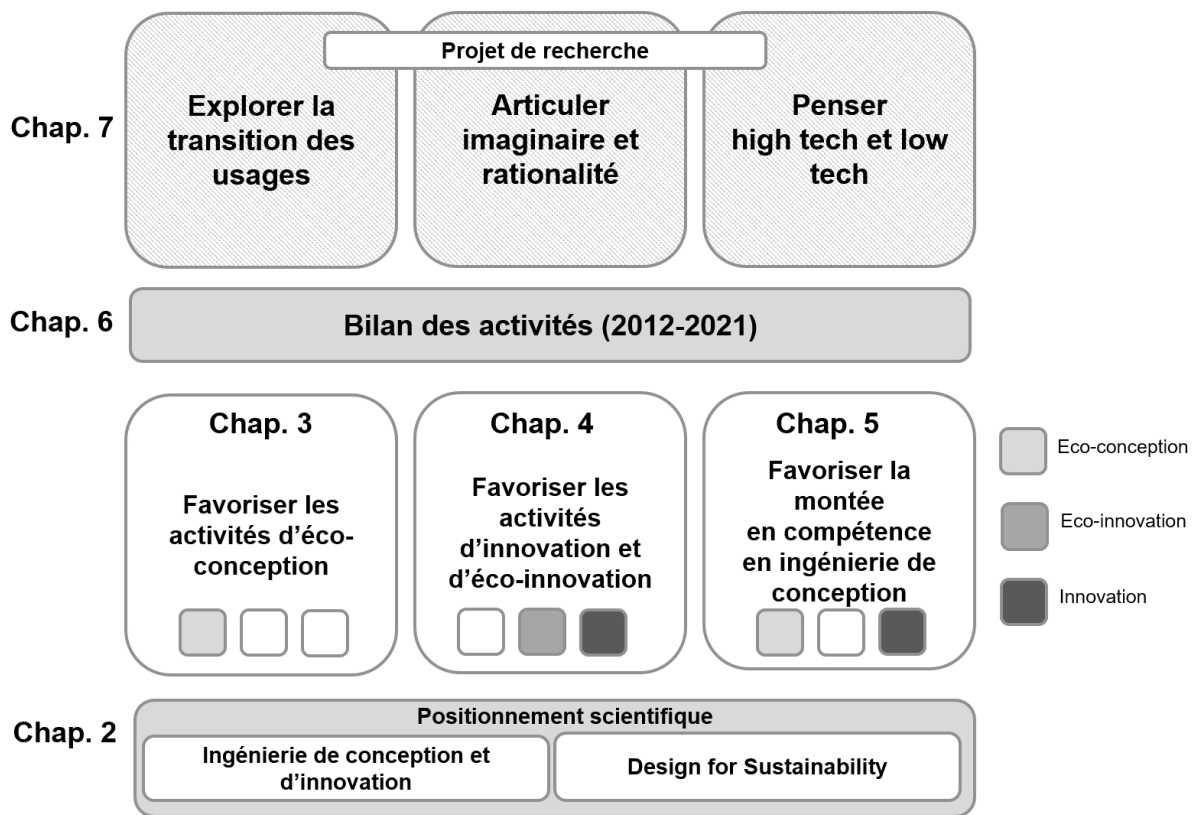


Figure 1 : Structure du manuscrit

1.2 Curriculum vitae et synthèse des activités

FLORE VALLET

Chercheuse en conception centrée usages, **agrégée hors classe de Sciences Industrielles de l'ingénieur**, option ingénierie mécanique.

En **détachement fonctionnaire auprès de IRT SystemX** depuis le 01/04/2016 (premier renouvellement au 01/04/2021 jusqu'au 31/03/2024), rattachée au Laboratoire Génie Industriel, CentraleSupélec dans le cadre de la chaire Anthropolis.

Née le 24 Septembre 1969.

Vie maritale, un enfant.



Coordonnées

IRT SystemX
8 avenue de la Vauve
91127 Palaiseau-Cédex

Laboratoire Génie Industriel, CentraleSupélec
9 rue Joliot-Curie
91190 Gif sur Yvette

flore.vallet@irt-systemx.fr
01 69 15 50 13

flore.vallet@centralesupelec.fr
01 75 31 70 12

Formation

Depuis 2013 Qualifiée aux fonctions de Maître de Conférences par la section CNU 60 (Mécanique, Génie Mécanique)

2012 Doctorat en Mécanique Avancée, Université de Technologie de Compiègne (soutenu le 11/10/2012)

Titre : Caractérisation des bonnes pratiques de l'éco-conception pour la formation des ingénieurs-concepteurs. Synthèse des dimensions, méthodes, activités et outils.

Jury

M Philippe GIRARD, Professeur, Université de Bordeaux - Président
M Emmanuel CAILLAUD, Professeur, Université de Strasbourg- Rapporteur
M Bernard YANNOU, Professeur, Ecole Centrale de Paris - Rapporteur
M Benoît EYNARD, Professeur, Université de Technologie de Compiègne - Directeur de thèse
M Tim Mc ALOONE, Associate Professor, PhD, Technical University of Denmark - Examineur
M Dominique MILLET, Professeur, SUPMECA, Toulon - Co-directeur de thèse
Mme Nadège TROUSSIER, Maître de Conférences, HDR, UTC – Examinatrice

2000 DESS en Design Industriel et Conception de Produits, Université de Technologie de Compiègne

1993 Agrégation de Mécanique (10^{ème}/90), Ecole Normale Supérieure de Cachan

Postes

- Depuis 2016 **Chercheuse en Modélisation Centrée sur les Usages** (en détachement auprès de l'IRT SystemX jusqu'en 2021), enseignante-chercheuse rattachée au Laboratoire Génie Industriel (CentraleSupélec). Chercheuse confirmée de la chaire Anthropolis.
- 2003-2016 **Professeure agrégée de Sciences Industrielles** (Département Génie des Systèmes Mécaniques, Université de Technologie de Compiègne) en décharge horaire à 50% pour recherche (2008-2016).
- 1994-2003 **Professeure agrégée de Sciences Industrielles** (Département Mécanique, INSA Rouen).

Candidatures

Candidate au poste de Maître de Conférences section 60 à l'Université Grenoble 1 Joseph-Fourier, classée 2^{ème} en 2014.

Compétences

CATIA V5 (Part & Shape Design, Imagine & Shape); CREO/ProEngineer.

Formations Design thinking (2017) ; Analyse de Cycle de Vie avec Open LCA (2019) ; Prospective stratégique (2021).

Langues : Anglais (niveau C1).

Conseil

Consultante en Design Industriel auprès d'entreprises (Divergent UTEAM, Université de Technologie de Compiègne) en 2003 (SATA, vitrines d'affichage) et 2008 (ADHOC, logiciel de fabrication innovant).

Projets de recherche

Intitulé	Durée (mois)	Date participation	Sujet et responsabilité	Partenaires
IVA (IRT SystemX)	36	2018-2021	Information Voyageur Augmentée – Animatrice de la tâche 1.5 - Portail de visualisation et suivi de la thèse comportementale tâche 1.3	IRT SystemX, SNCF, Spirops, IDFM, Kisio Digital, IFSTTAR
ANTHROPOLIS-HCM (Chaire)	48	Octobre 2019- Octobre 2023	Human Centred Mobility-Chercheuse sénior	IRT SystemX, CentraleSupélec, Renault, Engie, EDF, CPS, Nokia Bell Labs
ANTHROPOLIS-HCU (Chaire)	48	Avril 2015-Avril 2019	Human Centred Urban mobility-Chercheuse sénior	IRT SystemX, CentraleSupélec, Renault, Engie, SNCF, RATP, Alstom
ALIENNOR (ANR)	36	Octobre 2015- Octobre 2018	Aide à L'Intégration de l'Eco-iNNOvation par les Réseaux d'entreprise. Montage projet et responsable des tâches WP4 Développer et évaluer la maturité des idées ; WP5 Plateforme méthode ALIENNOR.	APESA, UTC, Seatech
SUPLIGHT (EU - FP7)	36	Juin 2011- Juin 2014	Sustainable and efficient Production of Light Weight solutions http://www.suplight-eu.org/ . Responsable de la tâche Eco-design- WP4.4 Eco-design tools for lightweight design.	SINTEF, Hogskolen I Gjovic, Raufauss Technology, MISA, USTUTT, Technology AB, EPFL, Intercim, UTC, C3M, HAI, NTNU

Projets de recherche nationaux réalisés dans le cadre du réseau EcoSD (PRC : projet de recherche collaboratif)

Intitulé	Durée (mois)	Date	Sujet et responsabilité	Partenaires
PRC 20.1	12	Octobre 2020- Octobre 2021	Eco-conception d'un système d'infrastructures de recharge et de véhicules électriques dans une logique territoriale d'usages de mobilité. Co-porteuse académique.	SystemX-LGI /Stellantis
PRC 16.3	12	Octobre 2016- Octobre 2017	Mise en œuvre et diffusion d'une boîte à outils d'aide à l'éco-idéation. Co-porteuse industrielle.	SystemX-LGI /APESA
Défi Eco-innovation	12	Novembre 2014- Novembre 2015	Mobilier de bureau durable avec l'entreprise Steelcase. Participante académique « jeune chercheuse ».	Steelcase
PRC 13.4	12	Octobre 2013- Octobre 2014	Evaluation environnementale des idées dans les phases amont du processus d'éco-innovation. Co-porteuse académique.	UTC, LGI, APESA
PRC 12.3	12	Octobre 2012- Octobre 2013	Eco-innovation : définition académique et pratiques industrielles- Participante académique.	LGI

Projets de recherche soumis et non retenus

Intitulé	Date	Sujet	Partenaires
Smartlab Ile de France MOTILE	2020	Mobilité et Travail en ILE de France-Projet pour une relance et résilience post crise covid-19. Expertise Elaboration de scénarios post covid-19 et Animation du smart lab.	IFPEN, UVSQ, LGI, IRT SystemX
ANR ICAD	2020	Innovation Couplées pour une Alimentation Durable. Expertise mobilité/circuit court et approche participative.	Sayfood, LISI, LGI, MOISA, Agronomie, SAD-APT, Terre et Cité
PRCI ANR-NRF RISE	2019	Projet franco-singapourien Robots In Smart urban Environments: Two Cultural Perspectives for a New Paradigm of Mobility for People at Risk of Social Isolation. Expertise User-centred design.	IRT SystemX, Strate, ENST, TUM CREATE, NTU, SUTD
Appel à projet AMOA RTE	2019	Appel d'offre Appui Eco-innovation au Pilote Opérationnel (AMOA) pour le Projet eSA : exploration éco-innovation pour les services auxiliaires du futur pour RTE.	APESA, CentraleSupélec
Action IDEX Université Paris-Saclay	2016	PROSECO (PROjet OSEr ! ECO-innovation) – Ressources pédagogiques pour l'enseignement de l'éco-innovation par cas d'étude industriels.	CentraleSupélec, AgroParistech

Collaborations internationales

- 2018-2019 Collaboration avec **Dr Henriette Cornet** (TUM CREATE, Singapore) et Penny KONG (doctorante TUM CREATE, Singapore). Dépôt 2019 du projet PRCI ANR-NRF franco-singapourien RISE et rédaction de 2 articles de conférence IASDR 2019 et Designing Sustainability for all 2019.
- 2018-2020 Collaboration avec **Dr Alexandra Millonig** (AIT, Vienna) : rédaction d'un article sur la création d'une approche de scénarisation prospective associée à un modèle de personas publié dans la revue Futures (2020).
- 2014-2015 Collaboration avec **Dr Nancy Bocken** (Maastricht University) pour l'écriture de l'article "The integration of a stakeholder perspective into the front end of eco-

innovation: A practical approach” publié dans la revue internationale Journal of Cleaner Production (2015).

Distinctions

- *Reviewer’s favourite paper* à la conférence ICED’21: “Re-defining the system boundaries of human-centred design”.
- *Reviewer’s favourite paper* à la conférence ICED’15: “Improving the management of environmental requirements in clients/suppliers co-design process”.
- *Highly cited paper* 2017 dans la revue Design Studies: “Using eco-design tools: An overview of experts' practice”.

Responsabilités scientifiques et administratives

Expertise scientifique

Jurys de thèse

- Examinatrice de la thèse de Catherine Perpignan, intitulée « Définition d’un cadre de compétences pour intégrer l’ingénierie durable dans les formations technologiques : application à l’écoconception », sous la direction de Benoit Eynard (Université de Technologie de Compiègne) (décembre 2021).
- Examinatrice de la thèse de Hongping Wang, intitulée « A simulation and optimization modeling framework for the resilience analysis of coupled traffic-power systems », sous la direction de Enrico Zio (Polimi) (octobre 2021).
- Examinatrice de la thèse de Benjamin Doualle, intitulée « Méthodologie d’évaluation de la soutenabilité en conception de Système Produit-Service (PSS) », sous la direction de Valérie Laforest (Mines St Etienne), Daniel Brissaud (Laboratoire GSCOP-Grenoble) et Xavier Boucher (EMSE) (janvier 2018).
- Examinatrice de la thèse d’Alexandre Popoff intitulée « Vers une meilleure prise en compte des utilisateurs en écoconception : Propositions d’éléments méthodologiques pour l’enrichissement d’une démarche d’optimisation amont », sous la direction de Dominique Millet (Seatech) (décembre 2017).
- Examinatrice de la thèse de Julien Garcia, intitulée « Développement d’une méthode d’évaluation de la performance environnementale des innovations incrémentales », sous la direction de Dominique Millet (Seatech) (janvier 2015).

Experte innovation auprès de l’association Silver Valley

- Membre du jury de la Bourse Charles Foix (jury Utilité 2019, jury Innovation 2020).
- Membre du jury Innovation des Silver Awards, compétition d’étudiants en innovation pour les séniors (2019-2021).

Experte d’un dossier pour l’ANR (2015).

Experte mobilité auprès de SNCF Réseau (Atelier valorisation de la ligne non circulée Digne-les-Bains – Saint Auban, janvier 2020).

Responsable de contrats : Gestion financière et administrative des projets EcoSD 13.4 (2013-14) et 20.1 (2020-2021).

Chairman de sessions dans des colloques nationaux : session Eco-conception et Environnement (Qualita 2013) ; session EcoSD Conception de Systèmes Durables (AIP Primeca 2014).

Relectrice d'articles de revues et de conférences (une trentaine)

- Revues : Sustainability, Journal of Cleaner Production, Design Science Journal, RCR, IJSD, International Journal of Sustainable Transportation, International Journal of Design Creativity and Innovation.
- Conférences : Qualita 2013, AIP Primeca 2014, Design 2020, CIRP LCE 2020.

Animation scientifique et vulgarisation

Thème éco-conception, éco-innovation et économie circulaire

- Animation de deux séances d'intelligence collective (février et septembre 2022) dans le cadre du projet régional PIANO (emPreinte territoriale du magNetO), lauréat AMI de la région Aquitaine en 2020.
- Co-animation d'un module de 3h de formation à l'éco-innovation en anglais à la Spring School EcoDesign Complex Systems (2013-2020, CentraleSupélec) proposé par EcoSD soutenu par la Design Society, et validé par la formation doctorale de l'ED Interfaces de l'Université Paris-Saclay.
- Conception et tenue d'un stand de vulgarisation scientifique sur l'économie circulaire aux Rando Durable à Jouy en Josas : jeu et maquette sur le lombricompostage, réalisation de posters sur les principes du lombricompostage et de l'aquaponie (avril 2019).
- Co-organisation et animation de l'atelier académique international « Let's generate eco-innovative concepts - Experimenting an eco-ideation toolbox » lors du SIG Sustainable Design à la conférence Design 2018 à Dubrovnik (23p, mai 2018).
- Co-organisation et animation de l'Atelier Thématique Annuel EcoSD 2015 à la Recyclerie-Paris "The challenges of eco-innovation: from eco-ideation towards sustainable business models" (70 p, mars 2015).

Thème Mobilité – Organisation et animation d'événements

- Séminaire annuel Anthropolis en ligne « Envisioning sustainable futures for urban mobility », animation de la demi-journée Sustainable challenges (25-26 mars 2021).
- Séminaire de restitution des résultats Anthropolis sur la période 2016-2019 (avril 2019).
- Atelier Mobilité Future, école d'été européenne BEST à CentraleSupélec (20p, mars 2019).
- Co-organisation d'un atelier Mobilité future avec le collectif Holo pour le projet Les routes du futur du Grand Paris - Forum Métropolitain du Grand Paris (20p, fév. 2019) ; participation à la rédaction de l'ouvrage « Les routes du futur du Grand Paris ».
- Atelier Design of Mobility experience co-organisé avec le Square – Renault, Paris (50p, déc. 2017).

Animation scientifique interne

- Ateliers Anthropolis IRT SystemX : Petit déjeuner Mobilité (15p, sept. 2017) ; Atelier enfant Dessine la Mobilité future - Family Day (10p, déc. 2017) ; Atelier éco-innovation Stationnement du futur (10p, juin 2018) ; Cadrage Anthropolis saison 2 (3 ateliers avec partenaires, 2019).
- Ateliers Mobilité CentraleSupélec (CS) : Mobilité au LGI (15p, mars 2017), Mobilité personnels CS (10p, avril 2017).
- Atelier team-building avec la communication de l'IRT SystemX (100p, sept. 2019).
- Ateliers projet IVA IRT SystemX : Cadrage projet (30p, janv. 2018) ; Créativité portail de visualisation (6-8 p, sept., oct. et nov. 2019) ; Transfert vers partenaires industriels (juillet 2020, mai 2021).

Responsabilités administratives et participation à la vie de laboratoire

- Membre élue au CA du réseau EcoSD (collège académique 2014-2016 et industriel 2016-2018).
- Membre élue au Comité Technique de l'UTC de 2009 à 2016.
- Membre de la Design Society depuis 2009.
- Membre élue au conseil de laboratoire (COLAB) du Laboratoire Génie Industriel de CentraleSupélec depuis 2017.
- Membre du collectif holacratie : animation de la vie de l'équipe Ingénierie de Conception du LGI depuis 2018.
- Participation au collectif LGI pour le bien-être au labo (aménagement des espaces collectifs, réflexion sur les pratiques de durabilité...).

Animation de recherche à l'IRT SystemX

- Membre de l'équipe Data et Intelligence Artificielle de l'IRT SystemX depuis 2019.
- Animation du groupe de travail Design et Interaction à l'IRT SystemX depuis 2019 : sensibilisation aux approches centrées usager au service des projets d'ingénierie numérique.
- Depuis 2020, nous contribuons au montage des activités en émergence de l'axe Environnement et Développement Durable de l'IRT. Dans ce cadre, nous contribuons au montage de l'Alliance Economie Circulaire et Transformation Numérique entre IRT SystemX et CentraleSupélec, notre implication sur les suites du projet restant à construire. Ce projet est de grande importance pour les deux institutions qui ont des expertises complémentaires en économie circulaire et en innovation numérique. Le projet permettra la collaboration entre partenaires industriels et chercheurs, au plan pédagogique et en recherche. L'objectif est de produire des résultats originaux face aux enjeux d'utilisation (1) du numérique pour favoriser une économie qui soit plus circulaire, mais aussi (2) de l'économie circulaire dans les domaines de l'industrie du numérique.

Activités d'encadrement

Encadrement doctoral et post-doctoral

Date de début	Date de fin	Niveau	Nom de l'étudiant	Financement	Taux encadrement (%)	Production scientifique associée
2012	2015	Doctorat	Fabien Michelin	Contrat	40%	Communications CFM 2013, Qualita 2013, Design 2014, ICED 2015

2015	2019	Doctorat	Ouail Al Maghraoui	Contrat	30%	Communications : CIGI 2018, ICED 2017, EWGT 2019 Revue : Design Science Journal 2019 ; Design Studies 2020
2017	2021	Doctorat	Yiming Ma	Bourse CSC	30%	Communications : ICED 2019, IDETC CIE 2020
2018	En cours	Doctorat	Pascal Un	Contrat	30%	Colloque Epique 2021
2020	En cours	Doctorat	Tjark Gall	Contrat	40%	Communications ICED 2021
2012	2013	Post-doc.	Hery Andriankaja	EUFP7 SuPLight	100%	Revue : J. Cleaner Prod.
2017	2018	Post-doc.	Cong C. Pham	ANR ALIENNOR	100%	Communications: Design 2018, PLM 2018

Post-doctorat Hery Andriankaja, **Projet EU-FP7 SuPLight, WP4 Eco-design.**

Lors du recrutement d'H. Andriankaja en 2012, je me situais à un niveau équivalent de post-doc avec cependant une séniorité plus importante sur les activités d'encadrement pédagogique. J'ai donc mené une collaboration étroite avec le post-doctorant pour mener à bien la tâche WP4 Eco-design du projet européen. J'ai ainsi supervisé le dialogue avec l'agence de consultance Quantis avec qui nous avons développé une version adhoc du logiciel Quantis Impulsio pour le projet. J'ai accompagné le post-doctorant lors la création de la partie Guidelines-Pistes d'amélioration de la conception en lien étroit avec l'analyse de cycle de vie paramétrée. Cet encadrement a abouti à la co-écriture d'un article dans la revue Journal of Cleaner Production pour capitaliser les résultats de la tâche Ecodesign.

Post-doctorat Cong Cuong Pham, **Projet ANR ALIENNOR, WP5 Plateforme ALIENNOR.**

En fin de projet ANR, j'ai effectué l'accompagnement de C.C. Pham qui a mis en place la plateforme informatique capitalisant 300 cas d'éco-innovation répertoriés et classés suivant plusieurs champs. J'ai guidé le travail de structuration en réseau de la plateforme selon une double entrée qui articulait mécanismes d'éco-idéation et cas illustratifs. Cet encadrement a abouti à la co-écriture de deux articles de conférence pour les communautés Ingénierie de Conception et Product Lifecycle Management.

Encadrement de stages de master et mémoires thématique M2 (MT)

Au cours de la période 2014-2021, nous avons eu l'occasion de (co-)encadrer quatre stages de master 2 de quatre à six mois et neuf mémoires thématiques avec des étudiants du master recherche Sciences de la Conception et des Systèmes de CentraleSupélec. Nous précisons ci-après les thématiques et le travail d'encadrement effectué au cours des quatre stages longs. Quatre mémoires thématiques et un stage M2 ont été en lien direct avec les axes exploratoires de mobilité urbaine de la chaire Anthropolis.

Stage de Master Eco-conception de Julien BALTAZAR – 6 mois (Février 2021-Juillet 2021) sur le projet EcoSD 20.1 « **Eco-conception d'un système d'infrastructures de recharge et de véhicules électriques dans une logique territoriale d'usages de mobilité** ».

Pour ce stage co-encadré avec J. Garcia, ingénieur éco-conception chez Stellantis, je me suis attachée à guider l'étudiant dans la construction d'une vision multi parties-prenantes originale (constructeur, aménageur et usager) sur la mobilité électrique longue distance, forte de la connaissance acquise sur les écosystèmes de mobilité au cours des travaux Anthropolis. Ce travail d'accompagnement se clôt par la co-écriture (1) du sujet de thèse de l'étudiant ; (2) d'un article en vue de la conférence CIRP Design 2022.

Stage de Master Ingénierie de Conception de Rim CHOUCHENE – 5 mois (Mai-Septembre 2017), Laboratoire Génie Industriel « **Developing and testing a pain model for problem depiction** ».

L'encadrement de ce stage a consisté à faire émerger un protocole pilote de test pour un modèle de problèmes rencontrés par les personnes âgées.

Stage de Master UX Design d'Antony DUTERTRE – 6 mois (Février 2017-Juillet 2017), chaire Anthropolis

« **Compréhension micro-qualitative des comportements des usagers dans la mobilité urbaine. Motivations Satisfactions et insatisfactions** ».

Pour ce stage exploratoire basé sur des observations à la Défense, j'ai accompagné le cadrage de l'étude expérimentale (recrutement, recueil de données et traitement) et collaboré à la création de profils de mobilité. J'ai enfin travaillé avec l'étudiant à l'articulation entre analyse de profils et conception de services de mobilité adaptés à ces profils.

Stage de Master Eco-conception de François HUMBERT - 4 mois (Mars 2014 - Juin 2014) sur le projet EcoSD "**Evaluation environnementale des idées dans les phases amont du processus d'éco-innovation**".

Pour ce projet, l'encadrement du stagiaire de master s'est concentré sur le cadrage expérimental, la collecte et le traitement de données d'expérimentation avec groupe de contrôle mettant en jeu deux approches d'évaluation et de génération d'idées en phase amont d'un processus d'éco-innovation, à partir de deux cas d'étude ayant généré une quinzaine d'idées chacun.

Date	Niveau	Nom de l'étudiant	Taux d'encadrement (%)	Financement	Valorisation scientifique
2021	Stage M2	Julien Baltazar	50%	PRC EcoSD 20.1	Conférence CIRP Design 2022 - Poursuite en thèse
2014	Stage M2	François Humbert	30%	PRC EcoSD 13.4	-
2017	Stage M2	Rim Chouchene	50%	LGI	-
2017	Stage M2	Antony Dutertre	100%	Anthropolis	Livable Anthropolis
2016	MT	Roman Weil	50%	-	-
2016	MT	Saïd Hallali	100%	-	Livable Anthropolis
2016	MT	Priscilla Chai	100%	-	-
2017	MT	Antony Zlaket	50%	-	-
2017	MT	Hortense Tollu	50%	-	-
2019	MT	Mirna Ojeda	30%	-	Livable Anthropolis
2019	MT	Margherita Fabbri	50%	-	-
2021	MT	Malek Ben Ammar	50%	-	Livable Anthropolis
2021	MT	Michaël Ferrer	50%	-	-

Enseignement

De 2008 à 2016, le volume horaire annuel à effectuer en tant que professeur agrégée de Sciences Industrielles en décharge à 50% était de **288 HETP/192 HETD**. En moyenne, sur la période 2014-2016, il a été réparti comme suit (hors suivi de stages).

Niveau	Intitulé et descriptif sommaire	Responsabilité	CM (h)	TD (h)
L2	Initiation à la conception mécanique (TN02) Dimensionnement élémentaire de composants, technologie des liaisons, éléments standards, jeux	Responsable UV	16	48

Prépa intégrée	fonctionnels, étanchéité, lubrification etc. Conception 2D et 3D (Creo ProEngineer).			
L3/M1 Ingénieur	Conception mécanique (TN12) Conception d'un produit mécanique, de la rédaction du cahier des charges fonctionnel au calcul et à la modélisation 3D	Chargée de TD		64
L3/M1 Ingénieur	Initiation au design Industriel (DI01) Histoire du design, éco-design, matériaux, ergonomie des produits... Mini-projet avec maquettage en matériaux de récupération.	Chargée de TD	2	10
L3/M1 Ingénieur	Séminaire développement durable et technologie (DD01) Organisation de 3 jours de séminaire avec académiques, industriels, institutionnels sur un thème-cible. Suivi de mémoire et de projet en lien avec les acteurs de territoire (associations, collectivités locales).	Co-responsable UV		27
M1 Master	Atelier innovation et éco-conception (ICX01), Master ICI (Innovation Connaissance Interaction) Suivi de projet de produit/service intégrant l'innovation orientée vers les usages, la responsabilité de l'utilisateur et l'économie de ressources.	Co-responsable UV	10	10
L3/M1 Ingénieur	Eco-conception et analyse de cycle de vie (DD02) Evaluation et amélioration environnementale en cycle de vie de produits manufacturés. Mini-projet industriel (en 2014, lampe d'inspection FACOM).	Responsable UV	16	16
Total horaire			44	175
TOTAL HETP			361,5 HETP	

Dans le cadre des activités de la Chaire Anthropolis et du contrat de rattachement au LGI depuis 2016, le volume horaire indicatif à effectuer est de **72 UTD/an**, soit deux modules de 36 UTD/an. Les modules d'enseignement sur lesquels j'interviens sont Innovation Radicale ; Ingénierie de la conception ; Conception durable ; Economie circulaire ; Conception industrielle de systèmes innovants. Du fait de la refonte des cursus d'enseignement à CentraleSupélec depuis 2018, ma charge est fluctuante et s'adapte à la reconfiguration des différents cours de la mention Design Science pour laquelle j'ai participé aux sessions de construction créative. Ci-après sont détaillés les principaux modules d'enseignement concernés ainsi que mon rôle évolutif d'animation dans chaque cas. J'introduis en dernière partie le contenu de ma participation au cours doctoral d'excellence EcoDoCS organisé par le réseau EcoSD soutenu par S.Mart et la Design Society.

Innovation Radicale (SE2200, niveau M1 ingénieur). La méthodologie Radical Innovation Design[®] permet d'innover de manière radicale en explorant de manière systématique et organisée un segment d'usages. C'est aussi une approche pour gérer son portefeuille d'innovations en mesurant le potentiel de création d'utilité, de profitabilité, de nouveauté et d'aptitude à la faisabilité de manière à faire se rencontrer des espaces d'usages en souffrance avec des potentiels technologiques. Je suis intervenue de 2016 à 2021 en tant qu'assistante pédagogique certifiée en charge d'un groupe de 5 élèves et j'ai été porteuse industrielle pour la Chaire Anthropolis de deux projets en 2016 (Trottikit) et 2017 (Mooment). Les résultats du projet Mooment ont été valorisés au sein d'un chapitre d'ouvrage Springer publié en 2021.

Design Science (2EL2120, 70 étudiants en 2021 niveau M1 ingénieur). Ce module de 2^{ème} année transmet les éléments fondamentaux de la science de la conception appliquée aux produits et services et constitue une porte d'entrée vers la mention Design Science. En 2019, je me suis impliquée dans la construction de ce nouveau cours aux côtés de son responsable suivant trois modalités : conception

de contenu originaux (cours sur la création de modèles personas, TD sur la conception d'un service de co-voiturage et la réalisation de customer journey map), regard extérieur et propositions sur l'articulation des diverses activités pédagogiques et assistante de TD sur l'ensemble des séances. A partir de novembre 2021, je suis devenue responsable pédagogique de ce module, en charge de l'animation de l'équipe d'assistants.

Ingénierie de la conception (3GS3020, niveau M2 ingénieur). J'ai été co-responsable du cours et TD en 2020 (mais dans l'impossibilité de poursuivre en 2021 pour incompatibilité d'emploi du temps avec le module Design Science), à l'initiative de la structuration originale de ce cours alternant entre sessions de conception et d'éco-conception, afin de préparer au mieux les étudiants au module Sustainable Design challenge. Sur les versions précédentes du cours, je suis intervenue à plusieurs reprises en suivi de projet en collaboration avec un porteur « jeune pousse » pour motiver les étudiants sur la partie applicative.

Master Class Design Science (MCDS, niveau M2 ingénieur). En 2020, j'ai co-créé le programme de trois séances interactives de Master class (Recherche, Innovation et Design industriel). J'ai en particulier participé à la table ronde Recherche comme chercheuse témoin, et ai été responsable de l'organisation de la séance Design Industriel de découverte des activités du design (avec poursuite en 2021).

Economie circulaire (ST5 et ST7, niveau M1 ingénieur). Depuis 2019, j'assure l'animation de plusieurs TD en lien avec l'éco-conception et l'économie circulaire dans les séquences thématiques ST5 « Eco-éco-quartiers » et ST7 « Economie circulaire »: Material Flow Analysis appliqué à des problématiques territoriales de gestion de flux de déchets ; analyse de cycle de vie d'un éco-quartier ; gestion de la fin de vie « End of Life Challenge ».

EcoDesign of Complex Systems (EcoDoCS, niveau D doctorat). La semaine de formation doctorale EcoDoCS est proposée tous les ans par le réseau EcoSD depuis 2013. J'interviens depuis cette date sur une demi à une journée autour de la thématique d'éco-innovation pour des systèmes complexes, avec illustration sur des systèmes de mobilité urbaine. Je co-anime un cours et un atelier d'éco-idéation autour d'un système différent chaque année. Cours et atelier s'appuient principalement sur les résultats et les outils d'éco-idéation développés au cours du projet ANR ALIENNOR (2015-2018).

Synthèse des modules d'enseignement assurés à CentraleSupélec (2016-2021)

(en grisé : modules arrêtés en 2020 suite à évolution du cursus CentraleSupélec)

Niveau		Intitulé et descriptif sommaire	Responsabilité	Horaire HETD	Nombre étudiants	Période
2ème année	M1	Innovation Radicale SE2200	Chargée de TD Coach projet	24	1 projet 5 ét.	2016-2020
2ème année	M1	Economie Circulaire ST5 - TD Material Flow Analysis	Chargée de TD	3	15-20	2019-2022
2ème année	M1	Economie Circulaire ST7 - TD Fin de Vie	Chargée de TD	1,5	15-20	2019-2021
2ème année	M1	Design Science - TD et Cours science de la conception	Chargée de TD Responsable module et CM	24 30	15-20 70	2019- 2021-2022
3ème année	M2	Filière Conception industrielle de systèmes innovants Atelier	Chargée de TD	15	15-20	2016-2020
3ème année	M2	Option Génie Industriel E12 Conception Durable - TD Eco- innovation et soutenance projet	Chargée de TD	3	15-20	2016-2020
3ème année	M2	Master Class Design Science	Co-responsable	9	30	2020-2022

3ème année	M2	Ingénierie de la conception - Cours Conception centrée usages et prototypage, soutenance projet	Chargée de TD Co-responsable	6 9	15-20 40	2016-2019 2020
Master	M2	Mastère Ingénierie de la Conception- Mémoires thématiques	Chargée de TD	12	1 projet par ét., 2 à 3 par an	2017-2022
Doctorat	D	Cours doctoral EcoDesign of Complex Systems – Eco-innovation	Chargée de CM/TD	6	15-20	2016-2022

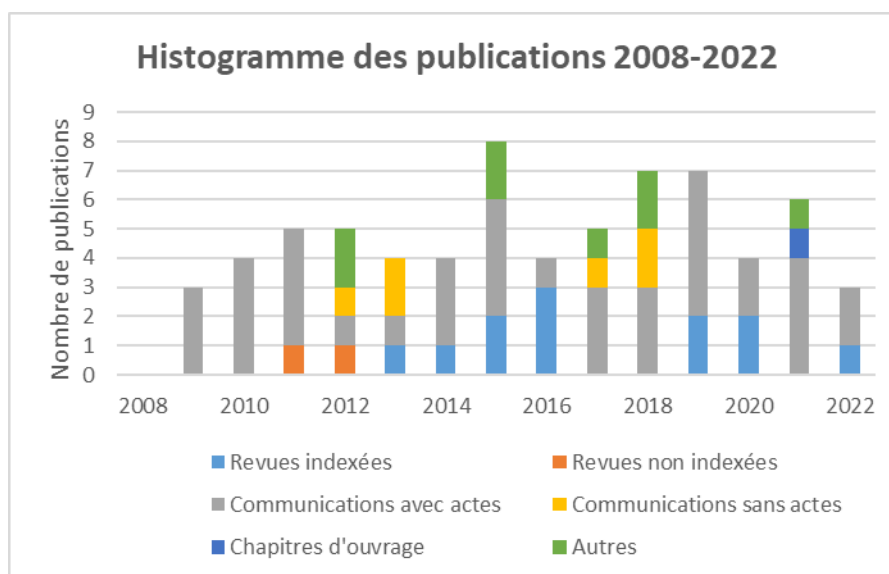
Autres enseignements externes à CentraleSupélec

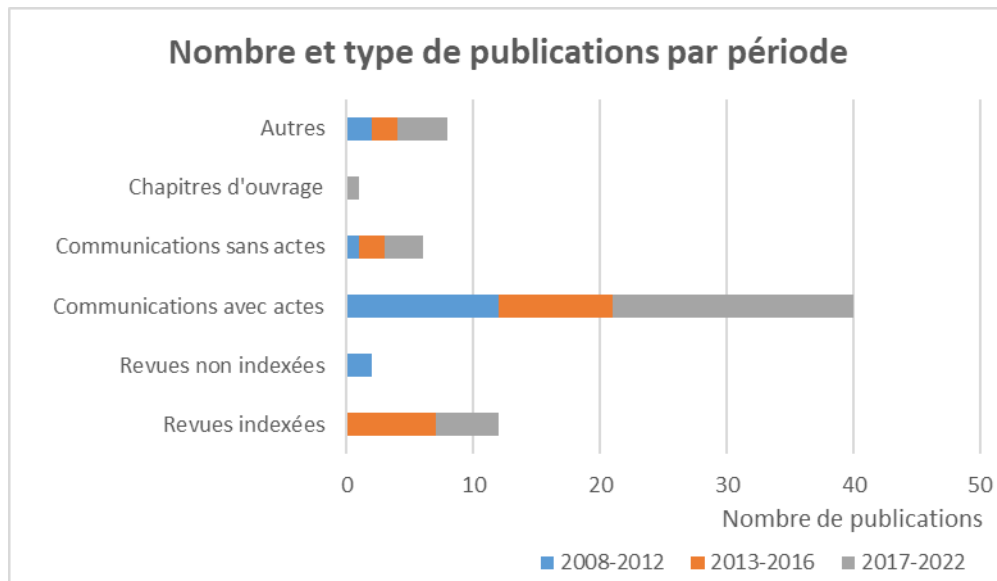
Etablissement	Niveau	Intitulé et descriptif sommaire	Responsabilité	Horaire HETD /an	Nombre étudiants	Période
ENSCI Les ateliers	L1-L3	Intensif Eco-conception - Eco-innovation	Chargée de TD	4 à 8	15-1 à 2 sessions/an	2013-2021
UTC	L3-M2	Séminaire Développement Durable et Technologie - Interventions Eco-innovation et Innovation pour une mobilité durable	Intervention CM	6	25	2016-2020
AgroParistech	M2	Module Méthodologie d'Innovation en Conception de produits alimentaires - Atelier Design thinking	Chargée de TD	3	15	2019

Publications

Vision synthétique (au 1/05/22)

12 articles dans des revues indexées (et 1 articles soumis), 40 communications internationales et nationales avec actes (dont 8 nationales), un chapitre d'ouvrage.





Articles de revue en cours de soumission

Gall T., Vallet F., Yannou B. How to visualise Future Studies concepts : A Revision of the Futures Cone. *Soumis à Futures (08/03/22)*.

Articles publiés dans des revues indexées dans une base de données

Un P., Adélé S., Vallet F. & Burkhardt, J-M. (2022). How Does My Train Line Run? Elicitation of Six Information-Seeking Profiles of Regular Suburban Train Users. *Sustainability*, 14(5):2665. <https://doi.org/10.3390/su14052665>

Al Maghraoui, O., Vosooghi, R., Mourad, A., Kamel, J., Puchinger, J., Vallet, F., & Yannou, B. (2020). Shared Autonomous Vehicle Services and User Taste Variations: Survey and Model Applications. *Transportation Research Procedia*, 47, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.066>

Vallet, F., Puchinger, J., Millionig, A., Lamé, G., & Nicolai, I. (2020). Tangible futures: Combining scenario thinking and personas - A pilot study on urban mobility. *Futures*, 117(January), 102513. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102513>

Al Maghraoui, O., Vallet, F., Puchinger, J., & Yannou, B. (2019). Stimulating usage problem generation: An urban mobility case study. *Design Studies*, 64(2006), 27–63. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.07.001>

Al Maghraoui, O., Vallet, F., Puchinger, J., & Yannou, B. (2019). Modeling traveler experience for designing urban mobility systems. *Design Science*, 5, 1–24. <https://doi.org/10.1017/dsj.2019.6>

Andriankaja, H., Vallet, F., Le Duigou, J., & Eynard, B. (2015). A method to ecodesign structural parts in the transport sector based on product life cycle management. *Journal of Cleaner Production*, 94, 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.026>

Le Duigou, J., Gulbrandsen-Dahl, S., Vallet, F., Söderberg, R., Eynard, B., & Perry, N. (2016). Optimization and lifecycle engineering for design and manufacture of recycled aluminium parts. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65(1), 149–152. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.111>

Penciu, D., Le Duigou, J., Daaboul, J., Vallet, F., & Eynard, B. (2016). Product life cycle management approach for integration of engineering design and life cycle engineering. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 30(4), 379–389. <https://doi.org/10.1017/S0890060416000366>

Tyl, B., Legardeur, J., Millet, D., & Vallet, F. (2014). A comparative study of ideation mechanisms used in eco-innovation tools. *Journal of Engineering Design*, 25(10–12), 325–345. <https://doi.org/10.1080/09544828.2014.992772>

Tyl, B., Vallet, F., Bocken, N. M. P., & Real, M. (2015). The integration of a stakeholder perspective into the front end of eco-innovation: A practical approach. *Journal of Cleaner Production*, 108, 543–557. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.145>

Vallet, F., Eynard, B., Millet, D., Mahut, S. G., Tyl, B., & Bertoluci, G. (2013). Using eco-design tools: An overview of experts' practices. *Design Studies*, 34(3), 345–377. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2012.10.001>.
Highly cited paper 2017

Articles dans des revues non indexées dans une base de données

Vallet F., Eynard B., Millet D., Glatard Mahut S., Tyl B., Messaadia M. (2012). Partage de bonnes pratiques en éco-conception : comparatif de mise en œuvre d'outils d'évaluation environnementale. En ligne, <http://www.virtual-plm.com/fr/actualites/publications>.

Messaadia M., Vallet F., Eynard B., A Systems Engineering Framework based on Eco-Design (2011), IncoSE Insight, vol. 14, n° 4, pp. 34-35, http://www.panetto.fr/INSIGHT_vol-14-issue-4.pdf

Conférences avec actes et comité de lecture

Vallet, F., Hörl, S., & Gall, T. (2022.). Matching synthetic populations with personas : A test application for urban mobility. *Proceedings of the 17th International Design Conference, May 23-266*.

Baltazar, J., Vallet, F., & Garcia, J. (2022). A model for long-distance mobility with battery electric vehicles: a multi-perspective analysis. *Proceedings of the 32nd CIRP Design Conference, March 28-30*.

Gall, T., Vallet, F., Yannou, B. (2021). Co-creating Sustainable Urban Futures: An initial Taxonomy of Methods and Tools. 57th ISOCARP World Planning Congress, 8-11 November, Doha, Qatar.

Gall, T., Vallet, F., Douzou, S., & Yannou, B. (2021). Anticipate, Adjust, Adapt: Managing Sustainability Transitions through multiple Scenarios of Urban Mobility Futures. European Transport Conference 2021, Association for European Transport, Sept. 2021, Online, United Kingdom. (hal-03351857)

Vallet, F., Khouadjia, M., Amrani, A., & Pouzet, J. (2021). Designing a data visualisation and analysis tool for supporting decision-making with public transport network. *Proceedings of the Design Society*, 1, 1093–1102. <https://doi.org/DOI: 10.1017/pds.2021.109>

Gall, T., Vallet, F., Douzou, S., & Yannou, B. (2021). Re-defining the system boundaries of human-centred design. *Proceedings of the Design Society*, 1, 2521–2530. <https://doi.org/DOI: 10.1017/pds.2021.513>. **Reviewer's favourite.**

Ma, Y., Vallet, F., Cluzel, F., & Yannou, B. (2020). A Methodological Framework for Making the Transition From Traditional Innovation Teaching Towards Serious Games. *ASME 2020 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, August 17–19*. <https://doi.org/10.1115/DETC2020-22754>

Vallet, F., & Tyl, B. (2020). Implementation of an eco-innovation toolbox to stimulate design teams: A case of interior design. *Procedia CIRP*, 90, 334–338. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.105>

Cluzel, F., Vallet, F., Leroy, Y., & Rebours, P. (2020). Reflecting on the environmental impact of research activities: An exploratory study. *Procedia CIRP*, 90, 754–758. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.129>

Vallet, F., & Tyl, B. (2019). A framework to evaluate eco-innovative concepts. *16ème Colloque National Du GIS S.Mart, Les Karellis, 3-5 Avril, 73*, 1–6. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02101378>

- Kong, P., Vallet, F., Al Maghraoui, O., Cornet, H., Frenkler, F., & Maghraoui, A. (2019). *Seeking emotions in mobility experience elicitation: A Singapore-France comparison*. *International Association of Societies of Design Research Conference. Figure 1*, 1–10. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02381950>
- Cornet, H., Kong, P., Vallet, F., Lane, A., & Theng, Y. L. (2019). Designing Sustainable Mobility for People at Risk of Social Isolation – Two Cultural Perspectives from Singapore and France. *LeNS Conference 3 - the Learning Network on Sustainability*.
- Jean, C., Cluzel, F., Vallet, F., & Yannou, B. (2019). Evaluating innovative projects for and with elderly people: Insights from participatory design contests. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED 2019*, 3861–3870. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.393>
- Ma, Y., Vallet, F., Cluzel, F., & Yannou, B. (2019). Analysing the relevance of serious game elements for effectively teaching innovation processes. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED 2019*, 439–448. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.47>
- Pham, C.C., Vallet, F., Tyl, B., Pialot, O., & Eynard, B. (2018). How the ALIENNOR platform supports the identification of Eco-Ideation Stimulation Mechanisms during an eco-ideation phase. In J. Chiabert, Paulo; Bouras, Abdelaziz ; Noël, Frédéric; Ríos (Ed.), *Lifecycle Management to Support Industry 4.0, 15th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2018, Turin, Italy, July 2-4* (pp. 542–552). Springer.
- Tyl, B., Vallet, F., & Pialot, O. (2018). How to select appropriate stimulation mechanisms to perform an eco-ideation session? *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, 6*, 2763–2774. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0458>
- Pham, C. C., Vallet, F., Tyl, B., Pialot, O., & Eynard, B. (2018). Toward a supportive eco-innovation platform based on eco-ideation stimulation meso-mechanisms and eco-innovation cases. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, 6*, 2705–2714. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0454>
- Vallet, F., Tyl, B., Pialot, O., & Millet, D. (2017). Is this system eco-innovative? A case-based workshop. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 1(DS87-1)*, 111–120.
- Al Maghraoui, O., Vallet, F., Puchinger, J., & Yannou, B. (2017). Framing key concepts to design a human centered urban mobility system. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 3(DS87-3)*.
- Al Maghraoui, O., Vallet, F., Puchinger, J., & Yannou, B. (2017). Un cadre conceptuel pour concevoir le système de mobilité urbaine. *12è Congrès International de Génie Industriel CIGI 2017, Compiègne, France, 3-5 Mai*.
- Tyl, B., Vallet, F., Pialot, O., Millet, D., Le Duigou, J., & Graves, G. (2016). The ESM approach: 8 mechanisms to efficiently support eco-ideation. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, DS 84*, 1165–1174.
- Leroy, Y., Tyl, B., Vallet, F., & Cluzel, F. (2015). Environmental evaluation of ideas in early phases: A challenging issue for design teams. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 1(DS 80-01)*, 1–10.
- Michelin, F., Reyes, T., Vallet, F., Eynard, B., & Duong, V.-L. (2015). Improving the management of environmental requirements in clients/suppliers co-design process. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 1(DS 80-01)*, 1–12. **Reviewer's favourite.**
- Tyl, B., Leroy, Y., & Cluzel, F. (2015). Evaluation environnementale des idées en phase amont : un défi pour les équipes de conception. *14e Colloque National AIP Primeca, La Plagne, 31 Mars-2 Avril, 73*, 1–8.
- Jollivet, P., & Vallet, F. (2015). Cette université est-elle durable ? Contribution des sciences des réseaux à une cartographie du complexe. *Projectics/Proyética/Projectique*, 11–21. <https://doi.org/doi:10.3917/proj.014.0011>

- Vallet, F., Tyl, B., Millet, D., & Eynard, B. (2014). Proposal of an eco-design framework based on a design education perspective. *21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Trondheim-Norway, June 18-20. Procedia CIRP, 15*, 349–354. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.011>
- Cluzel, F., Vallet, F., Tyl, B., Bertoluci, G., & Leroy, Y. (2014). Eco-design vs eco-innovation : an Industrial Survey. *Proceedings of the 13th International Design Conference DESIGN 2014*, 1501–1510.
- Michelin, F., Vallet, F., Reyes, T., Eynard, B., & Duong, V. L. (2014). Integration of environmental criteria in the co-design process: Case study of the client/supplier relationship in the French mechanical industry. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, 2014*, 1591–1600.
- Vallet, F., Tyl, B., Millet, D., & Eynard, B. (2013). A method to select best nuggets from eco-innovation sessions. In P. J. Bartolo, Helena; Da Silva Bartolo (Ed.), *Green Design, Materials and Manufacturing Processes, 2nd International Conference on Sustainable Intelligent Manufacturing, Lisbon, June 26-29* (pp. 647–653). CRC Press.
- Vallet, F., Millet, D., & Eynard, B. (2012). Understanding Needs in Eco-Design Learning for Novice Designers. In A. Chakrabarti (Ed.), *CIRP Design 2012 Sustainable Product Development, 22nd CIRP International Design Conference* (pp. 409–418). Springer-Verlag.
- Vallet, F., Millet, D., & Eynard, B. (2011). Requirements and Features Clarifying for Eco-Design Tools. In A. Bernard (Ed.), *Global Product Development Proceedings of the 20th CIRP Design Conference, Ecole Centrale de Nantes, Nantes, France, 19th-21st April 2010* (pp. 127–135). Springer.
- Vallet, F., Millet, D., & Eynard, B. (2011). Requirements and Features Clarifying for eco-design tools. In A. Bernard (Ed.), *Global Product Development Proceedings of the 20th CIRP Design Conference, Ecole Centrale de Nantes, Nantes, France, 19th-21st April 2010* (pp. 127–137). Springer-Verlag.
- Vallet, F., Kendira, A., Millet, D., & Eynard, B. (2011). Conception versus éco-conception. *12ème Colloque National AIP PRIMECA, Le Mont Dore, 29 Mars-1er Avril*.
- Vallet, F., Eynard, B., & Millet, D. (2011). Requirements and features clarifying for eco-design tools. *Global Product Development - Proceedings of the 20th CIRP Design Conference, 1*, 127–135. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-15973-2-13>
- Messaadia, M., Vallet, F., & Eynard, B. (2010). Sustainability as Requirement in System Engineering Approach. In M. Garetti, Marco; Taisch, Marco; Cavalieri, Sergio; Terzi, Sergio; Tucci (Ed.), *APMS 2010 International Conference Advances in Production Management Systems, Cernobbio, Italy, October 11-13*.
- Tyl, B., Legardeur, J., Millet, D., & Vallet, F. (2010). Stimulate creative ideas generation for eco-innovation: an experimentation to compare eco-design and creativity tools. *International Conference on Integrated Design and Manufacture in Mechanical Engineering - Virtual Concept – IDMME-VC10, Bordeaux, October 20-22*.
- Vallet, F., Eynard, B., & Millet, D. (2010). Mise en œuvre des outils d'éco-conception : quel bénéfice pour les concepteurs? *Colloque National CONFERE 2010, Sousse, Tunisie, 1er-2 Juillet*.
- Vallet, F., Messaadia, M., & Eynard, B. (2010). Sustainability Requirements Deployment in Product-Process Eco-design. In B. Vigtil, Astrid; Rolstadås, Asbjørn; Moseng (Ed.), *Towards Sustainable Manufacturing: Proceedings from the IMS Summer School on Sustainable manufacturing, 26 - 28 May 2010, ETH Zürich, Switzerland* (pp. 143–158). Tapir Akademisk Forlag.
- Alberti, P., & Vallet, F. (2009). De la carte mentale à la créativité de produits : des exemples industriels internationaux. *6ème Conférence Internationale Conception et Production Intégrées - CPI'09, Fès, Maroc, 19-21 Octobre*.
- Vallet, F., Eynard, B., & Millet, D. (2009). Eléments de réflexion pour une évolution des outils d'éco-conception. *11ème Colloque National AIP PRIMECA, La Plagne, 22-24 Avril, 1*, 1–10.

Vallet, F., Millet, D., & Eynard, B. (2009). Investigating the use of eco-design guides: presentation of two case studies. In M. Norell Bergendahl (Ed.), *17th International Conference on Engineering Design - ICED'09, Stanford University, Stanford, California, USA August 24-27*. Design Society.

Chapitres d'ouvrage

Al Maghraoui, O., Vallet, F., & Puchinger, J. (2021). Recommendations for a User-Centered Design of Mobility Solutions. In S. Mira-Bonnardel, F. Antonialli, & D. Attias (Eds.), *The Robomobility Revolution of Urban Public Transport - A Social Sciences Perspective*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72976-9_6.

Communications dans des congrès sans actes diffusés

Tyl, B., Vallet, F., Baldacchino, C., Pialot, O., Pham, C. C., & Eynard, B. (2018). Development of an Eco-Ideation Toolbox To Support the Generation of Eco-Innovative Ideas. *8ème Congrès AvniR, 7-8 Novembre, Villeneuve d'Ascq*, 1–6.

Vallet, F., Puchinger, J., & Millonig, A. (2018). Utiliser des personas pour raconter la mobilité en 2030. *Rencontres Francophones Transport-Mobilité (RFTM), 6- 8 Juin, Lyon, France*.

Vallet, F., Puchinger, J., & Millonig, A. (2017). Introducing Individual Travellers in Future Mobility Scenarios. *Mobile Utopia Conference, November 1-4, Lancaster, United Kingdom*.

Michelin, F., Reyes, T., Vallet, F., Eynard, B., & Duong, V.-L. (2013). Vers une intégration de la dimension environnementale dans les processus de conception externalisés. *21ème Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, 26-30 Août*.

Michelin, F., Vallet, F., Eynard, B., Reyes, T., & Duong, V.-L. (2013). Towards an integration of environmental criteria in the OEM/subcontractors relationship. *QUALITA' 2013, 10ème Congrès International Pluridisciplinaire Qualité et Sécurité de Fonctionnement, Compiègne, 19-22 Mars*.

Morel, S., Vallet, F., Querini, F.; & Millet, D. (2012). Implement collaborative tools to improve the selection of relevant impact assessment indicators for electric vehicle. *2nd [AvniR] LCA Conference, 6-7 November, Lille, France*.

Autres communications – Vulgarisation scientifique, colloques et journées d'étude

Ben Hamida, A., & Vallet, F. (2018, November 21). *Les approches d'idéation centrées sur les usages*. <https://blog.irt-systemx.fr/les-approches-dideation-centrees-sur-les-usages/>.

Al Maghraoui O., Vallet F., Puchinger J. & Yannou B. Chaire Anthropolis- Une vision holistique de la mobilité urbaine. In *Les nouvelles mobilités à la lumière des sciences humaines et sociales : Workshop (CEA Saclay, 13 juin 2018)*, Dir. Agator J.M. ; Devezeaux de Lavergne J. G., pp 25-30, MSH Paris-Saclay, 2018, ISBN 978-2-490369-02-7.

Tyl, B., Pialot, O., Vallet, F., Millet, D. (2017). Éco-innover à l'aide de méso Mécanismes de Stimulation d'Éco-idéation (MSE), *Techniques de l'Ingénieur, AG6785*.

Cluzel F., Tyl B., Vallet F. (Dir.). *The challenges of eco-innovation - From eco-ideation toward sustainable business models, EcoSD Annual Workshop 2015, 2016*. ISBN : 9782356714015.

Vallet F. « Eco-concevoir en tant que designer », in *Déployer l'innovation : méthodes, outils, pilotage et cas d'étude*, Yannou B., Cluzel F. (Ed.), Editions Techniques de l'Ingénieur, Paris, France, 2015, ISBN 978-2-85059-129-7.

Vallet F. « Faire évoluer les habitudes des consommateurs grâce au design », in Déployer l'innovation : méthodes, outils, pilotage et cas d'étude, Yannou B., Cluzel F. (Ed.), Editions Techniques de l'Ingénieur, Paris, France, 2015, ISBN 978-2-85059-129-7.

Vallet F. « Intégrer les parties prenantes en éco-innovation », in Déployer l'innovation : méthodes, outils, pilotage et cas d'étude, Yannou B., Cluzel F. (Ed.), Editions Techniques de l'Ingénieur, Paris, France, 2015, ISBN 978-2-85059-129-7.

1.3 Prologue : parcours de recherche

Bien avant de devenir enseignante en mécanique dans l'enseignement supérieur, j'ai souhaité devenir designer industriel. Je m'intéressais très tôt aux grandes figures associées à l'histoire du design : Charlotte Perriand, Raymond Loewy, Jean Prouvé, Roger Tallon, Ettore Sottsass... J'étais fascinée par Léonard de Vinci et l'alliance prolifique entre art et science dont il avait fait preuve.

Après 13 années d'enseignement et aux prémices de mon entrée dans le monde de la recherche, il y a aussi eu la conviction profonde que les ingénieurs généralistes dont j'assurais la formation devaient penser en cycle de vie et naturellement intégrer la dimension environnementale dans toute action de conception de produit ou service. Cette évidence s'était imposée quand j'avais entrepris de compléter ma formation initiale d'agrégée de Mécanique par un diplôme de 3ème cycle en conception de produits et design industriel à l'Université de Technologie de Compiègne au début des années 2000. Je souhaitais m'intéresser aux usages, au point de vue des usagers, et acquérir les fondements de la pratique artistique du designer industriel (représentation, maquettage et créativité). Le stage de fin de diplôme à l'agence Pineau & Le Porcher m'a permis de plonger avec enthousiasme au cœur de cette pratique sous la direction bienveillante de Jean-Yves Le Porcher et Alain Pineau. Au-delà de ces attentes, j'ai eu la grande chance de suivre des cours d'éco-conception- précurseurs au plan national- dispensés par T. Kazazian de l'agence O2 France. La lecture de son ouvrage « L'Age des choses légères » deviendrait l'une des premières inspirations d'un sujet de thèse que j'ai pu construire et commencer à explorer en 2008, sous la direction de Benoît Eynard et Dominique Millet en étant rattachée au Laboratoire Roberval de l'Université de Technologie de Compiègne (que j'avais rejointe en 2003). Pour accompagner ce projet de thèse, j'ai également eu la chance de participer aux premiers séminaires du réseau EcoSD (Eco-conception de Systèmes Durables) à partir de 2008, puis d'animer de nombreux ateliers dans ce cadre avec des collègues académiques et industriels. Le réseau a été un très fort soutien scientifique et un lieu d'échanges privilégiés et riches avec l'équipe des premiers doctorants EcoSD. C'était aussi un lieu d'expérimentation pour ma thèse qui, traitant de la caractérisation de l'expertise de l'éco-concepteur, n'était pas reliée à un contexte industriel et devait rester en complète synergie avec mes activités d'enseignement (que je poursuivais à 50% de mon temps d'agrégée grâce à une décharge pour recherche).

Au terme des quatre années de thèse, après 2012, j'ai pu approfondir la recherche en éco-conception au sein de Roberval au travers du projet européen EUFP7 SupLight et de l'encadrement d'une thèse en éco-conception en collaboration avec le Cetim. Au plan des enseignements à l'UTC, j'ai recentré mes activités sur : l'éco-conception, en créant le module DD02 Eco-conception et Analyse de Cycle de vie (3 ECTS en 2013), qui est toujours enseignée à ce jour ; le développement durable pour un module au format original de séminaire et projet, DD01 Développement Durable et Technologie. Ce dernier module m'a convaincue de l'importance de la notion de partie prenante en conception soutenable. Introduction à la Pensée Complexe d'E. Morin est alors devenu l'un de mes livres de référence pour penser la complexité et les systèmes complexes avec un regard soutenable. Depuis, je garde constamment à l'esprit les notions-clés que sont les dialogiques, la récursivité, le principe hologrammatique¹. En 2013, j'ai rencontré Laurent Greslin de l'ENSCI les Ateliers, qui animait alors le premier atelier intensif d'éco-conception pour les étudiants-designers de cette école, et m'a accordé sa confiance pour prendre en charge une séance d'introduction aux concepts d'éco-conception et d'innovation. Je poursuis cet engagement deux fois par an depuis lors, en m'appuyant sur des cas concrets comme prétexte pour engager des débats toujours passionnants et animés à chaque édition. J'ai également poursuivi mon investissement dans les activités du réseau EcoSD, et notamment les collaborations en éco-innovation. Cela a abouti au montage et à la réalisation du projet ANR ALIENNOR entre APESA, Roberval UTC et SEATECH. Ce projet permis d'affirmer une expertise de l'équipe en éco-innovation, à la fois en France dans le réseau EcoSD et dans les sociétés savantes comme le Special Interest Group Sustainability de la Design Society ou enfin dans la communauté CIRP Life Cycle Engineering.

En 2016, j'ai eu la formidable opportunité de rejoindre l'équipe de la chaire Anthropolis-projet HCU, chaire d'enseignement et de recherche co-portée par IRT SystemX et le Laboratoire LGI de CentraleSupélec, dont je m'étais rapprochée au cours de plusieurs projets collaboratifs EcoSD entre 2013 et 2016. Aux côtés de Jakob Puchinger, porteur de la chaire depuis 2015, j'ai été plongée au cœur d'un nouveau champ applicatif pour l'ingénierie de conception, très porteur au plan de la recherche et pour la société : la mobilité urbaine. Tout au long de la première saison de la chaire (2016-2019), j'ai eu à cœur de monter en compétence sur les questions de mobilité, nourrie par les résultats de la recherche en transport ou en sociologie

¹ Dans Introduction à la pensée complexe (p. 99), Edgar Morin définit (1) une dialogique comme une relation entre deux principes à la fois complémentaires et antagonistes ; (2) la récursivité ou processus récursif comme « processus où les produits et les effets sont en même temps causes et producteurs de ce qui les produit » ; (3) le principe hologrammatique selon lequel « la partie est dans le tout, mais le tout est dans la partie ».

urbaine. Au travers de l'encadrement de thèse de O. Al Maghraoui, j'ai pu participer à la définition des modèles et des solutions pour la conception et l'innovation centrée usager, vers une mobilité urbaine qui soit soutenable. J'ai ainsi bénéficié d'un environnement particulièrement propice au développement de mes travaux, étant rattachée à deux communautés très complémentaires à l'IRT SystemX et au LGI. A l'IRT, institut spécialisé dans l'ingénierie numérique, la chaire est rattachée au programme Territoires Intelligents et au thème Mobilité. Les nombreux projets qui sont menés sur ce thème recourent principalement à des approches de data science et sont sources d'inspiration pour la chaire. Réciproquement, de par son statut de projet de recherche fondamentale pour l'IRT, la chaire alimente les autres projets de l'écosystème en méthodologies et stratégies centrées usager, méthodologies qui sont traditionnellement peu mises en œuvre dans les équipes de R&D. Dès 2018, j'ai activement participé au renouvellement de la chaire (dont la deuxième saison a été initiée fin 2019) au travers de plusieurs ateliers de cadrage qui ont fait émerger trois thèmes, dont le thème Mobilité Future sur lequel je suis spécialement investie.

Le rattachement au LGI, dirigé par Bernard Yannou depuis 2015, a affirmé la filiation de mes travaux au génie industriel, dont les cas d'application sont aujourd'hui des systèmes complexes après avoir été des produits lors de ma thèse et lors du projet européen SuPLight. Mes activités de recherche ont pleinement trouvé leur place dans l'équipe Ingénierie de la Conception sur les volets innovation et conception durable, ainsi qu'au sein des thèmes Mobilité et Economie Circulaire qui sont transversaux aux équipes. Cette structure est propice à des travaux communs que j'ai commencé à entreprendre avec les collègues de l'équipe Economie Durable, en travaillant notamment sur la mobilité électrique. J'ai enfin la chance de pouvoir continuer à m'enrichir au contact des étudiants-ingénieurs et étudiants de master ISC (Ingénierie des Systèmes Complexes) de l'Université Paris-Saclay, dans une dynamique recherche-enseignement constante et en bonne adéquation avec les activités de chaire. Dans le cadre du cursus unifié Centrale+Supélec, je suis ainsi engagée sur les enseignements d'ingénierie de la conception, d'innovation radicale, de conception durable. Depuis 2016, nous avons pu accompagner quatre projets d'étudiants en lien avec la mobilité partagée.

Ce mémoire prend forme après plus de deux années de réflexion, à chercher le fil rouge entre mes activités de recherche et d'enseignement depuis 2008. Cette thèse m'apparaît comme un défi narratif qui doit mettre en valeur des contributions scientifiques en étant simple, intelligible tout en transmettant un point de vue personnel et singulier. Ce point de vue s'est forgé au fil du temps et de multiples lectures, dont celle des cinq ouvrages ci-dessous (Figure 2) auxquels je

ferai des références répétées au cours du manuscrit. C'est enfin une ode au temps long, à la confiance et à la tranquillité, caractères essentiels pour mener à bien la recherche à mon sens et dont j'ai eu la grande chance de bénéficier depuis quelques années au sein de la chaire Anthropolis.

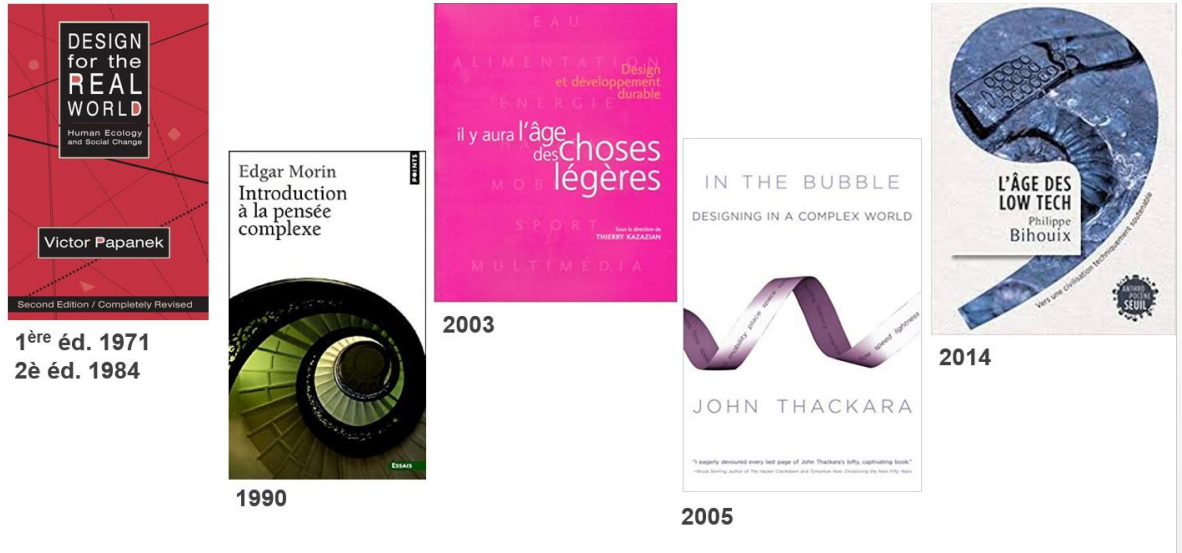


Figure 2 : Cinq ouvrages de référence autour de conception, soutenabilité et complexité

1.4 Positionnement de mes activités d'enseignement et de recherche

Dans cette partie, je reviendrai sur la spécificité de mon parcours académique, de professeure agrégée à plein temps (dès 1994) à enseignante-chercheuse détachée auprès de l'IRT SystemX depuis 2016. Comme indiqué sur la Figure 3, les trois périodes de mon parcours sont associées à des contenus et volumes d'enseignement de différentes natures. Je clarifie ci-après ces contenus et comment ceux-ci se sont articulés avec mes activités de recherche à partir de 2008.

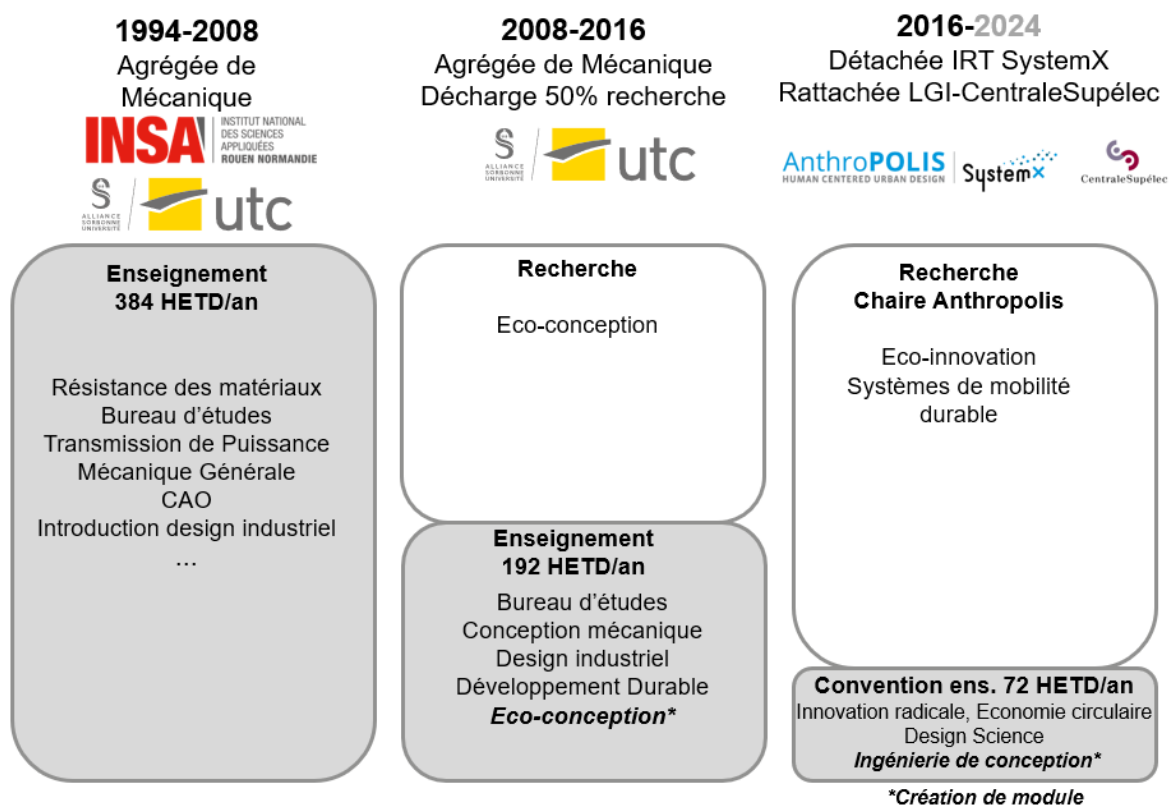


Figure 3 : Evolution de l'équilibre enseignement-recherche de 2008 à ce jour

De 1994 à 2008, j'ai été investie de missions d'enseignement à 100% de mon temps, tout d'abord au Département Mécanique de l'INSA Rouen puis au département Génie des Systèmes Mécaniques de l'Université de Technologie de Compiègne. Les enseignements dont j'ai été en charge étaient alors du domaine de l'**ingénierie mécanique** : Résistance des matériaux, Conception mécanique, Transmission de puissance, Conception Assistée par Ordinateur, Mécanique générale puis Introduction au design industriel en collaboration avec l'équipe de la Filière Ingénierie du Design Industriel de l'UTC. J'ajouterais à cela quelques suivis de projets étudiants alliant conception mécanique et pratique artistique au gré de rencontres avec des

artistes de la région normande, par exemple pour concevoir et construire des robots de théâtre ou machines musicales.

Etant en décharge à 50% partir de 2008, j'ai recentré mes enseignements sur les contenus fondamentaux de la **conception mécanique**, du bureau d'études et du design industriel, tout en intégrant la **vision en cycle de vie** et le développement de projets de **développement durable** (cf. séminaire Développement Durable et Technologie). La création du module d'éco-conception et analyse de cycle de vie (DD02) à l'UTC s'est effectuée dans la continuité applicative de mes résultats de thèse. En collaboration avec mes collègues de l'UTC, j'ai également introduit certains outils d'éco-conception au cœur des modules d'initiation au design et de bureau d'études afin de ne pas isoler l'éco-conception des autres pratiques plus traditionnelles de conception enseignées aux étudiants-ingénieurs.

Depuis mon arrivée au sein de la chaire Anthropolis en 2016, étant détachée auprès de l'IRT SystemX je bénéficie d'une convention de rattachement au LGI qui fait de la recherche mon activité principale et établit ma charge d'enseignement à l'équivalent de deux modules de cours par an. Ces cours sont en lien étroit avec les thématiques de recherche de la chaire. Mon domaine d'enseignement est le **génie industriel** et je me suis plus précisément investie dans l'enseignement de **l'innovation radicale** (méthode Radical Innovation Design®), **l'économie circulaire** et la **conception durable**, la co-création d'un module d'ingénierie de la conception (dans le cadre du nouveau cursus CentraleSupélec) ; et en 2021 la reprise d'un module de **science de la conception**, porte d'entrée vers la mention Design & System Sciences.

Depuis 2017, les résultats du projet ALIENNOR en éco-innovation ont servi de support à des TD et ateliers intensifs de conception durable, plus récemment en collaboration avec des jeunes pousses de l'écosystème CentraleSupélec. Investie dans le suivi d'étudiants de master, j'ai également proposé et co-encadré plusieurs sujets de mémoire thématique et de stage de master 2 pour nourrir les travaux de la chaire Anthropolis, par exemple sur les thèmes : modèles d'affaire en mobilité urbaine, évaluation de la soutenabilité des systèmes de mobilité, indicateurs centrés usagers pour les expérimentations avec des navettes autonomes.

2. Positionnement scientifique des travaux

Au cours de ce chapitre, je présente une synthèse des objets de recherche qui sont centraux et transversaux à l'ensemble de mes travaux, et ce dans deux domaines principaux : (1) l'ingénierie de conception et d'innovation (que je choisis de regrouper ici) ; (2) la conception soutenable ou Design for Sustainability, étant entendu que la dimension environnementale sera représentée de manière prépondérante. Je poserai un ensemble de notions-clés, dont les plus importantes sont les suivantes : produit, système, système socio-technique, processus de conception et phases associées, usagers, usages et activités.

2.1 Ingénierie de Conception et d'Innovation

« Creative methods and rational methods are complementary aspects of a systematic approach to design » (Cross, 2008)

La conception est une activité à la fois **rationnelle, technique et créative** qui peut se caractériser au moyen de multiples modèles. Clarkson a récemment fait une synthèse de 12 modèles de référence en ingénierie de conception (Clarkson, 2018).

Cross propose un modèle symétrique de co-évolution problème-solution, qui nous donne une vision procédurale (étapes), structurelle (problème-solution) et hiérarchique (du problème au sous-problème, de la sous-solution à la solution) (Cross, 2008). De cette approche nous retenons la recherche d'un équilibre problème-solution, qui est l'un de nos ancrages méthodologiques. Si l'hypothèse de décomposition d'un problème en sous-problème semble tout à fait appropriée dans le cas de produits manufacturés qu'illustre Cross dans son ouvrage (machine à coudre, jauge, lampe torche, imprimante...), celle-ci nous apparaît moins adaptée pour traiter de la conception de systèmes socio-techniques.

D'après (Clarkson, 2018), un **système** est un ensemble constitué de personnes, processus, d'infrastructures, d'informations, d'organisations, de services, de logiciels et matériels digitaux. Un système est ainsi constitué d'une multitude d'éléments connectés, et dont le comportement ne peut se résumer à la somme des comportements de ses éléments conformément à la notion de complexité définie par (Morin, 2014) : par exemple un aéroport, un service d'urgence d'un hôpital, un système de partage de vélos électriques, un système de

coopérative énergétique. Clarkson préconise une approche de conception de système qui s'appuie sur quatre piliers : people ; system ; design (au sens des performances attendues) ; risk. (McMahon, Eckert and Fadel, 2021) s'attachent à mettre en contexte l'ingénierie de conception vue comme une science relativement à d'autres domaines scientifiques et à caractériser les problématiques contemporaines de l'ingénierie de conception au-delà de la conception de produits. Je tire parti de cette vision pour positionner les travaux de ce mémoire, en soulignant la proximité que j'envisage avec la science des données, des systèmes mais aussi la sociologie, les arts appliqués et la science des interactions (Figure 4).

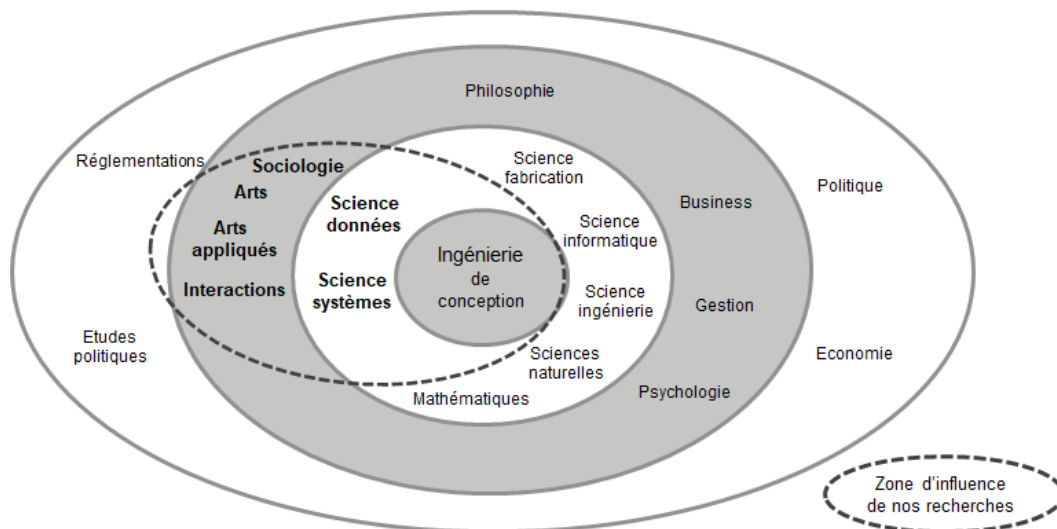


Figure 4 : Positionnement de notre recherche en ingénierie de conception, adapté de (McMahon, Eckert and Fadel, 2021)

Visions centrées sur les usages, introduction de l'humain en conception

La conception centrée humain (human-centred design) s'attache à la conception de produits et services qui soient en cohérence avec les pratiques, besoins et préférences des usagers (Steen, 2011). Plusieurs approches s'y apparentent, comme par exemple la conception participative, l'ethnographie, la conception centrée sur les « lead-users », la conception en contexte (contextual design), la co-conception, la conception empathique (Steen, 2011).

On peut aussi citer le « user-experience design » et l'« activity-centred design » (Norman, 2005).

L'activity-centred design s'intéresse à la manière dont les activités humaines, vues comme une suite ordonnée de tâches, se déroulent avec plus ou moins de succès, aidées par des outils et des technologies. Se pencher sur l'activité et non sur l'utilisateur doit permettre au concepteur d'en comprendre les raisons profondes et de ne pas favoriser un usager (ou un groupe d'utilisateurs) au détriment d'un autre (Norman, 2005).

Ingénierie de l'innovation

Selon la dernière version du manuel d'Oslo révisée en 2018, il existe deux catégories d'innovation qui sont les *innovations de produit*, i.e. un bien ou service qui diffère sensiblement des versions antérieures mises sur le marché par une entreprise et les *innovations de processus d'affaire* (OECD/Eurostat, 2018). Ces innovations sont définies aussi bien pour les secteurs économiques marchands et non-marchands. Ce manuscrit s'intéressera plus particulièrement aux innovations de produit selon cette taxonomie.

Si l'on considère l'innovation comme un processus, plusieurs stratégies peuvent en être le guide. On peut distinguer les stratégies d'innovation centrées sur la mise en œuvre d'une technologie (« technology-driver »), sur la conquête d'un marché (« market reader ») ou sur la satisfaction des attentes des usagers (« need-seeker ») (Yannou, 2015). Nos travaux en lien avec l'innovation seront guidés par la pensée dite « need-seeker ».

Nous nous intéressons plus précisément aux phases très amont d'un processus d'innovation, ou Fuzzy Front End of Innovation (FFEI). Dans cette phase, Koen et al. montrent que cinq activités-clés sont à l'œuvre, et ce de façon non séquentielle : l'identification d'opportunités, l'analyse d'opportunités, la génération d'idées, la sélection d'idées et le développement de concept et de technologie (Koen *et al.*, 2001).

2.2 Design for Sustainability : de la vision produit à la vision système

En préambule, il nous faut prendre un parti sémantique pour traduire le terme *Design for Sustainability* tout au long de ce mémoire. Entre conception *soutenable* et conception *durable*, nous retenons la formule de conception *soutenable*. Bien qu'il s'agisse d'un anglicisme (dérivé de « sustain »), l'expression nous paraît à ce jour suffisamment utilisée, compréhensible et moins ambiguë que conception durable, qui pourrait être limitée à sa seule dimension temporelle.

Notre recherche s'inscrit initialement à l'interface entre le domaine de l'ingénierie de la conception et de l'éco-conception. L'éco-conception, approche normée ISO 14062 définie par (AFNOR, 2003), permet d'intégrer les enjeux environnementaux à la conception de produits et services, dans une pensée en cycle de vie, multicritère et multi-parties prenantes. Nous voyons également l'éco-conception comme une étape méthodologique de transformation de la conception vers une conception soutenable (Karlsson and Luttrupp, 2006).

Contrairement à l'éco-conception, l'éco-innovation n'est pas normée. Il n'existe pas encore de consensus sur les notions-clés et le vocabulaire associé (Xavier et al. 2017). La littérature qui traite de l'éco-innovation s'est développée dans le sillon des travaux initiateurs de Fussler et James qui sont les premiers à définir l'éco-innovation comme suit « *new products and processes that provide customer and business value while significantly decreasing environmental impacts* » (Fussler and James, 1997). Depuis, le champ de l'éco-innovation s'est élargi jusqu'à embrasser le développement de modèles d'affaires pour la durabilité, comme dans le guide Eco-i de l'UNEP (United Nations Environment Programme (UN Environment), 2017). Pour Hofstra et Huisingsh, l'éco-innovation sous-tend un renouveau dans les interactions entre humains et nature et un éloignement par rapport à une logique anthropocentrée : « *inventions, designs and new solutions for fulfilling human's and nature's needs in ecologically effective ways* » (Hofstra and Huisingsh, 2014).

Les modèles d'éco-innovation sont multiples et cela reflète le caractère non unifié des connaissances dans ce domaine. Xavier et al. font l'inventaire de 45 modèles d'éco-innovation sur la période 1995-2015 à travers l'examen de six domaines (dont product design et innovation) (Xavier *et al.*, 2017). En analysant, pour chaque modèle, le domaine de recherche, l'application, la caractérisation, le niveau de détail, les auteurs mettent en évidence plusieurs lacunes : un niveau stratégique de l'éco-innovation non traité ; peu de prise en considération des facteurs structurants pour les entreprises et des aspects sociaux ; un manque de caractérisation normative ; un secteur serviciel encore peu représenté à travers les modèles.

En 2016, Ceschin and Gaziulusoy ont entrepris de mettre en regard l'ensemble des approches de conception soutenable au moyen d'un « Design for Sustainability framework » largement partagé dans la communauté depuis lors (Ceschin and Gaziulusoy, 2016). Ils ont ainsi mis en évidence l'apparition historique des diverses approches (dont l'éco-conception) suivant un axe horizontal qui décrit le niveau systémique et un axe vertical qui va de la prédominance technique au registre socio-technique et sociétal. C'est également une tendance d'évolution de nos travaux en lien avec la soutenabilité, comme nous l'exposerons dans les parties 3, 4 et 5. Alors que l'éco-conception prend pour objet d'étude le produit ou le service, l'éco-innovation (apparentée ici au PSS design et spatio-social innovation pour ces auteurs) s'intéresse plus volontiers à des systèmes produits services (i.e. produit tangible, service dit « intangible » et modèle d'affaire associé) teintés d'utilité sociale. En comparaison, l'approche socio-technique recherche des voies de changement radical dans la manière dont les besoins sociétaux

(alimentation, mobilité, accès à l'énergie, habitat...) sont satisfaits (Ceschin and Gaziulusoy, 2016).

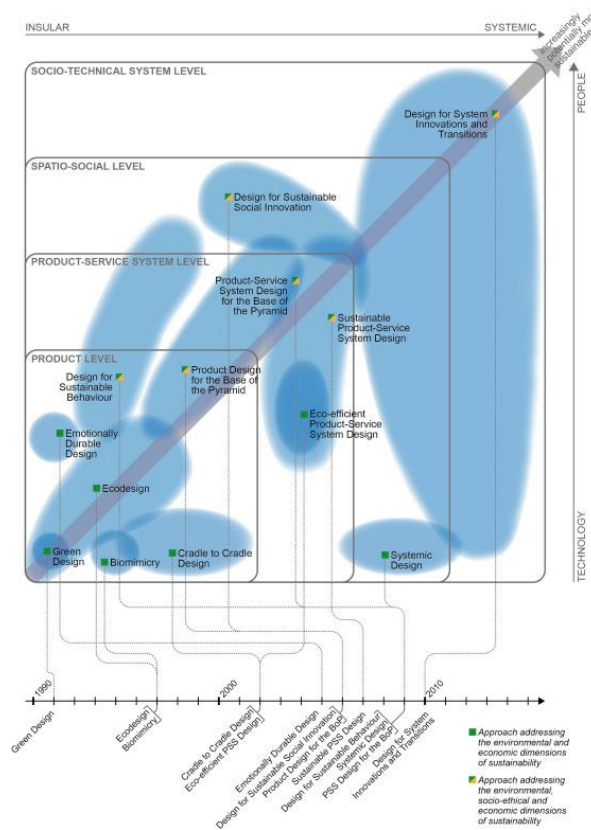


Figure 5 : Design for Sustainability framework, source (Ceschin and Gaziulusoy, 2016)

Il est enfin utile de faire mention du « Multi-level design model » (Joore and Brezet, 2015) qui reprend l'idée de quatre niveaux systémiques enchâssés pour la conception de transition : produit-technologie, produit-service, système socio-technique et système sociétal. Le second axe descriptif est constitué de quatre étapes de conception simplifiée : Réflexion (définition du problème) ; Analyse ; Synthèse ; Expérimentation d'une nouvelle solution. Ce modèle sera utile pour positionner nos contributions passées et à venir.

On peut à présent clarifier la notion de *système socio-technique* dans une vision de transition telle que présentée par (Joore and Brezet, 2015) en référence à (Geels, 2004) et par (Ceschin and Gaziulusoy, 2016). Selon (Geels, 2004), les systèmes socio-techniques sont de larges systèmes complexes qui remplissent une fonction définie au cœur de la société : alimentation, transport, communication ... Ces systèmes sont composés de multiples éléments interconnectés et peuvent continuer de fonctionner en l'absence d'un de ces éléments. Par éléments, on entend ici : les technologies, les produits et services, les modèles d'affaire, la connaissance, les pratiques sociales, la culture, la réglementation, les infrastructures. Une ville prise pour partie

ou dans son ensemble est un exemple représentatif de système socio-technique incluant notamment une couche technologique, une culture locale, des pratiques sociale et un mode de gouvernance (Ceschin and Gaziulusoy, 2016). C'est également le cas d'un système de mobilité, pris pour exemple illustratif par (Joore and Brezet, 2015) et objet de nos recherches actuelles.

Pour caractériser des systèmes socio-techniques ayant vocation à être soutenables, quels sont les indicateurs de progrès à adopter par des concepteurs ?

A ce stade, deux cadres de pensée doivent être mentionnés : la soutenabilité dite « faible » ou « forte » issues de réflexions en économie. La nature est vue comme un capital naturel, qui peut être substituée par un capital humain (soutenabilité faible) ou est au contraire non substituable ni compensable (soutenabilité forte, mise en avant dans les points de vue pro-environnement). Ces cadres conditionnent notamment la perception de la technologie et de ses effets sur le bien-être planétaire, comme nous le discuterons dans notre projet de recherche.

Indicateurs environnementaux, indicateurs de soutenabilité et limites planétaires

Pour qualifier les progrès à effectuer vers la mise en œuvre de systèmes soutenables, l'une des voies est l'utilisation d'indicateurs de soutenabilité (sustainability indicators) qui sont discutés par (Randall, 2021) au regard de la notion de limites planétaires. Alors que les indicateurs de soutenabilité renvoient à la notion de *valeur*, les limites planétaires s'apparentent à un *impératif* cohérent avec le principe de précaution.

Toujours d'après Randall (2021), des difficultés méthodologiques et opérationnelles surviennent avec l'apparition de très nombreux indicateurs de soutenabilité, par exemple : comment les construire (comme rapport, grandeur ordinale ou cardinale) ? Avec qui les construire ? Combien d'indicateurs sont nécessaires ? Comment les adapter sectoriellement ? Quel est leur périmètre d'application (individu, entreprise, secteur, pays, planète) ?

L'article de (Randall, 2021) annonce l'exploration de la notion de limites planétaires qui sont par essence globales et exprimées sous forme de neuf impératifs pour assurer l'intégrité de la biosphère : le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, la perturbation des cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore, les changements d'utilisation des sols, l'acidification des océans, l'utilisation mondiale de l'eau, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, l'augmentation des aérosols dans l'atmosphère, l'introduction d'entités nouvelles dans la biosphère.

Dans l'esprit de la soutenabilité forte, les limites planétaires permettraient donc de moins se disperser sur de multiples dimensions. Cependant comment établir des contributions plus

locales compatibles avec l'enveloppe des limites planétaires ? Autour de ces questions, j'avance l'idée d'un renouvellement du débat des années 90 relatif au choix des indicateurs environnementaux à des fins d'évaluation environnementale.

2.3 **Problématiques de recherche**

Nous avons passé en revue un ensemble de cadres qui permettent de décrire et d'accompagner la conception de systèmes socio-techniques en **conception**, en **innovation** mais aussi en **éco-conception** et en **éco-innovation**, si l'on souhaite mettre la dimension environnementale au premier plan de l'activité du concepteur.

Pour reprendre la logique du Multi-level design model de (Joore and Brezet, 2015), les travaux de recherche que je présente aux chapitres 3, 4 et 5 contribuent aux quatre approches de conception pré-citées : (1) en abordant différents niveaux systémiques pour les systèmes socio-techniques ; (2) en s'intéressant à différentes étapes du processus de conception.

Le premier axe a pour objectif « Favoriser les activités d'éco-conception » (Chapitre 3) et pose deux principales questions.

- Comment caractériser les dimensions, méthodes, activités et outils de l'éco-conception ? (3.1)
- Comment lier évaluation et génération d'idées en éco-conception ? (3.2)

Le second axe s'intitule « Favoriser les activités d'innovation et d'éco-innovation » (Chapitre 4) et s'intéresse aux phases amont des processus d'innovation et d'éco-innovation.

- Comment procéder à une exploration créative de l'espace des solutions permettant de traverser différentes échelles systémiques en éco-innovation ? Comment évaluer le potentiel environnemental de concepts en phase amont d'un processus d'éco-innovation, alors que ceux-ci sont peu détaillés ? (4.1)
- Comment faire un diagnostic amont de l'expérience d'usage dans le cas de systèmes socio-techniques de mobilité en vue d'alimenter des approches d'innovation ? (4.2)
- Quelle approche pour modéliser les futures expériences d'usage, appliquée au cas des systèmes socio-techniques de mobilité ? (4.3).

Le dernier axe, « Favoriser la montée en compétence en ingénierie de conception » (Chapitre 5), se penche sur la mise en place de conditions favorables pour pouvoir monter en compétence lors d'activités d'éco-conception ou d'innovation dans deux situations très différentes.

- En contexte industriel, comment accompagner la montée en compétence environnementale d'un client et de ses fournisseurs selon les spécificités de leur relation ? (5.1)
- En contexte pédagogique, comment concevoir un jeu sérieux pour éduquer des joueurs-apprenants à l'ingénierie de l'innovation ? (5.2).

Avant de développer chaque contribution, je présente ci-après l'ancrage méthodologique adopté au sein des sciences de la conception, ainsi que l'ensemble des études empiriques qui en ont découlé.

2.4 Méthode de recherche

Dans la mouvance de la conception centrée sur les usages, notre approche de recherche est plus précisément centrée sur **l'activité** et son analyse, voir l'activity-centred design (Norman, 2005). Je me suis appuyée sur l'analyse de l'activité dans plusieurs cadres, qu'il s'agisse d'activités de la vie quotidienne (les déplacements des citoyens-voyageurs dans la mobilité urbaine), d'activités de conception particulières (par exemple l'activité d'experts et de novices en éco-conception (Vallet, Eynard, *et al.*, 2013) ou les activités d'innovation conduites avec la méthode Radical Innovation Design[®] (thèse de Yiming Ma).

En second lieu, la méthode de recherche que nous avons déployée suit une **inspiration ethnographique** en conception telle que décrite dans (Dae and Boks, 2015). Tout comme l'ethnographie, l'ethnométhodologie s'attache à décrire des phénomènes de l'intérieur, du point de vue de ceux qui les vivent (Blomberg and Karasti, 2012). Nous nous intéressons plus particulièrement dans nos derniers travaux aux points de convergence entre ethnographie (centrée sur ici et maintenant) et conception participative (tournée vers l'avenir et le changement). En effet, d'après (Blomberg and Karasti, 2012), la combinaison de ces approches semble particulièrement indiquée pour concevoir des systèmes complexes avec une large portée temporelle comme dans les travaux de la chaire Anthropolis.

Trois stratégies sont à l'œuvre dans cette vision (Blomberg and Karasti, 2012) : (1) le prototypage qui permet de véhiculer les idées et alimenter les échanges entre parties prenantes ; (2) la co-réalisation ; (3) les outils de conception ethnographique, comme par exemple les « cultural probes » (Gaver *et al.*, 2004). Les « cultural probes » donnent, par conséquent, accès à des petits témoignages ou traces des choses qui donnent du sens et du plaisir à la vie des personnes. Ceci a par exemple été mobilisé dans (Kong *et al.*, 2019).

Dans l'esprit de l'ethnométhodologie, nous avons ainsi mis en oeuvre : des observations participatives et non participatives, des entretiens, des focus groups, une approche dite *ancrée* en mobilité urbaine (identification d'un modèle de Travel experience dit TXCM, thèse de Ouail Al Maghraoui) pour les intégrer au mieux dans les pratiques de conception innovante.

Je garde à l'esprit que la taille des échantillons pour les observations doit être discutée pour argumenter de la rigueur scientifique des résultats. Nous nous positionnons dans le cadre des '*small scale experiments*' décrites dans (Cash *et al.*, 2012). En effet, pour mener en profondeur un travail d'investigation, il est difficile de multiplier les expérimentations car les ressources humaines, matérielles et temporelles sont limitées. Dans nos travaux, nous avons donc veillé à : renseigner le plus rigoureusement possible les conditions des expérimentations ; caractériser avec soin la population interrogée lors des entretiens ; croiser les données expérimentales complémentaires des données d'observation de l'activité (par exemple analyse des traces de conception tels documents, supports, croquis...). Alors que nos premiers travaux s'étaient appuyés sur une transcription et un codage de l'activité de l'éco-conception, l'approche plus récente de la mobilité urbaine (thèse de Ouail Al Maghraoui) a seulement mis en jeu un codage de problèmes de voyage, capturés directement pendant la session d'atelier (al Maghraoui *et al.*, 2019).

Suivant les opportunités, nos travaux expérimentaux en conception se sont développés par alternance en milieu contrôlé (in vitro ou « in the zoo ») ou en milieu naturel (in vivo ou « in the wild »). Les interventions en milieu contrôlé ont d'abord eu pour vocation de valider des hypothèses de recherche précises associées à l'introduction de nouveaux supports à l'éco-conception et à l'éco-innovation dans les activités de praticiens ou de novices en formation (cf. nos travaux de thèse et le projet ALIENNOR). Les expérimentations se sont déroulées au sein du réseau EcoSD, et dans les cours d'ingénierie où j'ai été impliquée à l'UTC et à CentraleSupélec.

Pour citer quelques exemples d'interventions en milieu dit « naturel », dans la thèse de Fabien Michelin, il a été question de l'accompagnement méthodologique de l'activité des consultants internes au Cetim en éco-conception. Dans la thèse de Ouail Al Maghraoui et dans les travaux Anthropolis, il y a eu de multiples observations des usages des voyageurs en milieu urbain naturel, à bord d'un bus ou d'un bus à la demande, dans des espaces publics. Ces étapes d'observations sont très constructives et inspirantes lorsqu'il s'agit de percevoir finement des situations d'usage dans un environnement complexe comme celui de la ville. Nous pouvons ainsi rassembler des indices de tranches de vie que le mode déclaratif d'un questionnaire ou

d'une enquête ne permettent pas d'atteindre. De manière complémentaire, l'entretien est fort intéressant pour rendre compte des jugements, habitudes des personnes dans un contexte donné (Daae and Boks, 2015). Un échantillon des activités expérimentales à tendance ethnographique sont résumées sur le

Tableau 1.

Tableau 1 : Description des principales activités expérimentales

Description expérimentale / Utilisateurs	Equipe Multi-Disciplinaire	R&D praticiens mobilité	Eco-concepteurs Consultants internes	Eco-concepteurs chercheurs	Voyageurs
Référence projet	ALIENNOR Passe-relle	Anthropolis	Thèse F. Michelin	EcoSD	Th. O. Al Maghraoui
Type d'étude	Wild	Zoo	Wild	Zoo	Wild
Approche expérimentale	Observation participative Questionnaire	Observation participative	Questionnaire Entretiens	Observation participative	Observation ethnographique Entretiens
Taille de groupe	12	12		8-15	
Possibilité d'intervention	Moyenne	Elevée	Elevée	Elevée	Faible
Professionalisme conception	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	Faible
Environnement physique	Salle de réunion	Salle de réunion	Bureau entreprise	Salle de réunion	Rue, transports publics

3. Favoriser les activités d'éco-conception

3.1 Préambule : caractérisation des méthodes, outils et activités d'éco-conception

En préambule, nous présentons ici l'assise des travaux de recherche réalisée au cours de notre thèse intitulée « Caractérisation des bonnes pratiques de l'éco-conception pour la formation des ingénieurs-concepteurs. Synthèse des dimensions, méthodes, activités et outils ».

Les objets-clés de la thèse sont les suivants :

- Le **processus d'éco-conception** qui caractérise l'intégration de la dimension environnementale à chaque étape d'un processus de conception traditionnel. Le modèle de formation à l'éco-conception de (Lockrey and Bissett Johnson, 2013) met par exemple en évidence l'une des déclinaisons de ce type de processus, en soulignant l'alternance des phases divergentes et convergentes et les diverses itérations : 1) Problem setting ; 2) Create ; 3) Guesstimate = Guess+Estimate, évaluation à l'aide de métriques simples ; 4) Proposition ; 5) Vérification par une évaluation environnementale de type Analyse de Cycle de Vie.
- Les **activités de l'éco-concepteur** réalisées au cours de ce processus (ou éco-activités), en particulier l'évaluation et l'amélioration environnementale.
- Les **outils d'éco-conception** qui accompagnent la réalisation efficace des activités par le concepteur. Notons que les outils d'éco-conception sont non seulement nombreux, mais présentent de multiples variantes. En 2002, Baumann et al. en dénombraient déjà environ 300 (Baumann, Boons and Bragd, 2002); en 2017, Rousseaux et al. publient un nouvel inventaire qui compte 700 outils (Rousseaux *et al.*, 2017).
- Les **compétences d'éco-conception** qui s'appuient sur la maîtrise outillée des diverses facettes de l'activité.

Construite à partir de notre expérience professionnelle en conception, la thèse a eu pour question centrale « *Comment former des ingénieurs-concepteurs à l'éco-conception ?* ». Jusqu'à présent, la recherche en éco-conception a été grandement polarisée sur la création d'outils adaptés au contexte des projets industriels, et au déploiement d'Analyse de Cycle de Vie dans divers secteurs applicatifs. D'autres travaux ont posé des bases méthodologiques pour l'apprentissage de l'éco-conception en entreprise, en différenciant le cas de grandes, des petites

et moyennes structures. Afin d'apporter une nouvelle contribution concernant cet apprentissage, nous avons eu la volonté de donner des clés sur les bonnes pratiques de l'éco-conception et sur ce que signifie « éco-concevoir » en regard du sens plus traditionnel donné à « concevoir ».

Au cours de nos travaux de thèse, deux apports ont été mis en évidence. Le premier apport consiste en la proposition d'un **référentiel d'éco-conception utilisable dans le cadre de la formation**. L'objectif du référentiel est de montrer de manière synthétique et compréhensible en quoi l'activité d'éco-conception est multi-étapes, multi-critères et multi-acteurs. Pour cela le référentiel se décline en plusieurs dimensions associées à des échelles (ou niveaux) d'appréhension variables : (1) Dimensions associées à la prise en considération de critères et de cycles de vie ; (2) Dimensions liées à la chaîne de valeurs et à ses acteurs, qu'ils de la sphère industrielle ou civile ; (3) Dimensions liées au niveau de remise en cause envisagé et aux étapes du processus d'éco-conception. Plusieurs critères ont été considérés pour le développement de la proposition : applicabilité du référentiel (par la description d'outils ou de cursus existants) ; pertinence et exhaustivité des dimensions et niveaux du référentiel (au moyen d'entretiens avec des responsables nationaux de formation).

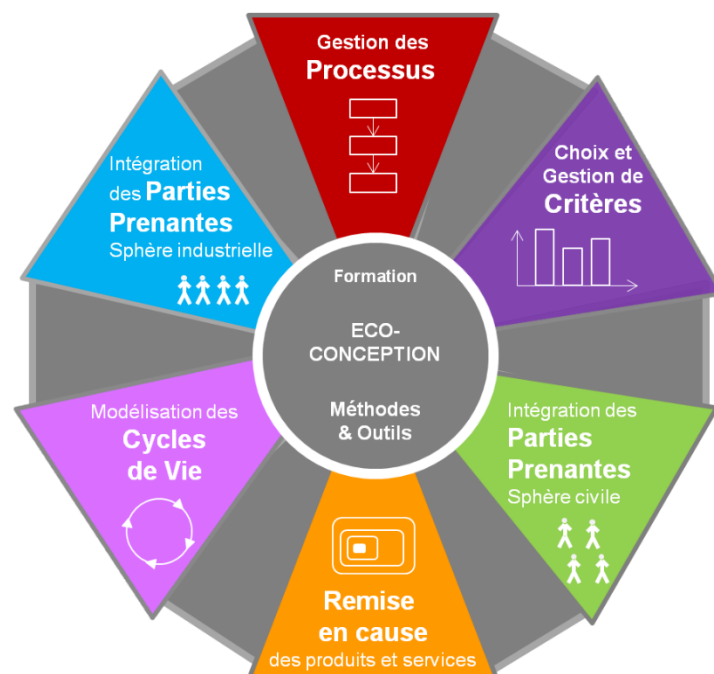


Figure 6 : Référentiel pour la formation à l'éco-conception (Thèse de F. Vallet)

L'objet du second apport est de **clarifier et d'organiser des connaissances d'éco-conception**, alors encore émergentes. Pour cela nous avons proposé une formalisation des compétences de l'éco-concepteur en référence aux activités classiques des ingénieurs de conception. Trois activités-clés mises en œuvre de manière itérative par les éco-concepteurs experts ont été mises en avant dans un article dans la revue *Design Studies*, pour lequel nous avons procédé à une analyse de l'activité d'éco-concepteur expert avec transcription et codage : élaboration d'une stratégie environnementale (vision problème), amélioration environnementale (vision solution), évaluation environnementale (Vallet, Eynard, *et al.*, 2013).

Nous avons proposé une double structuration des briques de connaissances suivant un axe thématique grâce au référentiel et suivant un axe d'expertise croissante (

Tableau 2). Cette première étape de formulation des compétences est principalement issue de trois expérimentations avec observations et analyses. Des éco-concepteurs à la fois novices et experts ont pris part aux expérimentations en milieu contrôlé. Plusieurs cas de reconception de produits manufacturés de typologies variées ont été considérés : rasoir jetable, aspirateur, lampe d'extérieur. L'utilisateur du référentiel peut progresser par axe thématique, par niveau d'expertise ou encore en superposant les axes pour faire émerger des thématiques croisées (Figure 7).

A l'issue de la thèse, ces éléments ont servi de structure au cours d'éco-conception DD02 créé à l'UTC début 2013. Ces contributions servent d'autre part de socle aux propositions méthodologiques du projet SuPLight ci-après. La partie des travaux concernant la structuration des compétences par niveaux a, quant à elle, alimenté la thèse de Fabien Michelin, cf. 5.1.

Tableau 2 : Caractérisation des compétences d'éco-conception par niveau (Thèse de F. Vallet)

Expertise/ Dimension	Modélisation des Cycles de vie	Choix & Gestion de Critères	Intégration des Parties Prenantes industrielles	Intégration des Parties Prenantes civiles	Remise en cause du produit/service	Gestion du Processus
5 Master	Anticiper des transferts de pollution	Avoir un regard critique sur des valeurs d'impacts				Construire une méthode/outil dédié(e) au projet
4 Expert	Construire un scénario à cycles de vie multiples	Identifier des conflits entre critères			Créer de nouveaux modèles d'affaires	Choisir un(e) méthode/outil parmi plusieurs. Trouver des informations environnementales pertinentes
3 Compétent	Construire un cycle de vie complet (produit de complexité moyenne) Définir des frontières d'étude Scénariser la phase d'usage et de fin de vie	Choisir des critères d'impact pertinents Evaluer avec plusieurs critères sur l'ensemble du cycle de vie	Connaître les impacts importants pour les catégories de PP indus.	Comprendre les motivations des consommateurs	Comprendre les implications des technologies sur les impacts	Mettre au point une stratégie adaptée et hiérarchiser Comparer plusieurs méthodes/outils Utiliser des informations environnementales. Construire un scénario éco-fonctionnel
2 Débutant	Construire un cycle de vie complet (produit simple*)	Evaluer avec 1 ou 2 critères techniques sur une ou plusieurs étapes du cycle de vie	Analyser les PP** impliquées sur un projet donné	Analyser les PP** civiles impliquées sur un projet donné	Identifier les axes d'amélioration Proposer des solutions à niveaux de remise en cause croissants	Appliquer une méthode étape par étape Connaître les typologies produits Faire un bilan initial
1 Novice	Connaître la notion de Cycle de vie Lire un cycle de vie Démonter un produit	Connaître les critères d'impacts techniques, environnementaux, Développement Durable	Connaître les acteurs de la chaîne de valeur produit	Connaître les catégories de PP** civiles	Connaître les niveaux de remise en cause produit/systèmes (exemples)	Appliquer une stratégie pour rechercher des solutions Améliorer la fin de vie

*2 à 5 composants; ** PP: Parties Prenantes

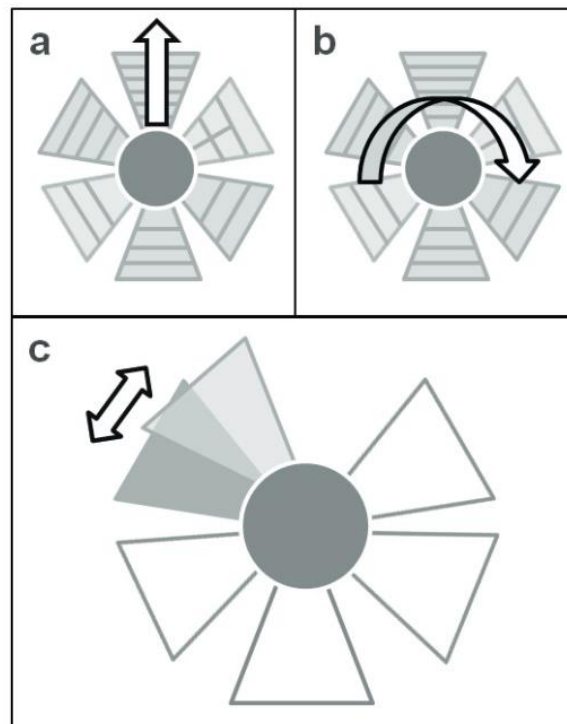


Figure 7 : Stratégies d'utilisation du référentiel pour l'apprentissage de l'éco-conception (a) par axe ; (b) par niveau ; (c) par croisement d'axes (Vallet, Eynard and Millet, 2014)

3.2 Articulation entre évaluation et amélioration environnementale

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet EU-FP7 SuPLight (Sustainable and efficient Production of Light Weight solutions (2011-2014), lot de travail WP4.2 Eco-design.

Résumé : L'objectif de ces travaux est de renouveler le processus traditionnel d'optimisation des pièces de structure en conception légère (ou « lightweight design »), par l'introduction de la dimension environnementale qui n'était pas intégrée jusqu'à présent. La motivation est de permettre de concevoir des pièces comprenant jusqu'à 75% de matière recyclée (ici l'aluminium) dans une logique de bouclage des informations en cycle de vie. Notre proposition consiste à développer un module « éco-conception » à l'intention des concepteurs de ces composants. Ce module tire parti des connaissances issues de nos travaux doctoraux sur deux activités-clés en éco-conception : l'évaluation et l'amélioration environnementale. Grâce à l'outil, le concepteur peut faire une évaluation initiale simplifiée d'un composant, s'informer sur les contraintes réglementaires du domaine (aéronautique ou automobile), choisir des actions spécifiques au lightweight design, puis générer automatiquement des scénarios qui pourront être comparés au plan environnemental et économique. Enfin, le module éco-conception s'intègre à la boucle d'optimisation par un échange de données avec les autres modules (matériau, calcul de structures...) et tout particulièrement avec le module de Logistique inverse, qui établit les meilleures options pour les paramètres de la matière secondaire.

3.2.1 Contexte des travaux

Par rapport à nos travaux de thèse, un élargissement au point de vue d'un produit intégré à une chaîne de logistique inverse a été opéré au cours du projet EU-FP7 SuPLight.

Le contexte de cet ambitieux projet européen impliquant 12 partenaires est celui de la construction légère ou « lightweight design » appliqué au domaine automobile et aéronautique. Les principes de la construction légère peuvent conduire à des économies et des réductions d'impacts environnementaux directes (grâce à la réduction d'utilisation de matière première) ou indirectes (par la réduction d'énergie ou de carburant consommé en phase d'usage). (Carruth, Allwood and Moynihan, 2011) synthétisent les principes généraux de la conception légère selon quatre axes : minimisation du surdimensionnement par rapport aux charges ; alignement des composants avec les charges ; choix de matériau ; optimisation au niveau de la structure du produit ; optimisation au niveau des composants.

C'est ce dernier principe d'optimisation de composant marié au choix de matière (ici l'alliage d'aluminium) qui est mis en œuvre dans le projet SuPLight, dont l'objectif est de permettre le

recyclage en boucle fermée et d'accroître l'usage de l'aluminium recyclé dans la production de composants structurels intégré à des systèmes complexes (automobile ou avion).

L'ambition affichée du projet est de parvenir à un –ambitieux- pourcentage de 75% d'aluminium recyclé pour ce type de pièces.

Le processus de conception à l'étude a pour but d'articuler les informations des métiers de la métallurgie, de la fabrication, le calcul de structures, du tolérancement avec des informations à caractère environnemental (éco-conception et analyse de cycle de vie, coût en cycle de vie, logistique inverse, analyse de la soutenabilité). Dans le cadre du projet, ces visions métiers sont chacune associées à une tâche et au développement d'un module métier dit « plugin ».

Trois phases de vie agrégées sont prises en considération : Beginning Of Life (BOL) i.e. conception et fabrication ; Middle Of Life (MOL) i.e. usage et maintenance ; End Of Life (EOL) i.e. fin de vie (Kiritsis, 2011). Les variables transversales aux métiers permettant de décrire les pièces sont : la composition et la masse matière, le pourcentage de matière recyclée post consommation (ou « post-consumer scrap », par opposition au « pre-consumer scrap » issu des chutes de production).

3.2.2 Apports des travaux

Nous avons premièrement contribué à la création d'un support méthodologique d'éco-conception pour les concepteurs de pièces de structure en aluminium dans une démarche « closed loop PLM » (Product Life cycle Management), en nous appuyant sur l'articulation des phases *d'évaluation environnementale simplifiée* et *d'amélioration environnementale* grâce à la génération d'idées, voir Figure 8. Ce support est intégrable à la plateforme de simulation SuPLight sous la forme d'un plugin d'éco-conception développé de manière « frugale », i.e. en adaptant en dix semaines une solution logicielle existante, Quantis Impulsio.

En préambule à l'évaluation environnementale simplifiée, il nous a d'abord fallu choisir un nombre restreint d'indicateurs pertinents pour le secteur aéronautique et automobile, associant des indicateurs dits d'ingénierie (comme la masse) et indicateurs d'impacts (comme le potentiel d'émissions de gaz à effet de serre) (Andriankaja *et al.*, 2015). Après itération, le choix s'est arrêté sur : pourcentage de matière recyclée (%); masse pièce usinée (kg); potentiel d'émissions GES (kg CO₂-eq.); consommation d'eau (m³); consommation d'énergie non renouvelable (MJ); potentiel d'épuisement des ressources abiotiques (kg Sb-eq.) et enfin coût en cycle de vie (€).

Notre contribution originale réside non pas dans la phase d'évaluation de type ACV, mais dans une articulation évaluation/amélioration rarement traitée dans la littérature. Le plugin éco-conception permet au concepteur de créer des scénarios chiffrés et documentés avec des pistes d'amélioration adhoc. A cet effet, nous avons générés 29 lignes directrices à partir de lignes détaillées génériques (Telenko, Seepersad and Webber, 2008) et spécifiques à l'automobile (Borchardt *et al.*, 2011). Les lignes directrices peuvent être sélectionnées selon une double entrée : (1) par un lien avec les phases de vie pour lesquelles elles sont le plus pertinentes « From life cycle to guidelines » ; (2) par un lien avec les flux d'impacts qui peuvent être minimisés « From flows to guidelines ».

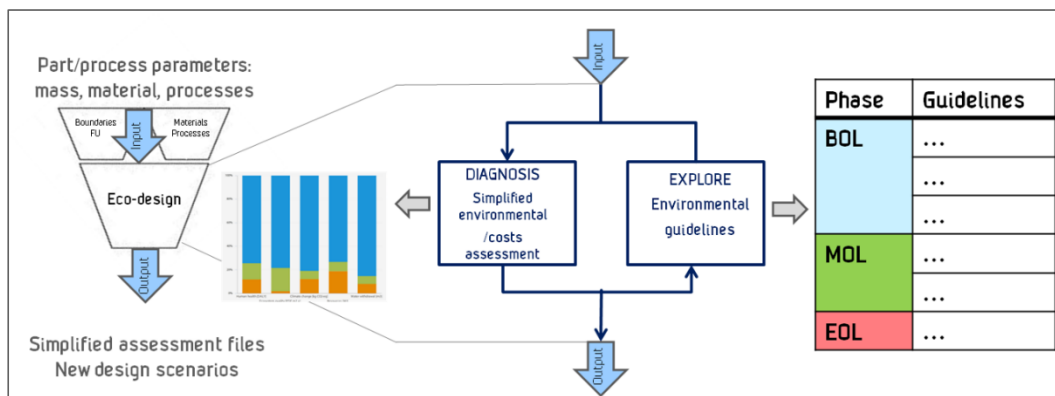


Figure 8 : Principe méthodologique du plugin Eco-conception

La seconde contribution consiste en l'intégration de l'approche d'éco-conception à la boucle d'optimisation, et plus particulièrement l'articulation avec le plugin de Logistique Inverse (Figure 9). D'une part, la masse de la pièce usinée et le pourcentage de matière recyclée proviennent des plugin Matériau, Optimisation et Modélisation Eléments Finis. D'autre part, dans le cas d'un scénario avec logistique inverse, ce dernier plugin envoie la distance parcourue par la matière recyclée dans la phase EOL avec le mode de transport associé (rail, bateau ou route).

En conclusion, ce projet a posé les bases d'une approche de conception en cycle de vie pour des pièces structurelles en alliage d'aluminium, appliqué au cas d'étude automobile d'un bras inférieur de suspension avant ou « front lower control arm ». La méthode permet d'intégrer des aspects environnementaux au processus, et de faire des choix de conception sur la base d'indicateurs mixtes techniques, environnementaux et économiques.

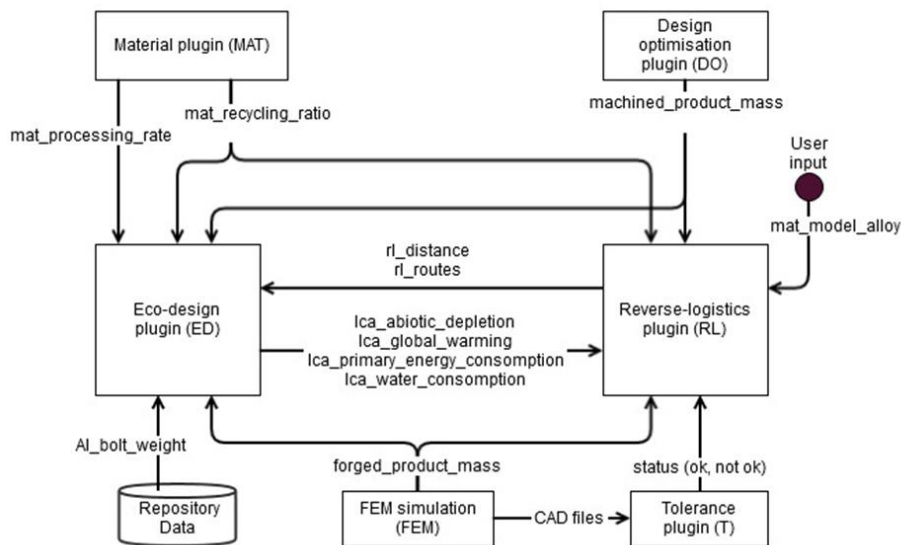


Figure 9 : Echanges de données entre les plugins de la boucle d'optimisation (Penciu *et al.*, 2016)

3.2.3 Production scientifique associée

Le Duigou, J., Gulbrandsen-Dahl, S., Vallet, F., Söderberg, R., Eynard, B., & Perry, N. (2016). Optimization and lifecycle engineering for design and manufacture of recycled aluminium parts. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65(1), 149–152. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.111>

Penciu, D., Le Duigou, J., Daaboul, J., Vallet, F., & Eynard, B. (2016). Product life cycle management approach for integration of engineering design and life cycle engineering. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 30(4), 379–389. <https://doi.org/10.1017/S0890060416000366>

Andriankaja, H., Vallet, F., Le Duigou, J., & Eynard, B. (2015). A method to ecodesign structural parts in the transport sector based on product life cycle management. *Journal of Cleaner Production*, 94, 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.026>

Encadrement : Post-doctorat Hery Andriankaja (2011-2013). J'ai mené une collaboration étroite avec le post-doctorant pour mener à bien la tâche WP4 Eco-design du projet européen. J'ai ainsi supervisé le dialogue avec l'agence de consultance Quantis avec qui nous avons développé une version adhoc du logiciel Quantis Impulsio pour le projet. J'ai accompagné le post-doctorant lors la création de la partie Guidelines-Pistes d'amélioration de la conception associée à l'analyse de cycle de vie paramétrée. Cet encadrement a abouti à la co-écriture d'un article dans la revue *Journal of Cleaner Production* pour capitaliser les résultats de la tâche Ecodesign.

Outil logiciel : Logiciel Quantis Impulsio adapté pour le projet SupLight.

4. Favoriser les activités d'innovation et d'éco-innovation

Dans ce chapitre, nous nous penchons sur la manière d'outiller des stratégies d'innovation ou d'éco-innovation.

S'intéressant à la manière dont les praticiens mettent en œuvre l'innovation dans les phases amont - sous l'appellation générique « design thinking », (Kleinsmann, Valkenburg and Sluijs, 2017) ont fait émerger un regroupement de 48 activités élémentaires se rapportant à quatre stratégies majeures d'innovation. Ces quatre stratégies imaginées s'avèrent fédérer l'ensemble des praticiens industriels ayant participé aux ateliers pour l'étude. Il s'agit de :

L'innovation tirée par la valeur (« value-driven innovation »), qui a pour but de développer des stratégies pour assurer la pérennité des entreprises. L'approche a plus spécifiquement pour cible une vision du marché, des parties prenantes et de la valeur créée, pour tendre vers un modèle d'affaire durable. Cette approche prend son sens dans le contexte compétitif, dynamique et internationalisé du marché industriel actuel.

L'innovation tirée par l'expérience (« experience-driven innovation »), dont l'intention est de créer des expériences d'usage d'une grande richesse, pour les personnes et aussi en collaboration avec les parties prenantes, dans un esprit de co-création. Le défi est de mettre au jour la valeur pour l'utilisateur final dans le cadre de l'innovation de service.

L'innovation tirée par les objectifs (« purpose-driven innovation »), qui a pour but le développement de produits et services adaptés aux utilisateurs, avec une intégration optimale des divers métiers autour de la conception. Il s'agit donc d'orchestrer l'innovation de produits et services de plus en plus complexes, comme par exemple des objets connectés ou des services de plateforme.

L'innovation tirée par la vision (« vision-driven innovation ») s'attache à proposer une vision de l'avenir qui soit sensible, soutenable et qui ait du sens pour les parties prenantes. Les défis sociétaux sont vus comme des leviers pour innover, dans un contexte futur incertain et inconnu.

Nous synthétisons ci-après trois contributions issues de nos travaux qui s'apparentent plus spécifiquement aux stratégies d'innovation tirées par la valeur, l'expérience et la vision.

4.1 La création de valeur soutenable comme fil conducteur de l'innovation

Ces travaux ont été principalement réalisés dans le cadre du projet ANR ALIENNOR « Aide à L'Intégration de l'Eco-iNNOvation par les Réseaux d'entreprise » (2016-2019), et du PRC 16.3 EcoSD « Boîte à outil d'éco-idéation » (2017-2018).

Résumé : Il existe peu d'approches centrées sur les phases amont des processus d'éco-innovation, et notamment sur la génération d'idées ou éco-idéation. Les méthodes existantes sont peu adaptées aux petites structures comme les PME du fait de leur complexité de mise en œuvre ou de leur tendance à conduire à des solutions souvent techno-centrées. L'objectif du projet est de développer une méthode pour accompagner les entreprises dans leur processus d'innovation, avec pour finalité la mise sur le marché de produits ou services à forte ambition environnementale et sociétale. Cette méthode systématique agit à trois niveaux : génération d'idées, évaluation des éco-innovations, et coordination entre ces deux phases pour aboutir à des concepts éco-innovants matures. Le projet explore systématiquement un ensemble de dimensions systémiques relatives au développement durable, peu exploitées jusqu'à alors et pourtant très prometteuses. Le projet a abouti à plusieurs briques méthodologiques dont une boîte à outils de sept mécanismes de stimulation d'éco-idéation (MSE). Ceci constitue, à notre connaissance, une méthode originale permettant une exploration collective efficace de l'espace des possibles et un processus d'évaluation aidant au choix des concepts les plus prometteurs.

Les travaux que nous relatons dans cette partie prennent largement leur source dans une exploration préliminaire des enjeux de l'éco-innovation au cours de deux projets de recherche collaboratif EcoSD 2013 et 2014 ainsi que d'un atelier thématique annuel EcoSD « The challenges of eco-innovation » que nous avons co-organisé en 2015 en présence de 70 participants académiques et industriels (Figure 10).



Figure 10 : Atelier Thématique Annuel EcoSD The challenges of eco-innovation – La Recyclerie, Paris, Mars 2015

4.1.1 Contexte des travaux

Dans cette partie, nous nous intéressons plus particulièrement à la phase amont des processus d'éco-innovation, nommée Fuzzy Front-end of Eco-innovation ou FFEI (Bocken et al., 2014) en référence au Fuzzy Front-end of Innovation (FFI) décrit par (Koen *et al.*, 2001).

Deux activités sont particulièrement critiques pour faire émerger des concepts éco-innovants pertinents au sein d'une organisation :

(1) **l'éco-idéation**, phase au cours de laquelle sont générées des idées à fort potentiel de réduction des impacts environnementaux (Bocken *et al.*, 2011). Bocken et al. ont en particulier relevé un manque de recherche sur le FFEI et l'éco-idéation, ainsi qu'un manque d'outils d'éco-idéation adaptés pour des petites structures comme les petites et moyennes entreprises, pratiquant le plus souvent de façon très informelle (Bocken *et al.*, 2014).

(2) **l'évaluation des concepts issus de l'éco-idéation**, qui permet d'apprécier et de sélectionner les concepts les plus prometteurs au plan de la création de valeur durable ou soutenable pour l'entreprise et les parties prenantes.

Génération des idées dans les phases amont de l'éco-innovation

En innovation, la réussite de la phase de génération d'idées dépend de la capacité des acteurs socio-économiques à proposer un nouveau point de vue en déstructurant le cadre du problème initial. Cette remise en cause est facilitée par la mise en place, de manière directe ou non, de stimuli ou heuristiques. Les stimuli sont définis comme « *des stratégies de transformation d'un concept référent qui introduisent des nouvelles variations intentionnelles de ce concept dans le but de produire de nouvelles conceptions* » (Yilmaz, Seifert and Gonzalez, 2010).

Si les travaux sur la création et l'utilisation d'heuristiques en créativité sont nombreux, par exemple (Yilmaz, Seifert and Gonzalez, 2010; Yilmaz *et al.*, 2016), les heuristiques traditionnelles apparaissent peu adaptées pour traiter de problématiques environnementales. Il s'agit soit de « macro-mécanismes » qui donnent une vision très générale du problème ; soit des « micro-mécanismes » focalisés sur des approches techniques d'ambition limitée, par exemple les adaptations de TRIZ pour l'éco-innovation (Yang and Chen, 2011). A contrario, les « méso-mécanismes » d'éco-idéation (Tyl *et al.*, 2014) constituent une voie prometteuse, permettant à la fois d'avoir une vision systémique du problème, tout en orientant la création de produits et services vers des principes de durabilité. Ces mécanismes agissent comme nouvelles grilles de lecture permettant de mieux déstructurer les problèmes.

Evaluation des idées dans les phases amont de l'éco-innovation

En innovation comme en créativité, l'évaluation des idées est une étape sensible caractérisée notamment par : des connaissances limitées dans les concepts à évaluer et une grande incertitude lors des choix à effectuer ; des analyses irrégulières, subjectives et manquant de rigueur de la part des évaluateurs (Amabile, 1983; Ferioli, 2010). Les critères d'évaluation des idées proposés par les auteurs sont nombreux et sont dans la filiation des travaux reconnus de (Shah, Smith and Vargas-Hernandez, 2003) qui mettent notamment en avant nouveauté, variété, qualité et quantité des idées produites.

En éco-innovation, l'ajout d'une dimension environnementale (voire sociale) propre au contexte de chaque éco-innovation vient mettre en tension les dispositifs existants d'évaluation des concepts générés, la prise de décision étant d'autant plus incertaine et subjective. Les travaux spécifiques sur l'évaluation des idées en éco-innovation sont encore peu nombreux. Deux perspectives duales et intrinsèques au concept d'éco-innovation retiennent notre attention : d'une part l'évaluation de la *réduction d'impacts environnementaux* et d'autre l'évaluation de la *création de valeur soutenable*.

Se prononcer sur une réduction potentielle d'impacts environnementaux est le plus souvent associé à une démarche d'évaluation quantitative, comme l'analyse du cycle de vie (ACV) ou encore l'ACV simplifiée, bien que ces démarches soient plus adaptées aux phases aval du processus d'une conception détaillée (Bocken *et al.*, 2012). En effet, à ce stade les concepts sont encore peu matures et présentent très peu de détails. Cela rend leur évaluation à l'aide d'une note de pertinence environnementale hautement dispersive, comme nous l'avons montré dans de précédents travaux avec des experts en environnement (Leroy *et al.*, 2015). Dans l'esprit des travaux en innovation, parmi les indicateurs utilisés pour l'évaluation des idées éco-innovantes, on peut citer les combinaisons suivantes : niveau systémique et caractère radical (Jones, 2003) ; niveau systémique, dimension d'usage, dimension produit-service et gouvernance (Carrillo-Hermosilla, del Río and Könnölä, 2010), risque de transfert d'impact et dimension d'usage (Vallet, Tyl, *et al.*, 2013) ; réduction de l'impact environnemental couplé à la difficulté de mise en œuvre industrielle (Bocken *et al.*, 2012).

La création de valeur soutenable fait intervenir d'autres dimensions plus systémiques : attentes des personnes, impacts directs de l'innovation et conséquences indirectes sur la société (Pavie *et al.*, 2015) ; effets micro-économiques sur la chaîne de valeur et macro-économique sur un secteur, une région ou un pays (Stark and Lindow, 2017). Statuer sur la création de valeur soutenable peut également se traduire par une évaluation de la soutenabilité des modèles

d'affaires, qui est un objet central attaché au développement de l'éco-innovation d'après (O'Hare and McAloone, 2014). A cet effet, Obst propose plusieurs critères de performance soutenable des modèles d'affaires (Obst, 2015) ; Joyce et Paquin adaptent le Business Model Canvas en un « Triple Business Model Canvas » intégrant un canevas environnemental et social (Joyce and Paquin, 2016). Enfin (Bertheau, Roche and Dufour, 2015) s'attachent à définir le processus dynamique de « valuation » ou détermination exploratoire et créative de la valeur « *en train de se faire* » en innovation, en cours de création par les équipes projet (Bertheau, Roche and Dufour, 2015).

4.1.2 Apport des travaux

Le projet ALIENNOR répond aux enjeux de mise sur le marché des produits ou services à forte ambition environnementale. Il apparaît nécessaire de développer des outils actionnables à destination de toute équipe de conception pour le développement de produits éco-innovants.

Au cours des trois années de projet, plus de 15 tests académiques et industriels ont été réalisés (voir détail en Annexe 1), mobilisant environ 120 étudiants et doctorants et 110 participations de professionnels (chercheurs, industriels, institutionnels, architectes...).



Figure 11 : Boîte à outil de 7 mécanismes d'éco-idéation (Vallet and Tyl, 2020)

La première contribution concerne la phase d'éco-idéation pour laquelle nous avons co-construit des heuristiques spécifiques à l'éco-innovation : (1) compréhensibles et utilisables dans des équipes de conception multidisciplinaires (composées d'industriels de grandes et petites structures, d'académiques, de structures associatives, de partenaires publics...) ; (2) mobilisables dans un temps court, efficaces sur une demi à une journée d'animation.

Dans une première approche « desk-based » qui a étudié en profondeur la littérature en éco-innovation, nous avons itérativement identifié 7 portes d'entrée pertinentes pour éco-innover, appelées Méso-mécanismes de Stimulation d'Eco-idéation (en abrégé mécanismes d'éco-idéation ou MSE), voir Tableau 3. Comme on peut le constater sur le Tableau 3, deux mécanismes ont été écartés au cours du processus de co-construction : *Innover par les nouveaux modes de financement* et *Innover par les effets rebonds*. Le mécanisme concernant les effets-rebonds a en particulier été jugé difficile à mettre en œuvre par les experts de par sa logique inversée et donc négative. Celui-ci a été transformé en un critère descriptif pour la phase d'évaluation des concepts. Parallèlement à cela, le mécanisme sur les boucles courtes et fermées a été scindé en deux, conduisant à *Innover par les ressources territoriales* et *Innover par la circularité*.

La Figure 12 illustre la systématique d'un mécanisme d'éco-innovation commune aux 7 mécanismes, sur le cas *Innover par le biomimétisme*. Il s'agit d'une illustration de la conception biomimétique de la bouilloire Nautile (source Big Bang Project) voir réalisée en mode « re-engineering » (Tyl *et al.*, 2016). Trois étapes sont proposées, dans une logique de déstructuration du problème initial :

- (1) caractérisation de l'état initial du système, ici une bouilloire électrique classique ;
- (2) identification des facteurs-clés, ici la température, la chaleur, le flux d'eau ;
- (3) génération d'idées à partir des facteurs-clés, dans ce cas à partir de quatre stratégies issues du monde vivant (termitière, bec de toucan, coquillage nautile et ours polaire).

On peut ensuite visualiser le passage de la description formelle du MSE à sa simplification sous la forme de trois plateaux de support à l'éco-idéation. Ces plateaux sont intégrés à une boîte à outil de 21 plateaux, cartes et mode d'emploi développée avec les designers de Big Bang Project au cours du Projet de recherche collaboratif EcoSD 16.3 (Tyl *et al.*, 2018).

Tableau 3 : Description des 7 mécanismes d'éco-idéation

Intitulé des 8 mécanismes initiaux (Tyl <i>et al.</i> , 2016)	Intitulé des 7 mécanismes finaux	Facteurs-clés	Exemple de référence
Innover par la création de valeur durable pour les parties prenantes	Innover par les parties prenantes	Valeur créée, oubliée, détruite Relations	Bocken <i>et al.</i> (2014)
Innover par le biomimétisme	Innover par le biomimétisme	Flux physiques Flux d'information	Bogatyrev and Bogatyreva (2014)

Innover par les utilisateurs finaux et les usages soutenables	Innover par les modes de consommation soutenables	Dérives d'usage Juste nécessaire	Lockton (2012)
Innover par les services et l'économie de fonctionnalité	Innover par les Systèmes Produits Services	Cycle d'usage Offre et demande	Lindhal et al. (2014)
Innover par les boucles courtes et les boucles fermées	Innover par les ressources territoriales	Ressources naturelles Ecosystème industriel Capital social Infrastructures	Allais (2015)
Innover par le transfert d'impact et les effets rebonds	Innover par la circularité	Flux physiques Architecture système	Figge, Young and Barkemeyer, (2014)
Innover par les nouvelles technologies	Innover par les nouvelles technologies	Production Organisation Matériaux	Kohtala (2014)
Innover par les nouveaux modes de financement			<i>Grisé : Mécanisme non conservé</i>

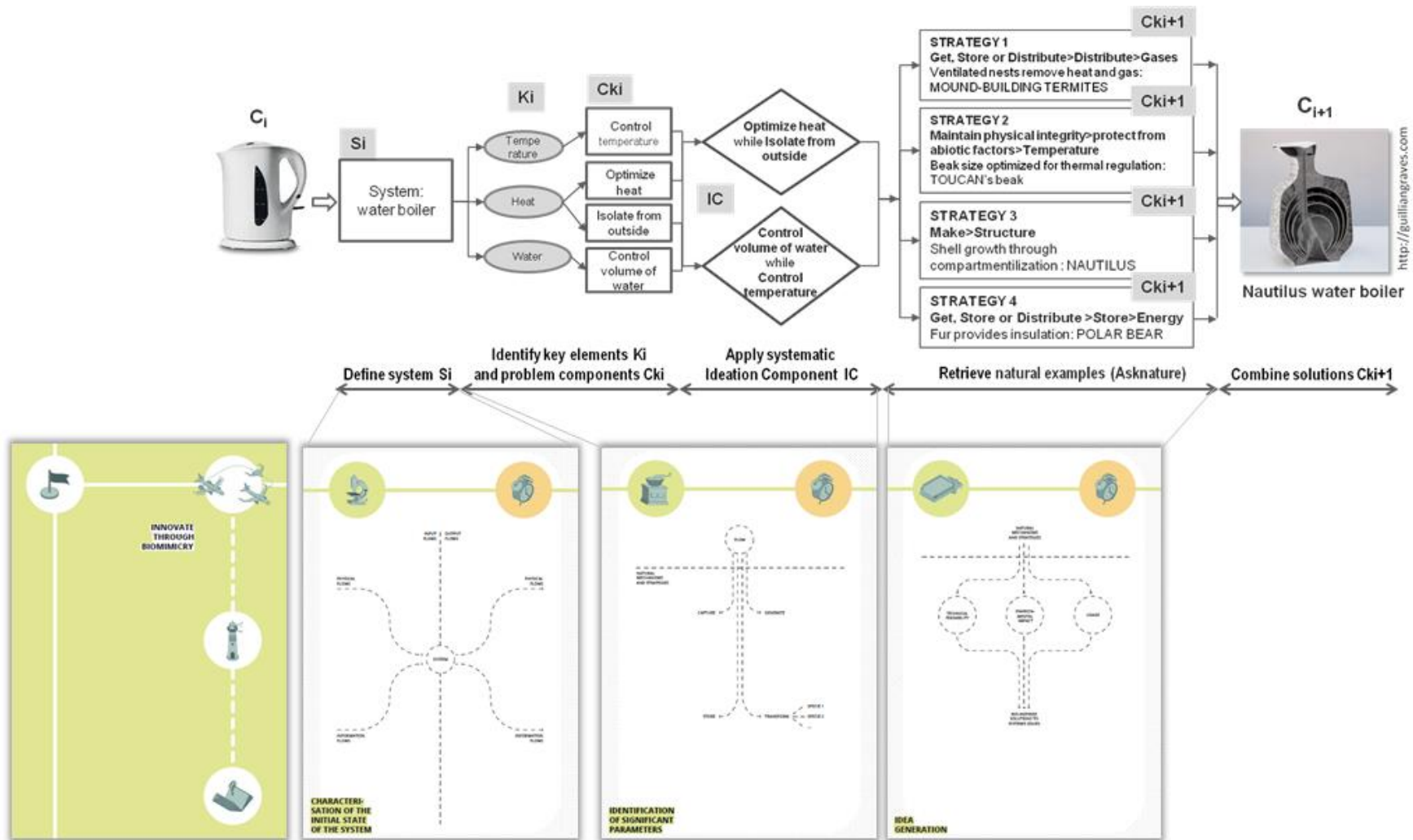


Figure 12 : Structure illustrée du MSE Innover par le biomimétisme, cas de la bouilloire Nautille

La seconde contribution concerne l’articulation des phases d’éco-idéation et d’évaluation au sein d’un processus d’éco-innovation mobilisable au cours d’une journée. Ici nous avons également cherché à répondre à la question du choix du ou des MSE à mobiliser en fonction du contexte projet, cette problématique ayant aussi été identifiée de façon plus générale pour les stimuli en innovation par (Gonçalves, Cardoso and Badke-Schaub, 2016).

Ce modèle présente une alternance entre phases divergente et convergente, mettant en jeu la créativité individuelle à certains moments, puis collective dans un groupe à d’autres et enfin la mise en commun entre les groupes (Figure 13). L’une des originalités du processus réside en l’intégration d’une phase dite de *balayage rapide* (ou analyse systématique) par les 7 MSE en début de session, pour tirer profit de tous les angles de vue soutenables. Cette phase est suivie par une exploration en profondeur de la problématique à l’aide d’un des mécanismes (Figure 14).

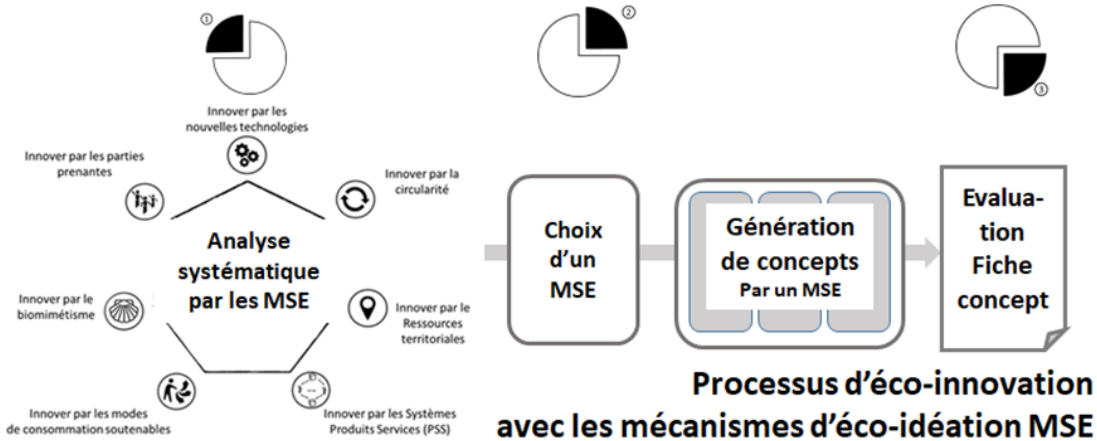


Figure 13 : Processus d’éco-innovation reposant sur les mécanismes d’éco-idéation

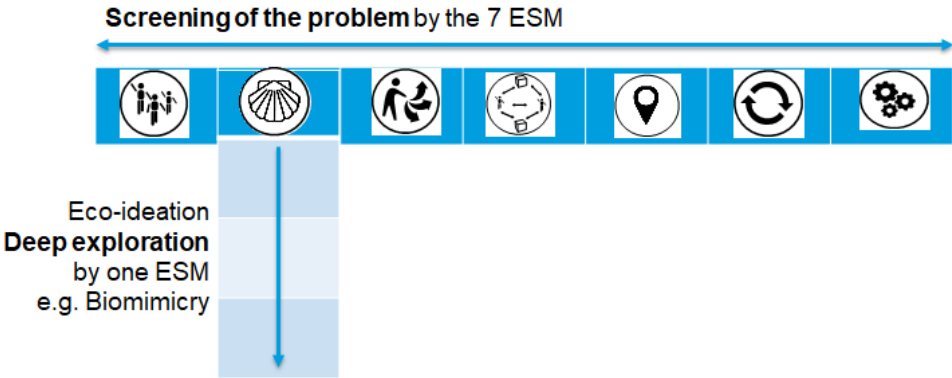


Figure 14 : Articulation entre balayage et exploration en profondeur par les mécanismes d’éco-idéation

La dynamique de choix des MSE a été testée de trois manières : choix imposé ; choix libre d'un MSE parmi trois ; choix totalement libre. Ce choix dérive soit de la proximité avec le sujet traité, soit de la distance maximale avec le sujet pour maximiser la posture d'innovation (Gonçalves, Cardoso and Badke-Schaub, 2016).

La troisième contribution concerne la phase d'évaluation des idées, que nous estimons être le verrou scientifique le plus notable du projet. Quelques avancées ont été proposées dans ce cadre pour évaluer des concepts éco-innovants, concepts que l'on juge en forte évolution et donc peu stables. Nous avons ainsi insisté sur la nécessité de caractériser les concepts obtenus et de proposer un format de capitalisation des idées, en accord avec nos précédents travaux (Leroy *et al.*, 2015). Cette caractérisation se veut le reflet des dimensions systémiques de l'éco-innovation identifiées lors d'ateliers avec des experts (Vallet *et al.*, 2017) et met clairement en balance (Figure 15) :

- Le potentiel de réduction d'impact environnemental lié à l'introduction du système de façon unitaire et en masse sur un marché ;
- Le potentiel de valeur d'usage pour le consommateur final ;
- Le potentiel de création de valeur durable pour les parties prenantes ;
- Les risques d'effets directs et indirects sur la société, le risque de développement d'effets-rebonds associé au déploiement du système.

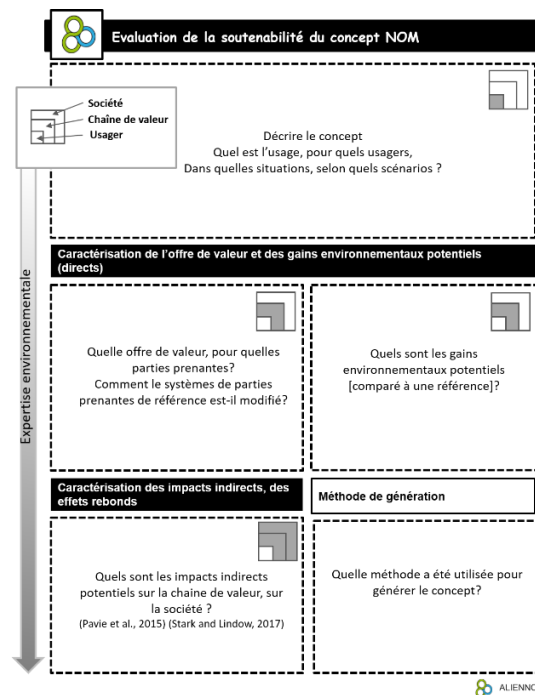


Figure 15 : Trame pour l'évaluation de la soutenabilité d'un concept éco-innovant (Vallet and Tyl, 2019)

En synthèse, notre positionnement sur l'éco-innovation se démarque clairement de la vision de l'union européenne, qui associe principalement cette approche à une recherche d'éco-efficience dans les appels à projets (Colombo, Pansera and Owen, 2019).

Notre démarche se nourrit d'une vision complexe et systémique de l'éco-innovation et permet en premier lieu de voyager entre plusieurs échelles de pertinence pour le système à éco-concevoir. De plus, la partie interne des mécanismes d'idéation s'inspire de la notion de contradiction, que l'on peut aussi apparenter aux dialogiques complexes (Morin, 2014).

Cette démarche d'éco-innovation peut se comparer à celle du manuel Eco-i développé par l'UNEP (United Nations Environment Programme (UN Environment), 2017). Notre démarche s'est assurément nourrie de la vision à trois niveaux de l'éco-innovation selon l'UNEP (Opérations/Business model/Business strategy) lors de la construction des 7 mécanismes d'éco-idéation, voir (Tyl *et al.*, 2016). Le manuel Eco-i a pour vocation l'accompagnement d'entreprises éco-innovantes dans les pays en développement. Par conséquent, conformément à la définition de l'UNEP de l'éco-innovation (voir 2.2), la construction d'un modèle d'affaire soutenable structure l'ensemble de la démarche en six étapes, et circonscrit l'éco-idéation à la recherche d'idées pour nourrir les neuf cases d'un Business Model Canvas. Notons cependant le recours à l'outil systémique 9 écrans pour la génération d'idées de la case « Proposition de valeur ». Par rapport à Eco-i, nous mettons ainsi au premier plan une exploration profonde des possibles par des principes fondateurs pour le Design for Sustainability, le modèle d'affaire constituant une résultante de la démarche et non un point de départ.

Nous analysons également notre positionnement relativement aux heuristiques pour l'innovation de (Yilmaz *et al.*, 2016) ou aux lignes directrices d'éco-conception/éco-innovation, par exemple la célèbre roue Lifecycle Design Strategy Wheel (Brezet and van Hemel, 1997). Dans (Yilmaz *et al.*, 2016), l'heuristique N°12 « Change product lifetime » propose une vision unidimensionnelle, alors qu'un mécanisme comme *Innover par les Systèmes Produit Service* (PSS), qui fait appel à cette même notion d'extension de durée de vie, va nous encourager à croiser plusieurs dimensions-clés pour balayer un espace de multiples solutions. Chaque mécanisme joue donc le rôle d'un prisme de création de solutions qui se complètent et se recouvrent partiellement.

Les suites des travaux du projet ALIENNOR restent à approfondir. Au cours du projet, nous sommes parvenus, avec les utilisateurs finaux, praticiens et étudiants, à co-concevoir une boîte à outils d'éco-idéation (Figure 11) qui met en jeu sept mécanismes inspirés par les heuristiques en créativité (Yilmaz, Seifert and Gonzalez, 2010; Yilmaz *et al.*, 2016).

Le processus d'éco-innovation co-créé au cours de ce projet apporte donc, à notre connaissance, un support méthodologique original et efficace pour explorer l'espace des possibles en éco-innovation. Nous avons mis en évidence que si la phase divergente en éco-innovation semblait aboutie, il nous fallait néanmoins travailler plus avant sur la phase de convergence et de valuation des concepts générés au sens de (Bertheau, Roche and Dufour, 2015). On pourra ainsi introduire le mot-valise « évolution » pour traduire le caractère dynamique du FFEI.

Une autre piste de poursuite de cette recherche peut être l'intégration de l'éco-idéation à d'autres processus outillés existants en conception ou en innovation en usage dans les entreprises ou les organisations, par exemple un couplage avec la méthode d'innovation Radical Innovation Design® (Yannou, Lamé and Cluzel, 2017) que nous utilisons et enseignons à CentraleSupélec.

4.1.3 Production scientifique et vulgarisation

- Vallet, F., & Tyl, B. (2020). Implementation of an eco-innovation toolbox to stimulate design teams: A case of interior design. *Procedia CIRP*, 90, 334–338. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.105>
- Vallet, F., & Tyl, B. (2019). A framework to evaluate eco-innovative concepts. *16ème Colloque National Du GIS S.Mart, Les Karellis, 3-5 Avril, 73*, 1–6. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02101378>
- Pham, C. C., Vallet, F., Tyl, B., Pialot, O., & Eynard, B. (2018). Toward a supportive eco-innovation platform based on eco-ideation stimulation meso-mechanisms and eco-innovation cases. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, 6*, 2705–2714. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0454>
- Pham, Cong Cuong; Vallet, Flore; Tyl, Benjamin, Pialot, Olivier; Eynard, B. (2018). How the ALIENNOR platform supports the identification of Eco-Ideation Stimulation Mechanisms during an eco-ideation phase. In J. Chiabert, Paulo; Bouras, Abdelaziz ; Noël, Frédéric; Ríos (Ed.), *Lifecycle Management to Support Industry 4.0, 15th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2018, Turin, Italy, July 2-4* (pp. 542–552). Springer.
- Tyl, B., Vallet, F., & Pialot, O. (2018). How to select appropriate stimulation mechanisms to perform an eco-ideation session? *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, 6*, 2763–2774. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0458>
- Tyl, B., Vallet, F., Baldacchino, C., Pialot, O., Pham, C. C., & Eynard, B. (2018). Development of an Eco-Ideation Toolbox To Support the Generation of Eco-Innovative Ideas. *8ème Congrès AvniR, 7-8 Novembre, Villeneuve d'Asq*, 1–6.
- Tyl, B., Pialot, O., & Vallet, F. (2017). Éco-innover à l'aide de méso Mécanismes de Stimulation d'Éco-idéation (MSE). *Techniques de l'Ingénieur, AG6785*.
- Vallet, F., Tyl, B., Pialot, O., & Millet, D. (2017). Is this system eco-innovative? A case-based workshop. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 1(DS87-1)*, 111–120.
- Tyl, B., Vallet, F., Pialot, O., Millet, D., Le Duigou, J., & Graves, G. (2016). The ESM approach: 8 mechanisms to efficiently support eco-ideation. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, DS 84*, 1165–1174.

Ce travail a fait l'objet d'un encadrement :

Post-doctorat de Cong Cuong Pham en lien avec le projet ANR ALIENNOR (2018-2019) sur le WP5 (Plateforme d'éco-innovation). En fin de projet ANR, j'ai effectué l'accompagnement de C.C. Pham qui a mis en place la plateforme informatique capitalisant 300 cas d'éco-innovation répertoriés et classés suivant plusieurs champs. J'ai guidé le travail de structuration en réseau de la plateforme selon une double entrée qui articulait mécanismes d'éco-idéation et cas illustratifs. Cet encadrement a abouti à la co-écriture de deux articles de conférence pour les communautés Ingénierie de Conception et Product Lifecycle Management.

Production d'outil :

Boîte à outil d'éco-idéation open source développée en collaboration avec Big Bang Project (2017-18), imprimable par un imprimeur ou au format A4-A3 Do It Yourself, format Creative Commons BY-NC-CA-4.0.

4.2 **L'expérience d'usage comme fil conducteur de l'innovation**

Ces travaux ont été principalement développés dans la thèse de Ouail al Maghraoui intitulée «Designing for urban mobility-Modeling the traveler experience», et réalisés dans le cadre de la première saison de la chaire Anthropolis (2016-2019).

Résumé : Pour les opérateurs de transport, fournisseurs de services de mobilité et collectivités locales, il existe un fort enjeu dans la compréhension des multiples comportements, habitudes, attentes et difficultés vécues par les voyageurs dans leur mobilité quotidienne. En ingénierie de conception, les travaux actuels s'intéressent principalement à la conception des modes de transport ou d'application de mobilité pris individuellement, la conception de systèmes de mobilité et l'expérience associée restant peu abordées. Ces travaux visent à développer un modèle de l'expérience voyageur pour permettre le diagnostic des problèmes de voyage dans les systèmes de mobilité urbaine, à l'intersection de la conception de l'expérience utilisateur (UX) et du domaine du transport. En premier apport, le modèle TXCM qui décrit les facettes de l'expérience de voyage et les classes de problèmes auxquels les voyageurs sont confrontés lorsqu'ils interagissent avec un système de mobilité urbaine à différentes échelles. En second apport, le modèle est décliné sous forme d'un stimulus qui facilite la génération d'un grand nombre de problèmes de voyage pour un ensemble de voyageurs recrutés dans des focus groups. Ces problèmes de voyage constituent des points d'entrée privilégiés pour innover en mobilité urbaine.

4.2.1 Contexte des travaux

La première contribution à l'innovation motivée par l'expérience a pour objet l'innovation en matière de systèmes de mobilité. Nous définissons de manière préliminaire :

- La **mobilité** par son acception en sociologie urbaine. Celle-ci correspond à la réalisation de déplacements par des personnes, les **voyageurs**, qui effectuent un programme d'activités (par exemple des déplacements domicile-travail, de loisirs, des courses, des visites...) impliquant une multiplicité de lieux. La mobilité revêt une dimension de changement d'espace *spatial et social*, conditionnée par un champ de possibilités de déplacements (réseaux, infrastructures, accessibilité) ; une aptitude à la mobilité des personnes ; des déplacements effectifs entre une origine et une destination (Kaufmann, 2011).
- Un **système de mobilité** comme un ensemble constitué d'infrastructures, d'informations et de véhicules, ces éléments ayant pour but de permettre la mobilité des voyageurs.

Plusieurs enjeux issus de la chaire Anthropolis motivent ce volet de nos recherches. D'une part, pour rester compétitifs dans les écosystèmes d'affaires, les opérateurs de transport et fournisseurs de services de mobilité sont aujourd'hui confrontés à la nécessité d'avoir une compréhension fine des attentes de leurs multiples clients et usagers. D'autre part, pour les collectivités locales il y a un fort enjeu de connaissance des modes de vies et habitudes de mobilité des citoyens sur un territoire, afin d'y répondre au mieux aujourd'hui et à l'avenir en fonction des perspectives de développement de ce territoire. L'objectif visé est, pour ces différentes parties prenantes, d'améliorer à la fois les politiques publiques, la gestion des véhicules et des services de mobilité (Carreira *et al.*, 2013, 2014).

Le défi est donc de caractériser, à des fins d'innovation, ce que vivent les voyageurs dans leur mobilité quotidienne, qu'elle soit multi ou intermodale et porte à porte (Figure 16). Le potentiel d'innovation réside en particulier aux interfaces, c'est-à-dire lorsque le voyageur doit changer de mode, par exemple pour faire un premier ou un dernier kilomètre non couvert par les transports en commun (quand ils sont présents et accessibles).

Ces travaux de thèse ont cherché à approfondir la compréhension de la manière dont les voyageurs vivent leur voyage et des problèmes qu'ils rencontrent dans des mobilités qu'on peut alors qualifier « d'éprouvantes » selon l'expression de (Enaux, Lannoy and Lord, 2011).

4.2.2 Apports des travaux

La première contribution livre une vision continue d'une expérience de voyage individuelle, porte-à-porte, qui rend compte de la manière dont un voyageur interagit avec un système de mobilité (par exemple un bus, une trottinette, un vélo électrique sans borne, une application de co-voiturage...). Le modèle conceptuel de l'expérience de voyage ou TXCM (Traveler eXperience Conceptual Model) se situe à l'interface entre user-experience design et approche de transport. Ce modèle conceptuel permet :

- De décrire les différentes facettes de l'expérience de voyage, et notamment les situations d'usage,
- De décrire les **problèmes** que rencontrent les voyageurs lorsqu'ils interagissent avec un système de mobilité urbaine, qui résultent du décalage constaté entre une situation attendue et la situation réellement vécue,
- D'inférer **les causes et les conséquences** associées à chaque problème de voyage, dont la compréhension constitue un atout pour les praticiens en innovation tirée par les usages.

Les différentes utilisations du modèle TXCM ont permis un diagnostic approfondi de trois systèmes de mobilité urbaine (train de banlieue, bus à la demande, navette sur voie dédiée), selon le point de vue d'un unique voyageur.

La seconde contribution est une déclinaison opérationnelle du modèle TXCM centrée sur la notion de problème de voyage, dont on a dérivé un stimulus pour la génération de problèmes de voyage pour un ensemble de voyageurs rassemblés au sein d'un même focus groups. Pour mémoire, la notion de stimulus en conception est d'ordinaire utilisée en créativité, un stimulus (e.g. un texte, une image...) permettant de dépasser les blocages mentaux, de générer un plus grand nombre d'idées et donc d'élargir l'espace des solutions (Vasconcelos and Crilly, 2016), voir paragraphe 4.1. Nous en avons fait une adaptation à l'objet d'étude, à savoir le problème de voyage.

Dans un premier temps, une catégorisation des problèmes de voyage a été obtenue au moyen d'une approche dite « ancrée » ou « grounded theory » (Charmaz, 2014), qui s'est appuyée sur

six entretiens semi-directifs en profondeurs avec divers profils de voyageurs urbains à Paris, Singapour et Vienne. En s'appuyant sur les catégories de problèmes de voyage ainsi obtenues, le stimulus exprime, à la première personne, des problèmes pratiques objectifs (i.e. liés au temps qu'il fait, à la conception ou la gestion du système) autant que subjectifs (i.e. relatifs à la réaction au cours du voyage ou à l'arrivée, au ressenti physique, à la cognition, aux émotions) (Tableau 4).

Tableau 4 : Description des catégories et illustration du stimulus de problèmes de voyage (Thèse de O. Al Maghraoui)

Category	Source of problems	Illustration of generated problems
Do	When there is a problem with my trip, I react or do something about it	Often people run from the train station to catch the bus, or from the bus to the train station, and that may cause panic for some users
Body	My body feels troubled when there is a problem with my trip	Body aches and dizziness from fatigue or having to stand on the way
Mind	My mind feels troubled when there is a problem with my trip	The logic of opening the doors is not clear (the back doors are not always open)
Emotion	My emotions feel troubled when there is a problem with my trip	When the bus is full, attitudes of a few people can be disturbing (sometimes people do not even say sorry when they push you ...)
Arrival	What I do when I arrive is affected by problems with my trip	If we carry a lot of stuff, then the bus is not at all a good choice (bringing my lunch to work)
Design	For me, the system is not well designed	Signage problem: lack of visibility
Operation	For me, the system is not well operated	Low frequency after 19:00h
System problem	Problems occur accidentally with the system	Sometimes the display is blank
Operation problem	Problems occur accidentally with the system's operation	Buses cancelled at the end of the day without warning
People	The behavior of the people around me can be a problem for me; Problems emerge when many people use the system at the same time	Many people waiting for the bus -> full bus
Weather	The weather can cause me problems with my trip	Bus windows are not tinted, which amplifies the effect of the heat from the sun

Au cours d'une expérimentation avec groupe de contrôle et placebo (Al Maghraoui *et al.*, 2019), le stimulus a permis aux groupes qui y ont été soumis de générer une plus grande variété de problèmes de voyage, sans pour autant augmenter le nombre de ces problèmes. Une influence positive a été notée sur la capacité à se remémorer des problèmes dits « subjectifs » vécus au plan physique, cognitif, sensoriel et émotionnel.

Une dernière contribution plus exploratoire concerne la mise au point d'attributs centrés sur le voyageur pour un modèle d'optimisation et une simulation multi-agents, testés au moyen d'une enquête en ligne rassemblant plus de 450 répondants (Al Maghraoui *et al.*, 2020).

En synthèse, le modèle de l'expérience de voyage TXCM se différencie des résultats existants dans la littérature car il n'est ni spécifique à un mode comme le modèle de cycling experience de (Liu, Krishnamurthy and van Wesemael, 2018), ni à un profil particulier de voyageur (e.g. seniors, adolescents, travailleurs...). Ce modèle présente la spécificité (1) d'être centré sur les problèmes liés à l'expérience vécue, intégrant des dimensions émotionnelles et sensibles non prises en compte d'ordinaire par les opérateurs de transport (Carreira *et al.*, 2013); (2) d'aller plus en profondeur dans une vision systémique sur les causes et les conséquences des problèmes de voyage.

Les limites de l'utilisation du stimulus sont liées au mode déclaratif, qui reflète la partie consciente de l'expérience de voyage ; au nombre de voyageurs nécessaires pour obtenir un corpus représentatif de problèmes de voyage, avec néanmoins un potentiel de développement d'un mode automatique en analyse sémantique.

4.2.3 Production scientifique associée

Al Maghraoui, O., Vosooghi, R., Mourad, A., Kamel, J., Puchinger, J., Vallet, F., & Yannou, B. (2020). Shared Autonomous Vehicle Services and User Taste Variations : Survey and Model Applications. *Transportation Research Procedia*, 47, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.066>

Al Maghraoui, O., Vallet, F., Puchinger, J., & Yannou, B. (2019). Stimulating usage problem generation: An urban mobility case study. *Design Studies*, 64(2006), 27–63. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.07.001>

Al Maghraoui, O., Vallet, F., Puchinger, J., & Yannou, B. (2019). Modeling traveler experience for designing urban mobility systems. *Design Science*, 5, 1–24. <https://doi.org/10.1017/dsj.2019.6>

Al Maghraoui, O.; Vallet, F.; Puchinger, J. ; Yannou, B. (2018). Chaire Anthropolis- Une vision holistique de la mobilité urbaine. In Agator J.M. ; Devezeaux de Lavergne J. G. (Ed.), *Les nouvelles mobilités à la lumière des sciences humaines et sociales : Workshop (CEA Saclay, 13 juin 2018)* (pp. 25–30). MSH Paris-Saclay.

Al Maghraoui, O., Vallet, F., Puchinger, J., & Yannou, B. (2017). Framing key concepts to design a human centered urban mobility system. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 3(DS87-3), Vancouver, Canada, August 21-25.

Al Maghraoui, Ouail; Vallet, Flore; Puchinger, Jakob; Yannou, B. (2017). Un cadre conceptuel pour concevoir le système de mobilité urbaine. *12è Congrès International de Génie Industriel CIGI 2017, Compiègne, France, 3-5 Mai*.

Ce travail a fait l'objet de deux encadrements :

- Thèse de Ouail Al Maghraoui (30%) co-encadrée avec Jakob Puchinger et Bernard Yannou, intitulée « Designing for urban mobility: Modeling the traveler experience ».

- Stage de master 2 User Experience Design d'Anthony Dutertre (100%, février-juillet 2017), intitulé « Compréhension micro-qualitative des comportements des usagers dans la mobilité urbaine. Motivations, satisfactions et insatisfactions ». Pour ce stage exploratoire basé sur des observations à la Défense, j'ai accompagné le cadrage de l'étude expérimentale (recrutement, recueil de données et traitement) et collaboré à la création de profils de mobilité. J'ai enfin travaillé avec l'étudiant à l'articulation entre analyse de profils et conception de services de mobilité adaptés à ces profils.

4.3 **La vision du futur comme fil conducteur de l'innovation**

Ces travaux ont été principalement développés au sein de la thématique « Prospective et Objets de rupture » de la première saison de la chaire Anthropolis (2016-2019), et sont synthétisés dans la publication de la revue Futures « Tangible futures : Combining scenario thinking and personas. A pilot study on urban mobility ».

Résumé :

Dans la littérature, les scénarios prospectifs traitant de la mobilité urbaine (électrique, autonome ou partagée) fournissent peu d'éléments illustratifs de la vie mobile de futurs voyageurs considérés individuellement ou en représentation de classes d'usagers. Après avoir présenté une analyse et un regroupement d'un échantillon de futurs scénarios existants, nous avons extrait trois scénarios archétypaux. Ceux-ci sont représentatifs d'une société qui se développe soit dans la continuité (par rapport à nos jours), soit en accélération ou enfin en décélération. Nous avons ensuite créé quatre types de profils de voyageurs. Au cours d'un atelier participatif, douze professionnels de la mobilité ont raconté, par groupe, la vie quotidienne d'un des persona (appartenant à l'un des profils) et les variations vécues par le persona au travers des trois scénarios proposés. Les histoires qui ont été développées sont des illustrations des effets de développements technologiques sur la vie des gens, compréhensibles par des concepteurs comme par des décideurs. Les effets potentiels sur différents groupes sociaux sont ainsi rendus plus tangibles.

La méthode Scenario Personarrative a été ensuite déclinée dans deux autres contextes. Il s'agit d'une part de la réponse à appel à projet Les routes du futur du Grand Paris issu du Forum Métropolitain du Grand Paris, et d'autre d'un atelier pour l'école d'été internationale BEST à CentraleSupélec.

4.3.1 Contexte des travaux

Le développement de scénarios prospectifs prend tout son sens dans le cadre de la conception de systèmes dans un monde incertain et complexe (McGrail and Gaziulusoy, 2014). Afin de concevoir pour les générations futures, il est nécessaire de pouvoir dessiner les traits de la société dans laquelle seront intégrés les concepts. Les études de prospective sont largement pratiquées dans de nombreuses organisations depuis la fin de la seconde guerre mondiale, donnant lieu à de multiples développements méthodologiques et pratiques qui sont exposés dans une synthèse très complète par (Crawford, 2019).

Dans le domaine de la prospective sociétale (« future studies »), nous pouvons distinguer les méthodes collectives qui s'appuient fortement sur les imaginaires (par exemple (Paucot, 2018)), les méthodes systématiques et probabilistes d'anticipation (Godet and Durance, 2011) et les approches par scénarios de l'école « intuitive logics » (Vergragt and Quist, 2011).

La conception de futurs scénarios peut s'appréhender de trois manières (Vergragt and Quist, 2011): les scénarios tendanciels extrapolent la situation actuelle à un horizon donné ; les scénarios exploratoires restent attachés à un contexte industriel et proposent de multiples ramifications possibles ; les scénarios normatifs formalisent des visions d'un avenir souhaitable. Par ailleurs, les scénarios peuvent être qualifiés d'utopiques, ou dystopiques s'ils évoquent des images d'un avenir qu'il faut éviter (Urry, 2016). Nous nous appuyons ici sur la définition de *scénario* de (Spaniol and Rowland, 2019): une représentation d'un futur possible et plausible qui prend une forme narrative, présente des caractéristiques du futur, se réfère à un jeu de forces externes et peut coexister avec d'autres alternatives pour former un jeu de scénarios. Pour (Dator, 2009), il est possible de caractériser les scénarios futurs en s'appuyant sur quatre archétypes reconnus qui reflètent des modes génériques d'évolution de société : « continued growth », « collapse », « disciplined society », et « transformation ».

Dans le domaine du transport et de la mobilité, les méthodes par scénarios sont très largement représentées pour traiter de la vision prospective de la mobilité partagée, électrique ou autonome. Une revue de cette littérature sur la période [2010-2017] montre que la génération de scénarios est le plus souvent réalisée à un haut niveau sociétal et ne fournit pas d'éléments narratifs à un niveau plus individuel concernant la vie des futurs citoyens.

Or au cœur de ces visions pour la société future, se posent clairement des risques d'inégalité sociale face aux futurs développements socio-techniques : tous les citoyens n'auront

probablement pas accès aux mêmes opportunités de vie, certains étant gagnants et d'autres perdants (Urry, 2016; Sheller, 2018).

En ingénierie de conception, il s'avère nécessaire de prendre en compte une diversité dans les usages et dans les modes de vie. Pour établir ces différences à un niveau individuel, les concepteurs ont alors recours au modèle de persona. Bornet et Brangier précisent que les personas aident à représenter les utilisateurs en mode prospectif et présentent trois facettes principales : (1) modèle d'utilisateur ; (2) outil de communication ; (3) aide à la décision et à la prospective (Bornet and Brangier, 2013). Le modèle de persona est un personnage fictif représentatif d'une classe d'usager fréquemment mobilisé en conception centrée sur les usages (Cooper, 1999). Un persona est classiquement défini au moyen d'un nom, d'une photo et d'une partie narrative qui décrit des attitudes et traits de comportements spécifiques (Adlin and Pruitt, 2010). Cette partie narrative permet de donner vie au persona (Cooper, 1999) (Grudin and Pruitt, 2002). La création de personas peut suivre trois types d'approches (Salminen *et al.*, 2020): (1) à partir de données massives (« data-driven »), i.e. le mode le plus récent lié à l'essor de l'utilisation du big data en conception ; (2) à partir de données qualitatives d'entretiens et d'une majorité d'éléments fictifs ; (3) à partir d'éléments purement fictifs.

Les personas permettent de créer une base commune de discussion, par exemple entre concepteurs et clients (Grudin and Pruitt, 2002). Leur utilisation en conception de produits et de services est donc répandue, et l'est également en mobilité : par exemple pour alimenter la conception de navettes autonomes dans une approche « emotional design » (Kong, Cornet and Frenkler, 2018) ou la conception d'un service de co-voiturage dynamique (Gargiulo *et al.*, 2015). A notre connaissance, les modèles de personas sont plus rarement intégrés formellement à des approches de prospective par scénario, voir cependant (Fergnani, 2019). Fergnani fait la proposition intéressante de rendre visible le lien entre les attributs du persona et ceux du scénario de société future (Fergnani, 2019).

4.3.2 Apports des travaux

L'apport principal de ce travail est la formalisation d'une approche méthodologique systématique et utilisable en groupe, qui croise scénarisation prospective et modèles de personas. Si cette méthode a été créée pour un cas applicatif en mobilité urbaine exposé ici, elle peut être avantageusement adaptée à d'autres cas en ingénierie des systèmes complexes.

- Une adaptation de la pensée par scénarios de l'école « intuitive logics » (Chermack, 2011). Le barycentre de l'activité de prospective n'est plus la création des scénarios, mais se trouve déporté vers la création de personas et l'écriture d'histoires personnalisées. En effet, pour la partie scénario, on s'appuie de préférence sur des scénarios prospectifs existants, génériques à un pays ou une région s'ils existent, que l'on vient colorer par des dimensions d'intérêt. Il s'agit de créer de 2 à 4 visions du futur suffisamment contrastées.
- Un script de caractérisation qualitative de personas qui s'appuie sur un profil de comportement de vie et de mobilité, au croisement de deux dimensions « motivation » et « ressources ». Ces dimensions sont issues de trois théories de sciences sociales² qui permettent d'éclairer les changements de comportement : Social Practice Theory (Reckwitz, 2002), approche Sinus Milieu (Bertram and Berthold, 2012) et Behaviour Change Model (Fogg, 2009). Nous aboutissons ainsi à quatre profils, associant les critères de compétences (ressources limitées ou importantes) et de motivation (ici conservateur ou lanceur de tendance).
- Une déclinaison systématique, pour chaque persona, de sa propre histoire de mobilité dans chacun des scénarios futurs (Figure 17).

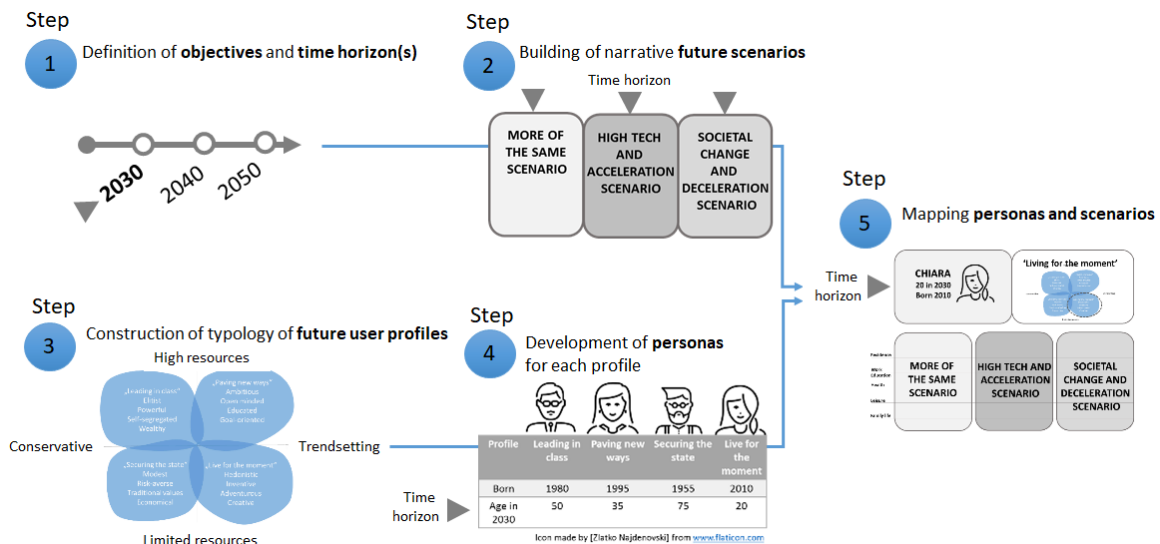


Figure 17 : Description de la méthode de scénarisation Personarrative

² La Social Practice Theory s'attache aux déterminants des routines du quotidien. L'approche Sinus Milieu met l'accent sur les valeurs, croyances et points de vue des individus. Enfin le Behaviour Change Model met en avant les conditions nécessaires au changement de comportement. Dans notre approche, les deux critères principaux qui conditionnent le changement de comportement sont (1) la capacité à adopter un comportement particulier, ou « compétences » au sens large (par exemple l'éducation ou les moyens financiers) ; (2) la volonté, ou la motivation (interne ou externe) menant à ce type de comportement.

Cette approche a été co-construite et expérimentée à trois reprises et selon des modalités que nous discutons dans ce paragraphe : (1) atelier mobilité future 2030 de la chaire Anthropolis avec 12 praticiens R&D et innovation en mobilité (déc. 2017) ; (2) atelier mobilité future 2030-2050 organisé avec le collectif Holos pour le projet Les routes du futur du Grand Paris - Forum Métropolitain du Grand Paris (fév. 2019) ; (3) atelier mobilité future 2030 avec 20 étudiants de école d'été européenne BEST à CentraleSupélec (mars 2019), voir Encadré 1.

Au total à ce jour, nous avons donc exploré la démarche avec une cinquantaine de participants de divers profils, animé la création de 13 personas et de 42 petites histoires de mobilité future en 2030 et 2050 (Tableau 5).

Encadré 1 : Brief de l'atelier Mobilité Future Best 2019 envoyé aux étudiants

The aim of the workshop is to approach the **future of mobility** by imagining short stories of citizens in 2030, depending on the trends of evolution in urban life. You will be introduced with the notion of **utopic or dystopic future scenarios**, and **persona profiles** to shape imaginary characters of citizens. In a group of 4 people, your challenge is to write 2 or 3 short stories for a (couple of) persona(s) of your choice in the context of different future societies. This will finally be shared by **reading or playing the stories**.

Mobiliser la notion de personas

La base commune aux trois ateliers est constituée des dimensions Motivation et Ressources qui donnent corps aux personas. Sur les deux premiers ateliers, nous avons imposé la combinaison âge-profil et la construction des personas a été purement *qualitative, intuitive, à base d'éléments fictifs*. Sur l'atelier 3, les étudiants ont été amenés à tirer au sort les dimensions de profil dans le but d'apporter une dimension plus ludique à l'activité. Une variante a été observée sur l'atelier 2 : une construction semi-qualitative car les trois personas (et leurs enfants) ont été inspirés de 20 entretiens courts avec des personnes réelles rencontrées aux environs du périphérique Nord parisien, zone d'étude pour le projet Routes futures du Grand Paris.

Utiliser des scénarios existants

Dans un souci d'économie de temps et de ressources, nous avons fait le choix de réutiliser des scénarios existants dans la littérature sur la mobilité. Pour l'atelier 2, les trois scénarios génériques qui ont été identifiés dans le premier atelier ont été adaptés aux spécificités de l'Ile de France au cours d'un travail préparatoire en équipe restreinte d'animation (architectes, urbanistes, experts mobilité). Pour limiter la charge cognitive des participants lors de l'atelier, un animateur a été en charge de faire un pitch du scénario (Au fil de l'eau 2030-2050, puis Accélération et Décélération) au démarrage de chaque mini-session créative.

Restituer les résultats narratifs

Les participants de l'atelier pilote Anthropolis ont travaillé à l'écriture d'histoires de mobilité en quelques paragraphes de texte, qui ont été lus et partagés en groupe. Deux formats complémentaires ont été exploré par la suite: réécriture, consolidation des histoires et illustration de chaque histoire en *bande dessinée* par un graphiste, puis présentation lors d'une grande exposition au Pavillon de l'Arsenal des résultats de la consultation Forum du Grand Paris ; mise en espace *théâtrale* en quelques minutes par les étudiants de l'école d'été BEST (Figure 18), car la méthode de persona s'apparente aussi au jeu d'acteurs et peut donner lieu à une forme de théâtralisation³ (Bornet and Brangier, 2013).

Tableau 5 : Synthèse des variables de réalisation des ateliers Mobilité Future

Atelier	Atelier Anthropolis	Atelier Grand Paris	Atelier BEST
Participants	12 praticiens R&D et innovation en mobilité	12 professionnels (architectes, concepteurs, experts mobilité) 3 stagiaires de 3ème	20 étudiants européens
Durée	2h	2,5h	2,5h
Nombre de groupes	4	3	6
Horizon	2030	2030 et 2050	2030
Scénarios	More of the same Accélération Décélération	Fil de l'eau 2030 / 2050 Hypermobilité 2030 / 2050 Hypomobilité 2030 / 2050	(More of the same) Accélération Décélération
Personas-données d'entrée fixées	Age en 2030 Profil	Nom-Couple de personas parent-enfant Age en 2020 Profil Lieu de résidence (zone Nord de Paris)	Couple de personas Age en 2030
Personas – variables choisies en groupe	Nom, situation professionnelle	Situation professionnelle	Nom Profil (tiré au hasard) Caractéristique physique (tirée au hasard)
Résultats narratifs	12 histoires (4*3) 10-15 lignes / scénario/persona Exposé oral	18 histoires (3*6) 5-10 lignes /scénario/persona + enregistrement audio Post-traitement graphique (L'œil du pigeon): 3 bandes dessinées pour chaque persona 2030-2050	12 histoires (6*2) 5-10 lignes / scénario/persona Mise en espace théâtrale

³ Bornet et Brangier (2013) rappellent par ailleurs l'étymologie du mot persona, qui vient du latin « personare » et signifie « parler à travers ». Dans le théâtre ancien, il s'agissait d'un masque accessoire que les acteurs portaient pour incarner pleinement leur personnage.



Figure 18 : Mise en espace pour le scénario Décélération, Ecole d'été BEST 2019

En synthèse nous sommes parvenus à formaliser une approche méthodologique systématique, ludique et utilisable en groupe sur un temps court. La méthode croise scénarisation prospective et modèles de personas et s'appuie sur plusieurs scénarios existants pour la mobilité future à l'échelle 2030 et 2050. A l'issue d'un atelier créatif, les participants aboutissent à la création de personnages fictifs dont ils écrivent des histoires de mobilité future suivant les différents scénarios envisagés. Trois cadres exploratoires avec des étudiants et des professionnels ont été testés entre 2017 et 2019, selon des modalités d'animation et de restitution variées.

Comparativement aux quelques scénarios personnalisés qui existent dans la littérature, nous avons fait le choix délibéré de suivre un même persona qui avance en âge au cours du temps en lui donnant différentes trajectoires de vie en fonction des scénarios, cela pouvant faire survenir des « accidents » dans les parcours. Nous avons rétrospectivement perçu dans ce processus créatif une source d'amusement et d'empathie de la part des participants.

L'une des faiblesses reconnues de la démarche qualitative de construction de persona est le biais que les concepteurs introduisent –consciemment ou non- du fait de leur expérience personnelle ou de leur milieu socio-culturel (Marsden and Haag, 2016; Salminen *et al.*, 2020). Le choix des participants aux ateliers prospectifs devient ainsi un sujet sensible si l'on souhaite assurer une diversité culturelle, voire une représentativité par rapport à une population cible. Il y a aussi la seconde difficulté de concevoir pour des habitants du futur à partir de témoignages de personnes recrutées « ici et maintenant ».

Notre questionnement va dans le sens des travaux de backcasting collaboratif de (Soria-Lara and Banister, 2018) : comment ouvrir la participation à des citoyens non concepteurs et non experts en mobilité ? L'ouverture des ateliers de narration à d'autres tranches d'âge (e.g. des

ânés, des enfants et adolescents) nous semble une piste prometteuse. Au cours de l'atelier Grand Paris, nous avons pu entrevoir le bénéfice (opportuniste certes) d'intégrer un jeune stagiaire de 3^{ème} à chacun des groupes, mais aussi la difficulté potentielle pour ce jeune de s'exprimer au milieu d'un groupe d'adultes. Cela nous ouvre de nouvelles perspectives de recherche qui seront explorées dans la thèse de Tjark Gall (2020-2023), voir paragraphe 7.1.1.

4.3.3 Production scientifique associée

Vallet, F., Puchinger, J., Millonig, A., Lamé, G., & Nicolai, I. (2020). Tangible futures: Combining scenario thinking and personas - A pilot study on urban mobility. *Futures*, 117, 102513. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102513>

Vallet, Flore; Puchinger, Jakob; Millonig, A. (2018). Utiliser des personas pour raconter la mobilité en 2030. *Rencontres Francophones Transport-Mobilité (RFTM)*, 6- 8 Juin, Lyon, France.

Vallet, Flore; Puchinger, Jakob; Millonig, A. (2017). Introducing Individual Travellers in Future Mobility Scenarios. *Mobile Utopia Conference*, November 1-4, Lancaster, United Kingdom.

5. Favoriser la montée en compétences en ingénierie de conception

Le sujet central de cette partie n'est pas l'activité de conception ou d'innovation en tant que telle, mais la mise en place de conditions favorables pour pouvoir monter en compétence lors de ces activités. Dans les deux cas présentés ci-après, nous faisons l'hypothèse que la mobilisation d'outils ou de briques outillées adhoc ont un effet positif sur la montée en compétence d'une organisation ou d'un groupe de concepteurs-apprenants.

5.1 La montée en compétence par la création de trajectoires

Ces travaux ont été développés dans la thèse de Fabien Michelin intitulée « Développement d'une méthode d'intégration de la dimension environnementale dans la relation client/fournisseur en conception-Application à l'industrie mécanique ».

Résumé : Le processus de développement des produits a fortement évolué en quelques décennies vers une externalisation notable, les fournisseurs étant de plus en plus impliqués dans les processus de développement des systèmes de leur client. L'intégration de la dimension environnementale à la conception de systèmes produits mettant en jeu l'ensemble des fournisseurs fait émerger des difficultés supplémentaires dans la relation client-fournisseur car (1) le client doit adresser des demandes compatibles avec la maturité environnementale du fournisseur ; (2) le fournisseur doit pouvoir répondre de manière adéquate à la requête environnementale du client sur le produit. Dans ces travaux appliqués au secteur de la mécanique, nous proposons une méthode pour accompagner la montée en compétence environnementale d'un client et de ses fournisseurs selon les spécificités de leur relation, en travaillant sur la construction du volet environnemental du Cahier des Charges qui est l'élément contractuel entre ces deux acteurs. La méthode GECO (Gestion de L'Environnement dans la relation Client/fOurnisseur) permet deux avancées dans la relation client-fournisseur : (1) le **diagnostic des enjeux environnementaux clients** à prendre en compte à court et à long terme par le fournisseur ; (2) la **formalisation d'une stratégie environnementale** adaptée aux profils de maturité des fournisseurs, qui s'appuie sur un ensemble coordonné d'actions et d'outils d'éco-conception nommés **trajectoires**.

5.1.1 Contexte des travaux

Dans le temps long, nous nous penchons sur la progression rationnelle d'un ensemble de concepteurs ou d'une entreprise dans un domaine de compétence donné, ici en éco-conception. Afin de développer des compétences d'éco-conception au sein d'une chaîne de valeur, cette thèse a exploré les problématiques d'éco-conception à l'interface entre un client et ses fournisseurs.

Classiquement, les problématiques d'accompagnement en éco-conception sont abordées en recherche à l'intérieur d'une entreprise donnée. Ayant posé le statut de l'environnement comme une dimension floue à intégrer à un univers industriel dit « hyper-contraint », (Millet, 2003) a mis en évidence les bases d'un apprentissage organisationnel pour intégrer au mieux la dimension environnementale dans les processus de développement de produits. Cette intégration s'appuie principalement sur la création et l'adoption de méthodes et outils d'éco-conception (Millet, 2003; Reyes, Millet and Joan, 2007), la création de connaissances environnementales, la création de trajectoires pour les PME au sein d'un outil de pilotage (Reyes, Millet and Joan, 2007). Ces divers travaux avancent la nécessité d'avancer pas à pas, par palier, pour faire progresser les pratiques d'éco-conception dans les différents services des entreprises.

En complément de ces travaux, d'autres auteurs ont cherché à définir la notion de **maturité environnementale** d'une entreprise en caractérisant une capacité à mettre en œuvre 62 outils et pratiques répertoriés sous le terme de « Eco-design Management Practices » dans (Pigozzo, Rozenfeld and McAloone, 2013). Ces travaux ont abouti à l'Ecodesign Maturity Model, un digramme-radar qui permet de définir la maturité environnementale globale d'une entreprise grâce à une échelle à 5 niveaux. Cette évaluation de la maturité provient de la notion de capacité, c'est-à-dire de la manière dont l'entreprise applique un nombre défini de pratiques environnementales (Pigozzo, Rozenfeld and McAloone, 2013).

Or le processus de développement des produits a fortement évolué en quelques décennies vers une externalisation notable, les fournisseurs étant de plus en plus impliqués dans les processus de développement des systèmes de leur client (Barreyre, 1988). Dans la mesure où plus de 80% des composants d'un système peuvent provenir de fournisseurs (Stephan and Schindler, 2011), la performance locale des sous-systèmes issus des fournisseurs affecte fortement la performance environnementale du système final auquel ces derniers contribuent (Sancha, Wong and Gimenez Thomsen, 2016). Dans ce contexte, il est devenu crucial d'intégrer les

considérations environnementales au sein de l'entreprise dite *étendue* pour éviter d'éventuels transferts d'impacts. Ce travail s'est plus précisément attaché au point d'entrée de la collaboration client-fournisseur, i.e. la phase de spécification au travers des Cahiers des Charges, et n'a donc pas embrassé toutes les étapes d'une démarche d'éco-conception. On s'est appuyé sur les objets suivants :

- *La spécification environnementale* : un objectif unitaire à atteindre, exprimé du client vers le fournisseur sous forme d'une action ciblée, par exemple « Calculer le taux de recyclabilité selon la norme ISO 22628 ». Soixante spécifications environnementales ont été identifiées dans le domaine de la mécanique, puis regroupées en dix classes principales.
- *Les enjeux environnementaux client* : un ensemble de spécifications environnementales reçues par l'entreprise-cible de la part d'un client, associé à la capacité de réponse de l'entreprise-cible à ces sollicitations.

5.1.2 Apports des travaux

Un premier apport préliminaire de la thèse met en forme **une nouvelle grille de lecture des outils d'éco-conception** en fonction de la position de l'entreprise dans la chaîne de sous-traitance (Figure 19). Le regard porté sur l'usage de ces outils d'éco-conception classiques vient compléter des cartographies plus génériques au plan des utilisateurs-cibles comme celles de (Bovea and Pérez-Belis, 2012) ou (Rousseaux *et al.*, 2017).

Le second apport est constitué d'un **diagnostic de terrain dans le secteur de la mécanique** (Michelin *et al.*, 2014). Celui-ci a mis en lumière le manque d'intégration des enjeux environnementaux aux Cahiers des Charges entre clients et fournisseurs, une coopération limitée entre ceux-ci ainsi qu'une forte disparité souvent constatée entre la maturité environnementale du client et celle du fournisseur. L'originalité a été de prendre en compte plusieurs configurations représentatives d'une réalité selon laquelle (1) le client peut avoir plusieurs fournisseurs ; (2) le fournisseur peut à son tour avoir plusieurs clients. L'ensemble de la réflexion a donc été menée pour une entreprise-cible qui endosse potentiellement deux rôles : celui de client (pour ses fournisseurs) et de fournisseur (pour son ou ses clients).

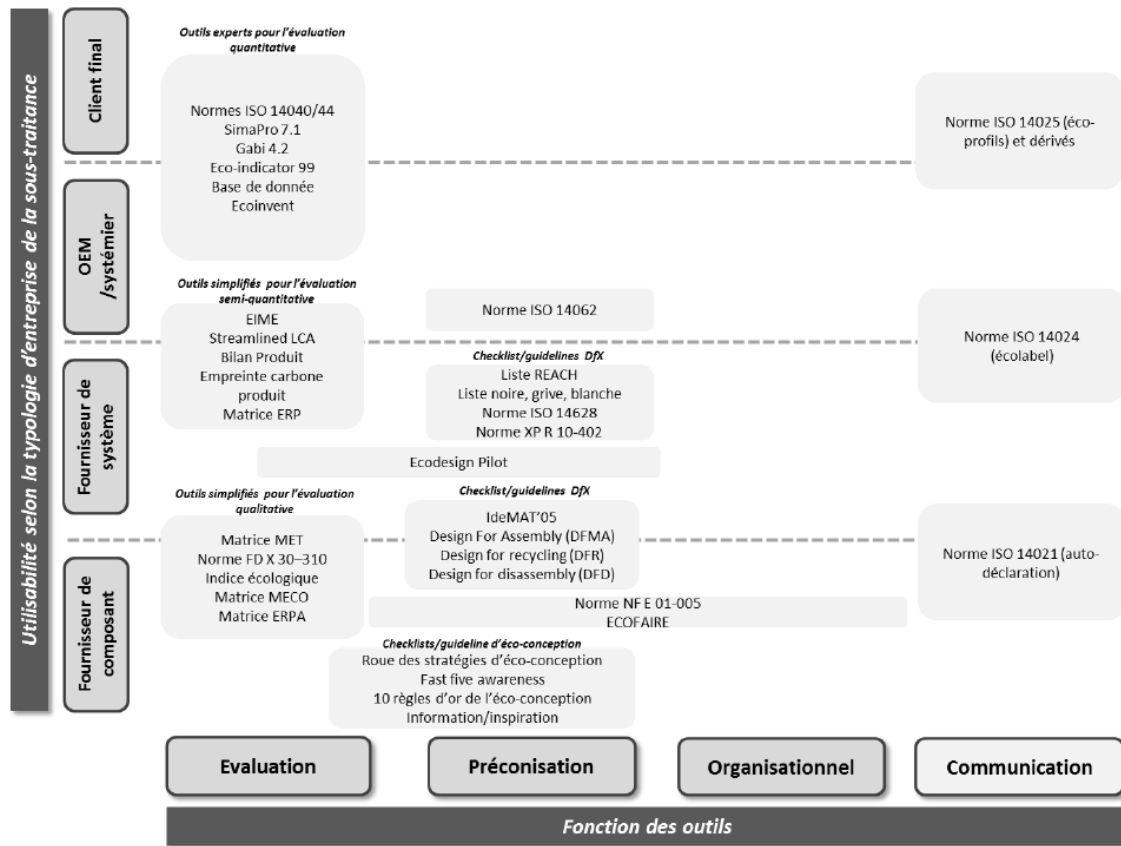


Figure 19 : Cartographie des outils d'éco-conception en fonction de l'utilisation dans la chaîne de sous-traitance (Thèse de F. Michelin)

L'apport principal concerne développement de la méthode GECO (Gestion de L'Environnement dans la relation Client/fournisseur). Celle-ci vise à accompagner des entreprises de la mécanique dans une gestion cohérente, pro-active et sur-mesure de la dimension environnementale avec leurs clients et fournisseurs.

Suivant les étapes classiques d'un processus de conception, la méthode permet, pour l'entreprise-cible :

- En premier lieu d'établir le **diagnostic des enjeux environnementaux clients** à prendre en compte à court et à long terme. Le but est de faire apparaître les enjeux nécessitant une montée en compétence rapide, afin d'anticiper les futures évolutions sectorielles.
- Dans un second temps, un ensemble coordonné d'actions et d'outils d'éco-conception (nommés **trajectoires**) à mettre en place afin de mettre en oeuvre cette montée en compétence. Enfin, la méthode GECO aide à la formalisation d'une stratégie environnementale adaptée aux profils de maturité des fournisseurs.

La méthode a été expérimentée en milieu industriel au moyen de deux cas d'étude. Ceux-ci ont été réalisés chez un grand systémier du secteur ferroviaire et dans une petite entreprise du secteur

de la défense. La pertinence de la méthode a ainsi été confirmée, notamment en ce qui concerne la partie de diagnostic. L'ensemble des propositions de la thèse sont reprises sur la Figure 20 et le Tableau 6.

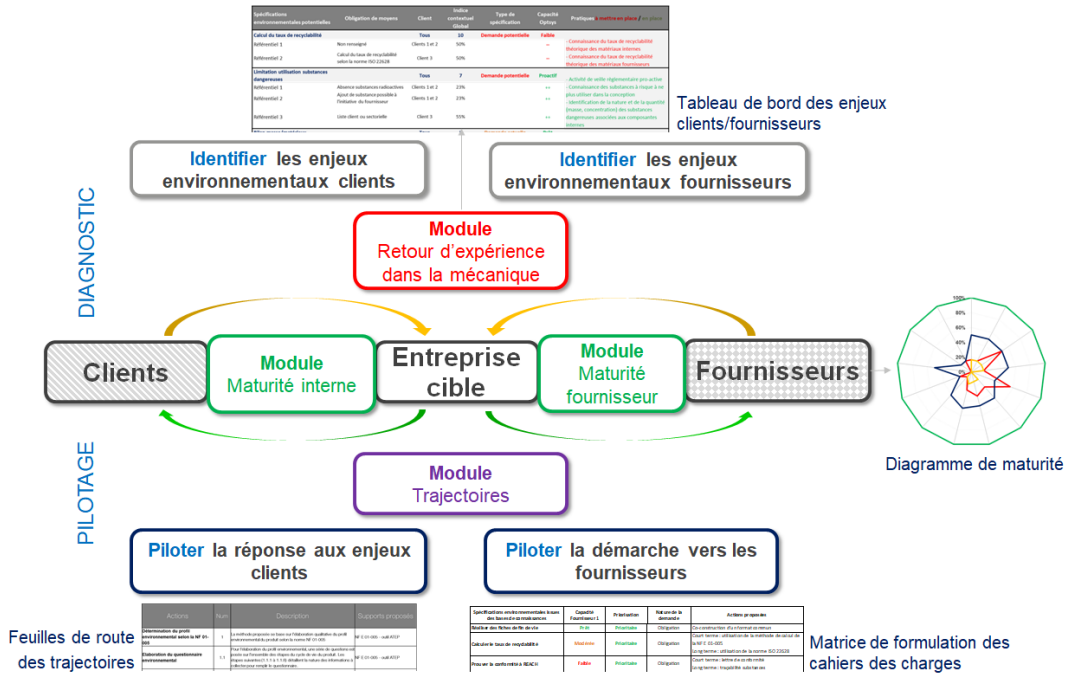


Figure 20 : Synthèse des briques de la méthode GECCO (Thèse de F. Michelin)

Tableau 6 : Synthèse des apports méthodologiques associés à la méthode GECCO

Verrou	Apport méthodologique	Propositions
Organisationnel	Diagnostic environnemental	Identification des <i>spécifications environnementales client</i> actuelles et futures dans le secteur mécanique, au moyen d'une base de connaissance sectorielle des spécifications actuelles (par exemple ferroviaire ou défense) ; d'une base de connaissances trans-sectorielle de tendances dans le secteur mécanique.
		Evaluation de la <i>maturité de l'entreprise-cible</i> et de sa capacité à répondre aux spécifications clients au moyen d'un module d'auto-évaluation (représenté par un diagramme radar de maturité).
Opérationnel	Pilotage de la réponse aux enjeux env. clients	Identification des <i>trajectoires</i> opérationnalisables, à savoir des actions et des outils d'éco-conception à mobiliser.
		Evaluation de la <i>maturité interne</i> de l'entreprise et de sa capacité à mettre en œuvre les trajectoires.
Relationnel	Pilotage de la démarche vers les fournisseurs	Identification des <i>spécifications environnementales actuelles et futures</i> dans le secteur mécanique
		Evaluation de la <i>maturité du fournisseur</i> et de sa capacité à répondre aux spécifications environnementales.

En synthèse, ces travaux ont tout d'abord proposé un élargissement de la maturité environnementale individuelle d'un concepteur vers la maturité organisationnelle d'une entreprise impliquée dans une ou plusieurs relations avec des clients et/ou des fournisseurs.

Le diagnostic environnemental s'est inspiré de l'Eco-design Maturity Model (Pigosso, Rozenfeld and McAloone, 2013) tout en réduisant le nombre de pratiques spécifiques au secteur applicatif de la mécanique et de ce fait le temps de déploiement global. De plus, il est possible pour des consultants formés à l'éco-conception d'établir ce diagnostic en une demi-journée en entreprise, tandis qu'il faut a priori conduire jusqu'à 10 entretiens de 90 minutes avec l'Eco-design Maturity Model. Enfin le diagnostic ainsi défini propose une maturité *différentielle* en référence à celle du client, ce qui est complémentaire de l'approche précédente.

Les limites relèvent de l'expertise et du temps nécessaire pour mener l'ensemble des étapes, justifié ici par le contexte industriel car cela constitue le cœur de cible de l'activité du Cetim, partenaire de cette thèse.

La construction de trajectoires s'appuie sur une approche tendancielle issue d'observations passées, qui par définition ne prend pas en compte des événements de rupture possibles hors du champ de l'entreprise. On pourrait mentionner ici les phénomènes récents de tension sur l'approvisionnement en matières premières qui nécessiteraient des adaptations stratégiques au plan environnemental. Enfin l'approche reste attachée au cahier des charges comme élément contractuel pertinent entre client et fournisseur, et on n'agit finalement pas sur les pratiques en elles-mêmes.

Ces travaux constituent une ouverture vers le projet ALIENNOR, qui propose une vision plus approfondie de la génération de portefeuilles d'idées (cf. 4.1). Une seconde ouverture se matérialise dans la mise en œuvre d'approches à base de multiples scénarios (cf. 4.3), permettant de mieux prendre en compte les incertitudes par rapport à une approche purement tendancielle.

5.1.3 Production scientifique associée

Michelin, F., Reyes, T., Vallet, F., Eynard, B., & Duong, V.-L. (2015). Improving the management of environmental requirements in clients/suppliers co-design process. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 1(DS 80-01)*, 1–12.

Michelin, F., Vallet, F., Reyes, T., Eynard, B., & Duong, V. L. (2014). Integration of environmental criteria in the co-design process: Case study of the client/supplier relationship in the French mechanical industry. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN 2014*, 1591–1600.

Michelin, Fabien; Vallet, Flore; Eynard, Benoît; Reyes, Tatiana; Duong, V.-L. (2013). Towards an integration of environmental criteria in the OEM/subcontractors relationship. *QUALITA' 2013, 10ème Congrès International Pluridisciplinaire Qualité et Sûreté de Fonctionnement, Compiègne, 19-22 Mars*.

Michelin, Fabien; Reyes, Tatiana; Vallet, Flore; Eynard, Benoît; Duong, V.-L. (2013). Vers une intégration de la dimension environnementale dans les processus de conception externalisés. *21ème Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, 26-30 Août*.

Ce travail a fait l'objet d'un encadrement :

Thèse de Fabien Michelin (40%) co-encadrée avec Benoît Eynard et Tatiana Reyes, intitulée « Développement d'une méthode d'intégration de la dimension environnementale dans la relation client/fournisseur en conception-Application à l'industrie mécanique ».

Production d'outil : Démonstrateur logiciel GECO co-développé avec le Cetim.

5.2 La montée en compétence par la pratique ludique

Ces travaux ont été développés dans la thèse de Yiming Ma intitulée « Conception de jeux sérieux pour l'enseignement de méthodologies de génie industriel : un processus de conception basé sur le modèle en V et une application en ingénierie de l'innovation ».

Résumé : Le jeu sérieux peut être vu comme un environnement suffisamment sécurisé et motivant pour apprendre dans de multiples champs de connaissance, et en particulier en ingénierie de conception. Aujourd'hui de plus en plus de jeux sérieux sont créés dans divers domaines, mais peu encore en ingénierie de conception et d'innovation.

Dans cette thèse, on s'intéresse à la fois au jeu lui-même (en tant qu'objet) et à la manière de le concevoir à partir de l'expression des compétences à transmettre à des joueurs-apprenants. Ces travaux proposent une approche à dominante prescriptive et systématique pour la conception d'un jeu sérieux grâce au développement d'un modèle en V, au cœur de laquelle s'insèrent des séances créatives pour imaginer les éléments-clés de ce jeu. Deux types de langages descriptifs ont été clarifiés pour nourrir cette approche : (1) sept éléments de description d'une méthode en ingénierie de conception ; (2) six éléments utiles à la conception d'un jeu sérieux. Des premières réflexions pour articuler compétences d'ingénierie et pratique ludique sont proposées. La démarche a été construite et testée en s'appuyant sur la méthode Radical Innovation Design® développée et pratiquée depuis une dizaine d'année au laboratoire Génie

Industriel. Cette thèse a donné lieu à la création d'un jeu sérieux physique (cartes et plateau) d'une demi-journée comprenant un niveau et six « game challenges ».

5.2.1 Contexte des travaux

Dans le temps court, nous nous intéressons à la ludification des pratiques d'ingénierie de conception pour développer des compétences des joueurs-apprenants par le jeu, le temps d'une partie. L'objectif est de donner l'envie aux apprenants de s'engager sur le temps long.

Alors que notre thèse avait porté sur la clarification des compétences d'éco-conception en vue de leur apprentissage, ces travaux s'intéressent aux compétences d'ingénierie de l'innovation comme spécifications d'entrée lors de la conception d'un jeu sérieux.

Un point d'ancrage reconnu et incontournable pour le développement de compétences en ingénierie pédagogique a été mis en évidence par (Bloom, 1956) au travers de la taxonomie du même nom. Cette taxonomie présente un modèle cognitif à six niveaux initiaux (Knowledge, Comprehension, Application, Analysis, Synthesis, and Evaluation), révisés en Remember, Understand, Apply, Analyse, Evaluate, Create.

Un jeu sérieux, qu'il soit physique ou digital, fait référence à un environnement artificiel. Nous retenons l'une des définitions les plus reconnues dans le cas numérique : il s'agit d'un jeu dont l'objectif premier n'est pas le divertissement ou l'amusement (Michael and Chen, 2006). Les jeux sérieux sont des dispositifs pédagogiques motivants qui ont été largement utilisés pour former à la conception depuis les vingt dernières années (Bulmer, 2011 ; Kerga et al., 2013). Considéré en tant que produit éducatif, le jeu sérieux est issu d'un processus de développement produit classique qui comprend conception, validation, déploiement et mises au point itératives (Alonso-Fernandez *et al.*, 2017). De nombreux travaux ont cherché à caractériser les processus de conception d'un jeu sérieux, que ce soit en lien avec un domaine d'application ou de façon plus générique.

Nous nous intéressons plus précisément aux composants-clés dans la conception d'un jeu sérieux. Nous retenons la coexistence d'attributs de jeu (game attributes ou game mechanics) et d'apprentissage (learning attributes ou mechanics) (Arnab *et al.*, 2015; Lameris *et al.*, 2017). Six composants sont nécessaires à l'évaluation d'un jeu sérieux que sont l'objectif de conception (design purpose), la narration, l'esthétique, les mécanismes (de jeu et d'apprentissage), l'information et le cadrage (Mitgutsch and Alvarado, 2012).

5.2.2 Apports des travaux

Le but de cette thèse est de construire une méthode de conception de jeux sérieux dans un domaine peu exploré : l'apprentissage des processus d'ingénierie de conception et d'innovation. Dans ce cadre :

- La méthode de conception du jeu sérieux doit permettre à des formateurs/concepteurs de construire, pas à pas, le jeu dans sa dimension sérieuse au moyen des objectifs pédagogiques ainsi que dans sa dimension ludique, en articulant le niveau supérieur d'ambition globale du jeu avec le niveau de détail des « game challenges ».
- Le jeu sérieux doit lui-même favoriser le développement de compétences en ingénierie de conception et la création d'une expérience ludique pour les apprenants.

La première contribution s'attache à définir un vocabulaire complet pour décrire les éléments constitutifs d'un jeu sérieux (Figure 21). Trois éléments complémentaires sont apportés par rapport au cadre de référence de (Mitgutsch and Alvarado, 2012) : les accessoires de jeu (« game props »), l'évaluation et les contraintes de conception. Cette description du jeu sérieux est ensuite reprise par étage à trois échelles de plus en plus détaillées : celle du système puis du niveau de jeu et enfin du défi (ou « game challenge »), étant noté que plusieurs défis peuvent apparaître à un même niveau de jeu (Figure 22).

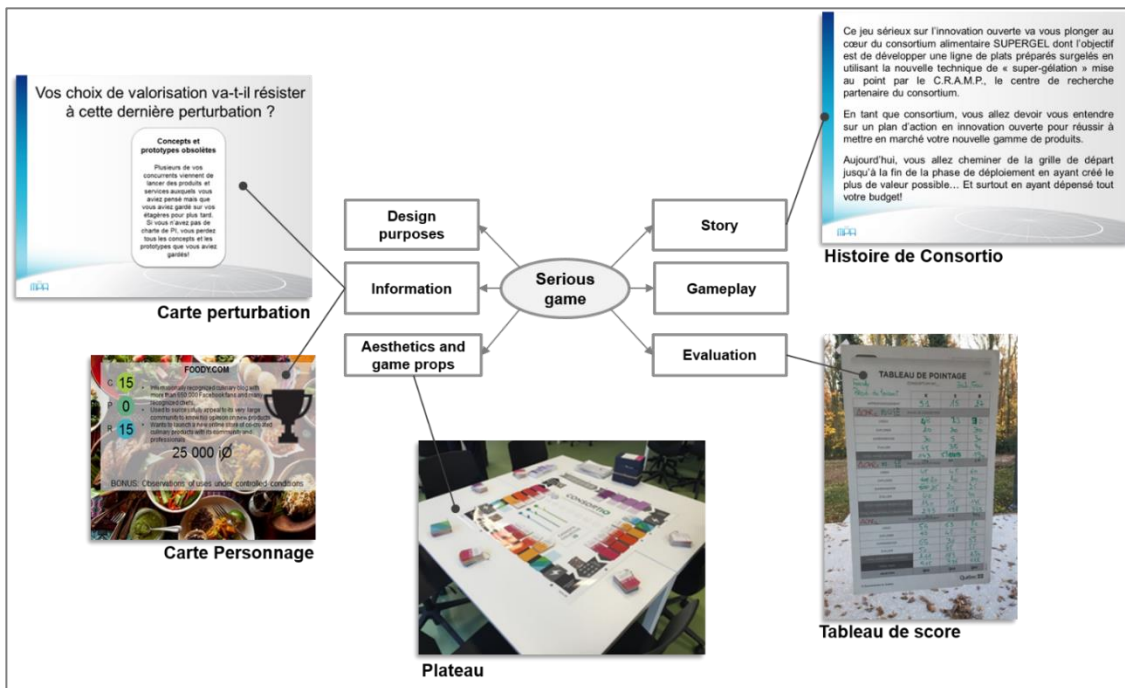


Figure 21 : Définition des éléments d'un jeu sérieux, illustration pour le jeu d'open innovation Consortium (d'après thèse de Y. Ma)

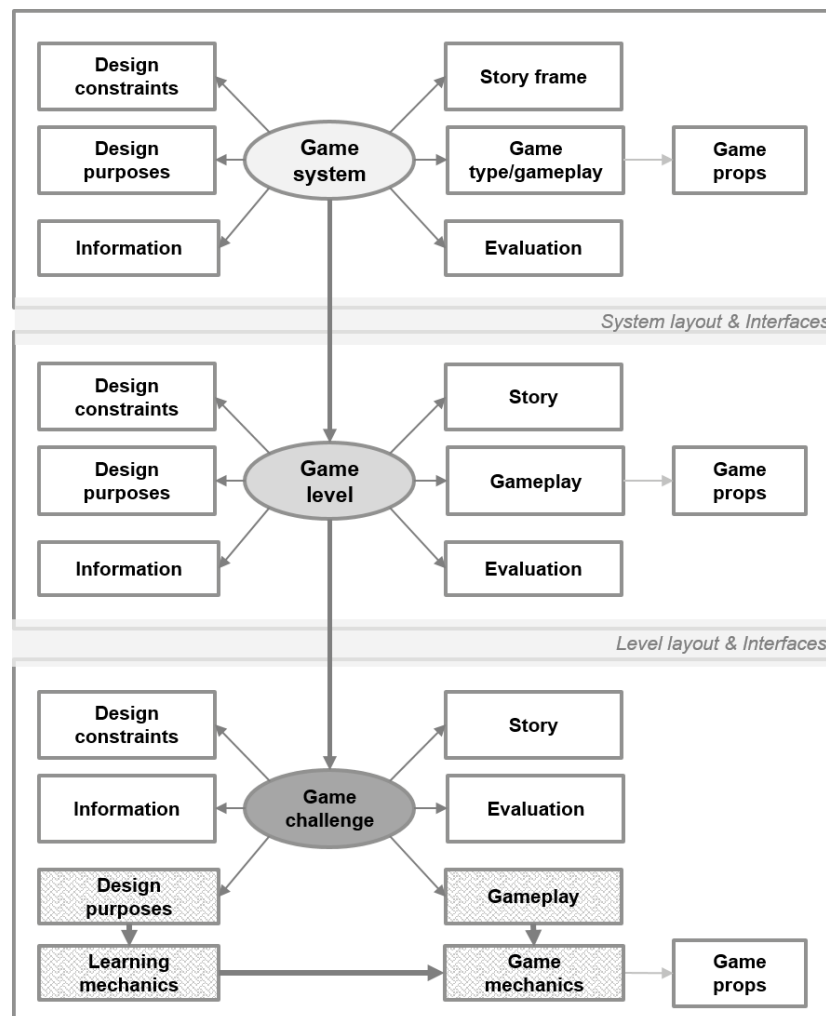


Figure 22 : Articulation des différents étages de conception d'un jeu sérieux (système, niveau, défi) (d'après thèse de Y. Ma)

La seconde contribution a pour objet le développement d'un langage qui permette la description de toute méthode d'ingénierie de conception en vue de son apprentissage. Sept champs de description ont été proposés à cet effet, et mis à l'épreuve par 7 experts sur 12 méthodes différentes couvrant un large espace de l'ingénierie de conception⁴. Ces sept champs génériques sont les suivants : Objectifs ; Processus ; Performances ; Compétences ; Principes ; Concepts ; Outils.

La troisième contribution intègre les deux précédentes au sein d'un modèle en V de conception d'un jeu sérieux : (1) dans une forme générique ; (2) dans une forme spécifique à l'ingénierie de l'innovation (Figure 23).

⁴ Ces 12 méthodes sont : Material Flow Analysis; Analyse de Cycle de Vie; Eco-ideation Stimulation Mechanism; Méthode d'éco-innovation pour systèmes industriels complexes, Total Quality Management; SCRUM; Lean Six Sigma; Material Requirements Planning; PERT; Kanban; Design Thinking

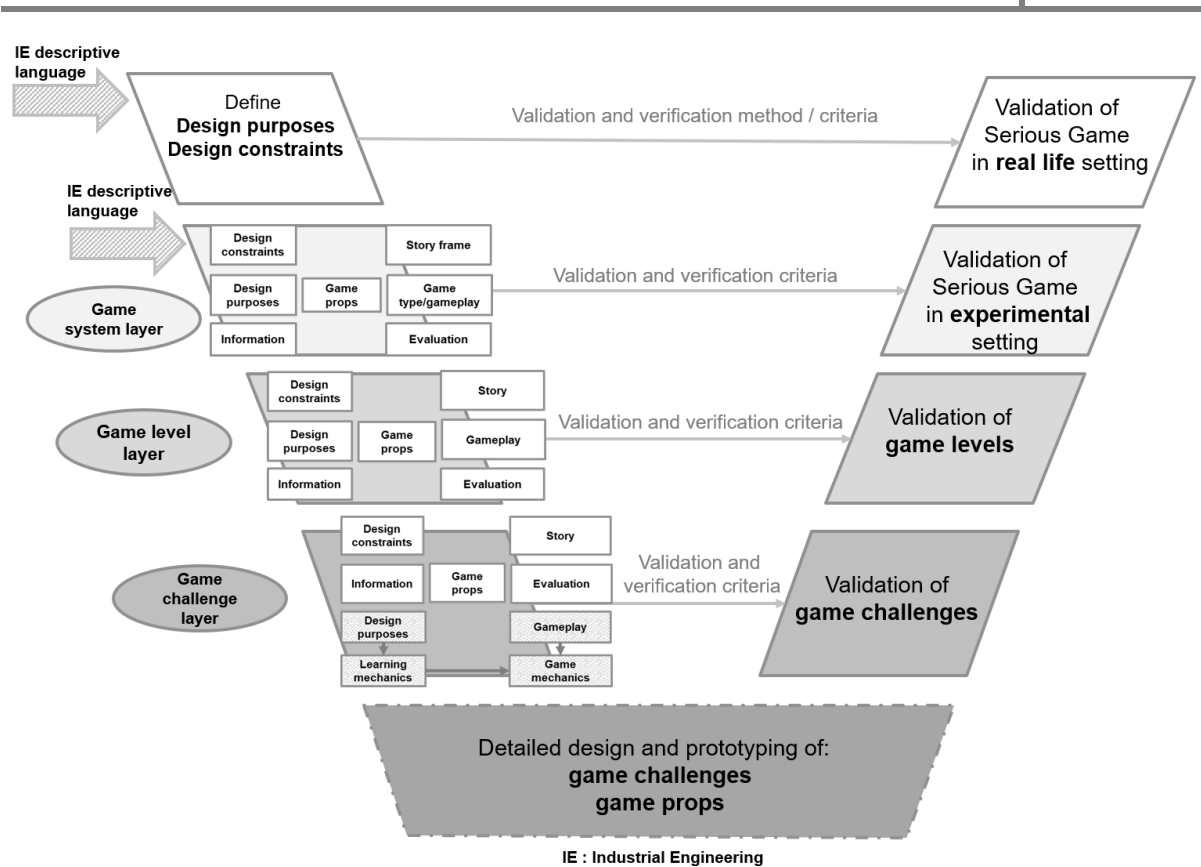


Figure 23 : Modèle de conception de jeu sérieux en V, application à l'ingénierie de conception (IE) (d'après thèse de Y. Ma)

La quatrième contribution est la validation de ce modèle par la création d'un jeu sérieux Radical Innovation Design® sur la mobilité urbaine. Le prototype de jeu a été testé au cours de deux séances de 3h, avec 4 experts en innovation (non familiers de la mobilité) puis 3 novices en innovation (non experts en innovation mais familiers des problématiques de mobilité et transport). Le prototype a été créé suite à 16 ateliers créatifs de 2h entrecoupés de synthèses graphiques intermédiaires.

En équipe de conception, nous avons tiré parti de deux projets Radical Innovation Design® ayant pour sujet la mobilité urbaine et menés dans le cadre de la chaire Anthropolis en 2016 et 2017. L'expertise développée en mobilité au cours de la thèse de Ouail Al Maghraoui a servi d'appui à la création (1) des six profils de voyageurs d'après (Susilo and Cats, 2014); (2) des quatre cartes entreprises ; (3) au codage de la connaissance des problèmes de mobilité les plus courants dans les matrices DSM, permettant de créer des données cachées des joueurs pour juger du score final de ces joueurs (Tableau 7).

Tableau 7 : Description des cartes développées pour le jeu sérieux Radical Innovation Design®

Cartes	Code	Nombre	Description - Exemples
Entreprises	-	4	Mobishuttle ; Mob&Park ; Mobinsurance ; Mobicompanion
Profils voyageurs	Up	9	Transportation workers; Non-transportation workers ; Students; Children: Elderly travellers; Disabled; Short term visitors; Tourists; Passing travelers
Connaissances	DK	30	Cars and parking spaces, Difficulties of a suburban resident, Trip purposes of people in big cities, Characteristics of traveler groups, Vehicle noise, Limitations on mobility provision set by taxi drivers...
Stratégies d'investigation	IS	14	Conduct literature review, Interview people around you, Visit blogs, Launch an online survey, Retrieve focused report, Interview experts ...
Situations d'usage	Us	9	Commuting to work or education, Commuting from work or education, Accompanying others, Business travel, Leisure, Shopping, Emergency, Travel in poorly-served area, Carry heavy weight
Problèmes d'usage	P	9	Waste of time, Lack of comfort, Lack of safety, Increasing the tiredness, Loss of public space, High infrastructure costs, Bad air quality, Noise and CO2 emissions
Solutions existantes	Es	9	Subway, Suburban express train, Private bicycles, Private car, Bus, Electric car, Walk, Car-sharing, Self-service scooters

Pour une question de temps de développement, il n'a pas été possible de couvrir l'intégralité des niveaux de la méthodologie Radical Innovation Design®. Le choix s'est donc porté sur le niveau « Knowledge and Problem design », qui suscite par expérience beaucoup d'interrogations chez les étudiants lorsqu'il s'agit d'aboutir rapidement à des poches de valeur pertinentes pour un projet. Nous décrivons ensuite l'expérience du joueur pour ce niveau, depuis le choix du rôle entreprise jusqu'à l'affirmation et à l'évaluation des poches de valeur par l'animateur à l'aide des données cachées (Figure 24, Figure 25).

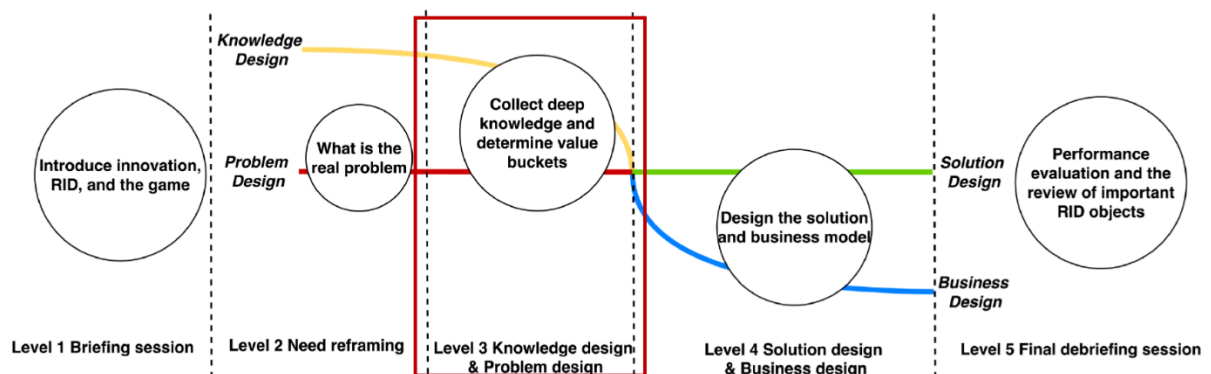


Figure 24 : Présentation des cinq niveaux du jeu sérieux Radical Innovation Design®

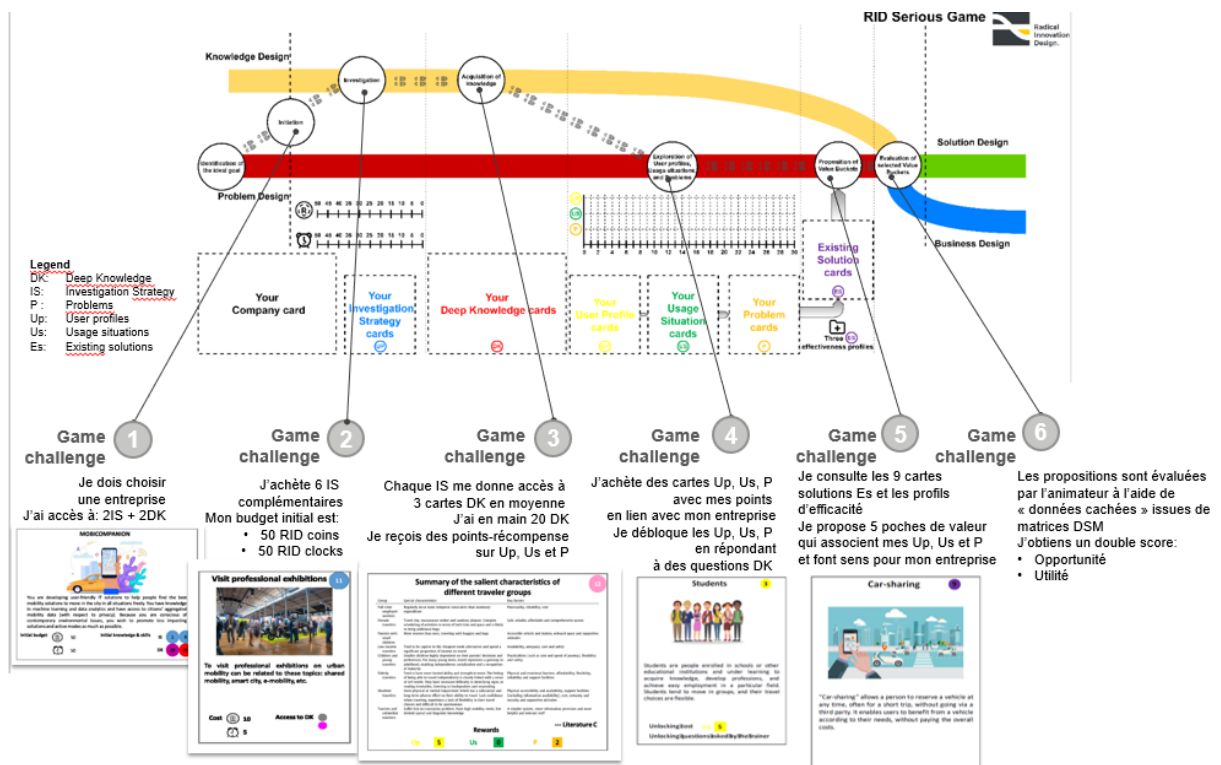


Figure 25 : Parcours de jeu pour le niveau « Knowledge and Problem Design » du jeu Radical Innovation Design®

En synthèse, ces travaux de thèse en ingénierie de l'innovation se sont attachés à la conception d'un produit particulier de nature éducative, le jeu sérieux ainsi qu'à la création d'une expérience couplée de jeu et d'apprentissage pour les joueurs. Alors que notre thèse avait eu pour but de clarifier des compétences dans un domaine émergent, ces travaux se sont appuyés sur des compétences établies en ingénierie de conception et d'innovation. Celles-ci ont été intégrées de manière fluide à un processus structuré de conception du jeu sérieux, lui-même vu à la manière d'un produit manufacturé qui se décompose en trois niveaux hiérarchiques (game system, level et challenge).

Les modèles les plus reconnus dans le domaine comme le SGDA framework (Mitgutsch and Alvarado, 2012) ou le Design, Play and Experience (Winn, 2009) se révèlent davantage descriptifs que prescriptifs, et restent peu explicites quant à la manière d'intégrer pratiquement les compétences visées aux éléments du jeu. La thèse aborde clairement cette question et propose que l'équipe de concepteurs hiérarchise les compétences de 1 à 6 avant de les distribuer sur les trois niveaux hiérarchiques du jeu nommés précédemment. Cependant la description structurée et descendante du modèle en V s'est trouvée en pratique assouplie par quelques itérations créatives qui nous ont permis d'aboutir à un prototype de jeu satisfaisant aux yeux des joueurs-pilotes.

5.2.3 Production scientifique associée

Ma, Y., Vallet, F., Cluzel, F., & Yannou, B. (2020). A Methodological Framework for Making the Transition From Traditional Innovation Teaching Towards Serious Games. *ASME 2020 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, August 17–19*. <https://doi.org/10.1115/DETC2020-22754>

Ma, Y., Vallet, F., Cluzel, F., & Yannou, B. (2019). Analysing the relevance of serious game elements for effectively teaching innovation processes. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 439–448. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.47>

Production d’outil : Jeu sérieux Radical Innovation Design®.

6. Conclusions intermédiaires et bilan des activités de recherche

Depuis 2012, mon thème principal de recherche a été l’exploration problème-solution, qu’il s’agisse d’un contexte de conception centrée usager, d’éco-conception ou d’éco-innovation. J’ai en particulier travaillé sur la génération d’idées créatives dans les phases amont du FFI et du FFEI.

Bien que ne distinguant pas la conception dite routinière de la conception innovante, le Multi-level Design Model MDM de (Joore and Brezet, 2015) offre un cadre pertinent pour positionner nos projets passés selon deux dimensions-clés qui sont le niveau systémique (en ordonnée) et la phase du processus de conception (en abscisse). Sur la Figure 26, les six activités de recherche sont ainsi représentées. La dimension durable de nos projets se traduit par une case verte pour la thèse de F. Michelin, le projet H2020 et le projet ANR ALIENNOR. Notons que le jeu sérieux développé dans la thèse de Yiming Ma figure ici au titre de système produit-technologie éducatif. Je justifie les divers niveaux systémiques traités dans la partie « Des produits manufacturés aux systèmes complexes urbains ».

Phase	Réflexion	Analyse	Synthèse	Expérimentation
Niveau systémique				
Système sociétal				
Système sociotechnique			Anthropolis Personnarative	
Système produit-service	Thèse Ouail Al Maghraoui		ANR ALIENNOR	
Système produit-technologie		H2020 SuPLight		
		Thèse Fabien Michelin		
			Thèse Yiming Ma	

Figure 26 : Positionnement de nos activités de recherche sur la grille MDM d’après (Joore and Brezet, 2015)

De l’ingénierie de conception à la conception durable

Mes travaux ont eu pour point de départ des questionnements méthodologiques liés aux processus de conception et d’innovation en phase amont. Ces questionnements se sont vus renouvelés et enrichis avec l’intégration de la dimension environnementale en conception

depuis le début des années 90. Pour illustrer cela, je me suis plus spécialement intéressée aux thématiques suivantes :

- Exploration créative de l'espace des solutions, utilisation d'heuristiques en innovation et évaluation de concept en phase amont d'un processus d'innovation, réinterprétées en éco-innovation dans l'approche ALIENNOR ;
- Gestion de la relation client-fournisseur en conception avec la prise en compte de la dimension environnementale dans cette relation au cours de la thèse de Fabien Michelin en collaboration avec le CETIM.
- Optimisation des pièces de structure en conception légère intégrant de la matière secondaire issue d'une chaîne de logistique inverse, et donc intégrant la dimension environnementale lors du projet H2020 SuPLight.

Des produits manufacturés aux systèmes complexes urbains

Mes travaux de thèse ont d'abord visé à étudier des produits manufacturés simples, i.e. comprenant peu de composants, de taille réduite comme le rasoir jetable ou l'aspirateur. C'était alors en totale cohérence avec les sujets que je développais en enseignement avec mes étudiants de l'UTC, en bureau d'études ou en génie mécanique option design industriel. Puis j'ai été amenée à travailler sur des pièces ou produits industriels toujours manufacturés, mais :

- développés au cœur d'un processus multi-métier comme les pièces de structure en alliage d'aluminium du projet SuPLight,
- en négociation entre un client et un fournisseur dans la thèse de Fabien Michelin.

Aujourd'hui, au sein de la chaire Anthropolis, ma recherche a pour objet des systèmes complexes de mobilité urbaine. L'unité d'analyse est ici un service de mobilité comprenant des couches physiques et digitales, voire plusieurs services interconnectés au sein d'un éco-système urbain.

Dans ce cadre, j'avance que la compréhension des usages actuels des systèmes de mobilité urbaine est un pré-requis à la conception de nouveaux services durables adaptés au plus grand nombre. Cette activité requiert de nouvelles approches méthodologiques adaptées du human centered design, ce qui nous a conduit à l'établissement d'un vocabulaire adhoc pour comprendre les problèmes de mobilité. Nous avons pris conscience du fort enjeu de connaissance de l'usage et des usagers que revendique chaque acteur de l'éco-système de mobilité.

Poursuivant l'objectif de modéliser les usages dans leur épaisseur, j'ai souscrit à l'hypothèse qu'une approche de segmentation des usagers en des classes homogènes ou profils (comme c'est souvent pratiqué en mobilité/transport, voir par exemple (Pronello and Camusso, 2011), ou en des personas représentatifs de ces classes est un moyen efficace et pragmatique de prendre en compte la diversité des comportements et pratiques. Notons cependant que si ces approches peuvent nous aider à mieux nommer la diversité sociale et à la comprendre, elles peuvent aussi être perçues comme des étiquettes manquant de nuance et procédant d'une réduction du réel. C'est très exactement l'objet de la Règle N°2 par laquelle John Tackara interpelle designers et chercheurs qui s'engagent en conception durable (Tackara, 2008) :

« Travaillez pour de vraies personnes et non pour des catégories de personnes Restez sur vos gardes lorsque vous lisez les mots « les pauvres », « les vieux », « les aveugles ou les handicapés ». Ces façons fort répandues et habituelles de parler désincarnent ou deshumanisent les populations. Si vous ne me croyez pas, interrogez un aveugle ».

(Tackara, 2008, p.171)

Une montée en compétence en ingénierie de conception suivant diverses trajectoires

Au moment de la concrétisation de ma thèse, les compétences d'éco-conception étaient encore peu formalisées et j'ai ainsi entrepris de clarifier ces compétences. Conformément à d'autres travaux, mon positionnement a consisté à décomposer les compétences d'éco-conception par niveaux progressifs afin de définir des trajectoires d'apprentissage. Les travaux de thèse de Fabien Michelin se sont inscrits dans cette continuité.

Avec la thèse de Yiming Ma, nous avons pris un autre point de vue sur l'apprentissage de l'ingénierie de conception : celui de l'apprentissage par le jeu. Dans ce contexte, nous avons cherché à établir les ponts nécessaires entre les compétences devant être acquises par les joueurs et les éléments de ludification à mettre en place pour la création d'un jeu sérieux.

Des objets intermédiaires communs à plusieurs projets de recherche

La notion de *mécanisme* est apparue sous différentes formes au cours de nos travaux. Etymologiquement, il s'agit d'un mouvement, d'une dynamique caractérisant un changement d'état. En éco-innovation, le mécanisme d'éco-idéation MSE renvoie à la déformation d'un système étudié en vue d'explorer un espace de solutions soutenables à une problématique suivant sept dimensions privilégiées. En conception de jeux sérieux, la notion de mécanisme nourrit les game et learning mechanics, qui sont des ressorts élémentaires ludiques et d'apprentissage pour les joueurs-apprenants.

La notion de *narration* ou d'histoire est également apparue à deux reprises. Dans la thèse de Yiming Ma, l'histoire (« storyline ») représente un élément-clé de mise en situation du jeu, lui conférant son caractère d'authenticité. Dans la conception de scénarios prospectifs, les scénarios se manifestent sous la forme d'histoires qui ont pour but de représenter les futurs, et dont il s'agit d'évaluer la qualité et les conséquences.

Plus largement, j'ai la conviction que le jeu présente un fort intérêt en conception, notamment en raison de la force immersive que celui-ci exerce sur les joueurs. Dans les travaux de thèse de Yiming Ma, le jeu sérieux a été développé dans le but de communiquer des notions de conception innovante aux joueurs tout en leur donnant l'envie d'aller plus loin dans l'apprentissage de la méthode Radical Innovation Design[®]. Mais le jeu possède bien d'autres atouts complémentaires. Pour (Gugerell and Zuidema, 2017), le jeu sérieux propose un environnement artificiel réaliste, grâce auquel des concepteurs peuvent pleinement s'exprimer et explorer les possibles en se sentant moins contraints que dans une situation du monde réel. Pour (Vincent Geslin *et al.*, 2017), le jeu 2061 constitue un outil d'animation prospective puissant pour les joueurs, qui ont une plus grande liberté dans l'imagination de l'avenir. En tant que méthode de recherche, l'avantage du jeu est de limiter les biais du bien paraître social rencontrés lors d'entretiens, tandis que ses limites résident dans la documentation et la captation des données ainsi que dans les croyances des joueurs (Vincent Geslin *et al.*, 2017). Le jeu, qu'il soit sérieux ou non, nous semble ainsi avoir un fort potentiel en complément d'autres méthodes plus cadrées et systématiques pour la conception durable de systèmes socio-techniques.

Un positionnement de mes travaux par rapport à d'autres laboratoires pluridisciplinaires

Je positionnerais les travaux de conception et d'innovation appliqués à la mobilité urbaine par rapport à deux laboratoires principaux :

- Le LVMT (Laboratoire Ville Mobilité Transport) qui explore quatre axes (Pratiques de mobilité et imaginaires urbains ; Territoires et acteurs ; Conception territoriale ; Service et Usager) en mettant en œuvre des approches de modélisation économétrique, de sociologie et d'urbanisme ;
- Le LAET (Laboratoire Aménagement Économie Transports) qui s'attache à la compréhension et à la modélisation de la mobilité spatiale des personnes et des biens en interaction avec les modes de vie par des approches d'économie, d'aménagement, d'urbanisme et de géographie, principalement.

Une spécificité de mes travaux tient au fait d'envisager la conception des interactions d'usage et de la technique pour des services de mobilité en allant au-delà d'une analyse visant à la compréhension de ces usages « per se ». Parallèlement à cela, je perçois une influence notable des approches d'urbanisme qui mettent au centre la notion de territoire, ce qui apparaît comme un fort enjeu dans une perspective de transition soutenable. Notons que ces approches territorialisées sont aussi de plus en plus présentes dans les travaux de recherche en Analyse de Cycle de Vie.

Le centre de gravité de la majorité de mes travaux est à l'intersection du Design for Sustainability au sens de (Ceschin and Gaziulusoy, 2016) et de la conception centrée usager.

Au plan national, il existe une proximité avec les laboratoires de génie industriel suivants :

- Sur la conception et l'innovation pour les produits, services et l'organisation, le laboratoire G-SCOP (Université Grenoble Alpes) ;
- Sur la transition vers la soutenabilité des systèmes socio-techniques, le CREIDD (Université de Technologie de Troyes) ;
- Sur l'étude des processus d'innovation : Laboratoire Conception de Produits et Innovation (ENSAM Paris Tech) ; l'Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (ERPI, Université de Lorraine).

Enfin au plan international, nous identifions deux structures qui travaillent sur des sujets connexes aux nôtres :

- L'université technologique DTU au Danemark et son équipe de conception soutenable et économie circulaire ;
- Les équipes Sustainable Design et Mobility de l'université TU Delft aux Pays-Bas.

Un regard réflexif sur les moyens et l'organisation de ma recherche jusqu'à ce jour

J'aborde ici la recherche de synergies entre les expérimentations de recherche que je mène depuis 2008, la formation académique et l'animation scientifique et grand public.

Dans le contexte de ma thèse où je devais assurer l'équivalent d'un service d'enseignement de maîtresse de conférences, j'ai été naturellement conduite à provoquer des confrontations entre ma recherche et les enseignements de conception et design dont j'étais responsable à l'UTC, et donc de « potentialiser » enseignement et recherche. J'ai également fait en sorte de proposer plusieurs animations scientifiques au réseau EcoSD sous forme d'expérimentations de thèse,

personnelles ou partagées avec d'autres collègues doctorants. Je qualifierais cette organisation de *réticulaire*, i.e. de mise en réseau de l'ensemble de mes activités, ce qui m'a permis d'être la plus efficace possible dans un espace temporellement très contraint, et ce jusqu'à la finalisation de la thèse.

J'ai depuis conservé cette habitude de travail qui me semble non seulement efficace, mais aussi fertile dans les échanges et satisfaisante dans l'exercice de mes activités d'enseignante-chercheuse. La Figure 27 donne une illustration de la démarche dans le cadre des travaux Anthropolis saison 1 en connexion avec le projet ANR ALIENNOR. Le dernier volet concerne l'activité de dissémination de résultats de recherche et la vulgarisation scientifique. Pour exemple, nous avons organisé courant 2017 des ateliers avec les personnels de CentraleSupélec afin de percevoir les changements des comportements de mobilité des enseignants, étudiants et administratifs avec le déménagement sur le plateau de Saclay. A l'IRT SystemX, nous avons animé un petit déjeuner Mobilité avec les personnels, un stand pour les visiteurs du Forum SystemX 2017, un atelier « Dessine la mobilité en 2030 » pour les enfants des personnels au Family Day 2017.

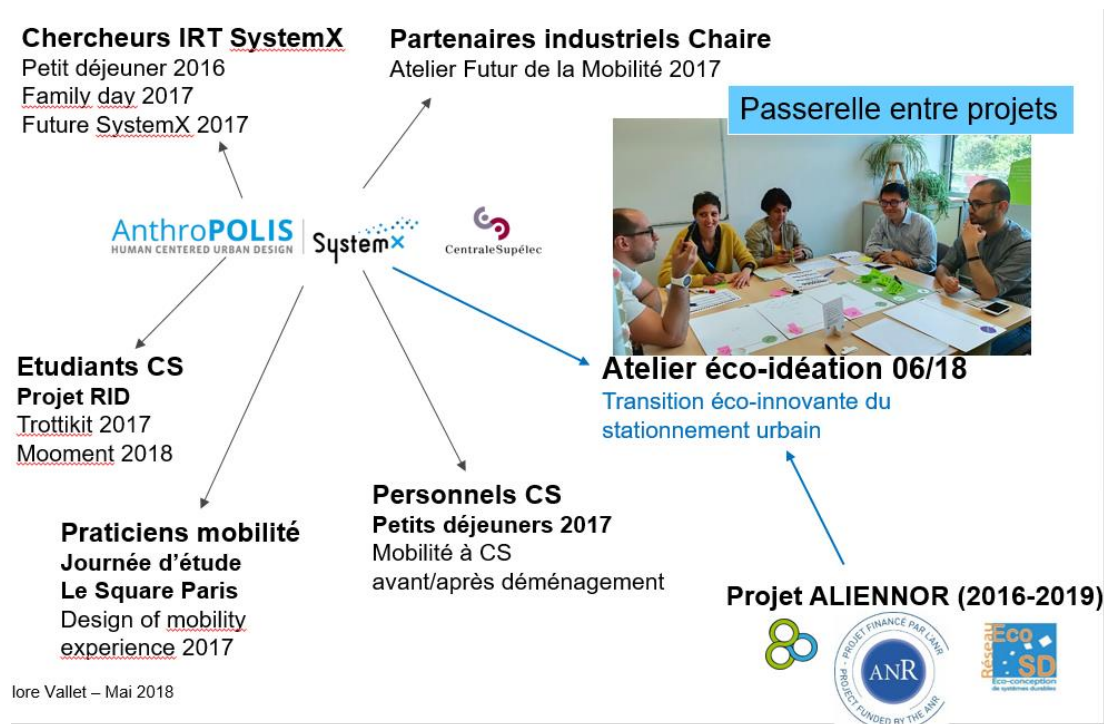


Figure 27 : Passerelle entre les activités Anthropolis et EcoSD

Au cours de ces années, j'ai eu l'occasion de travailler au montage et/ou la réalisation de projets dans divers cadres partenariaux, du projet court académique-industriel financé par le réseau EcoSD (une année) au projet ANR ALIENNOR à trois partenaires (trois ans), et enfin au projet

H2020 SuPLight à 12 partenaires pour une durée 4 ans. J'ai également participé à deux dépôts de projet à une échelle plus locale qui n'ont pas été sélectionnés : appel SmartLab de la région Ile de France 2020 (mobilité post Covid) et projet formation à l'éco-innovation Paris-Saclay OSER (2017).

Les travaux dans le cadre H2020 m'ont semblé d'une portée scientifique plus limitée et cela pour deux raisons principales. La première était liée au découpage même des lots, notre équipe projet ayant en charge de lot Eco-conception et Logistique Inverse tandis que le lot Analyse de Cycle de Vie (intimement liée à l'éco-conception, par essence) revenait à une agence de consultance européenne hors du territoire. La seconde raison est que les développements méthodologiques n'ont, du fait de l'organisation, pu être confrontés aux utilisateurs-cibles de l'entreprise cliente en Norvège, ce qui a limité leur portée.

Au-delà de ces partenariats académiques, mes activités se sont développées en faisant équipe avec divers praticiens de la conception dans son acception la plus large : des architectes (collectif Holos pour le futur des Routes du Grand Paris), un groupe multidisciplinaire de 14 personnes dont des architectes et des élus pour le projet Passerelle, des designers sur les sujets d'éco-innovation (coopérative Mu, agence Big Bang Project), des partenaires industriels du monde de la mobilité, de l'énergie et du monde numérique pour la chaire Anthropolis. Pour la poursuite de mes travaux, j'ai le souhait de continuer à créer de tels environnements multidisciplinaires de collaboration qui sont essentiels dès lors qu'on s'intéresse à la conception de systèmes socio-techniques pour une transition soutenable.

7. Projet de recherche et d'enseignement

Mes perspectives de recherche s'inscrivent dans le cadre de la conception et de l'innovation de systèmes socio-techniques au service de modes de vie soutenables, dans un contexte de multiples tensions planétaires et climatiques comme le souligne le 6^{ème} et dernier rapport du GIEC. La recherche de modes de vie soutenables remet potentiellement en cause les logiques de production et de consommation en cours, cf. Objectif de Développement Durable N° 12 (United Nations, 2015) et a pour ambition une plus grande qualité de vie des personnes comme des futures générations. Dans cette vision, la conception de systèmes socio-techniques embrasse la conception de systèmes techniques, de modèles d'affaires, de multiples expériences individuelles (au sens du User Experience Design), de pratiques sociales au sens de la sociologie et de la sociologie urbaine en particulier.

Au travers de la conception s'exprime notre rapport à la technosphère (la technologie) et à la biosphère, et donc à la nature et aux autres êtres vivants. Pour aller dans le sens de la transition écologique (par exemple vers la cible de neutralité carbone en 2050), les concepteurs ont la lourde tâche de comprendre et de modéliser de multiples interdépendances, par exemple : dépendance du système qu'ils conçoivent avec d'autres systèmes ; interdépendance entre les impacts environnementaux, cela conduisant à des phénomènes de renforcement ou de compensation. C'est le rôle de la recherche d'aborder ces défis méthodologiques et d'aider les concepteurs à s'inscrire dans cette dynamique de transition soutenable, qui doit s'opérer à *large échelle*, de manière *systémique* vers des *transformations sociétales à long terme* (Garduño García and Gaziulusoy, 2021).

Je propose pour cela de développer trois angles de vue et activités de recherche et d'enseignement, qui seront-elles-mêmes projetées sur la grille MDM (Joore and Brezet, 2015) tout comme nos précédents travaux (cf. Figure 19). Suivant une lecture verticale, l'activité proposée traversera plusieurs échelles systémiques tout privilégiant une phase de conception ou d'innovation. Une activité de recherche pourra s'avérer plus horizontale et se situer à cheval entre plusieurs phases du processus de conception, et ce à l'échelle d'un *système socio-technique* principalement.

Pour qui développer une approche d'inspiration artistique en ingénierie de conception ?

Les bénéficiaires de mes travaux sont des concepteurs de produits, services et systèmes au sens le plus large, notamment les professionnels amenés à s'interroger sur les usages dans les phases amont de Réflexion ou Analyse au sens de (Joore and Brezet, 2015). Dans la continuité de mes précédents travaux, je m'adresse donc aux concepteurs spécialistes d'ingénierie de conception aussi bien qu'à des designers industriels mobilisés autour de la question des transitions (écologique, énergétique, ou numérique).

Je m'adresse également aux futurs professionnels que sont les étudiants-ingénieurs en m'intéressant à l'ingénierie de formation, ce qui appelle un volet de projets à caractère pédagogique sur certains des axes de recherche.

Je pose comme hypothèse que ces différents bénéficiaires, ingénieurs comme designers sont aujourd'hui confrontés : (1) à des difficultés de conceptualisation et d'action à différentes échelles de réflexion pour penser les usages ; (2) à des problématiques systémiques sur des systèmes interdépendants.

Vers une approche d'inspiration artistique en ingénierie de conception

Revenons, en préambule de ce chapitre, aux sources de la formation de l'ingénieur en France. Jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle, l'ingénieur - dit ingénieur-artiste - était formé à la représentation et au dessin d'architecture (Picon and Yvon, 1993). Nous en avons le témoignage dans les cahiers de projet d'étudiants de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures conservés par les archivistes de CentraleSupélec. Cela reflétait une cohabitation harmonieuse entre la maîtrise de savoirs techniques et la capacité de représentation artistique. Le premier ingénieur-artiste -et le plus connu- est bien sûr Leonardo Da Vinci, peintre hors pair et concepteur de machines et d'ouvrages.

Plus près de nous, la profession de designer industriel peut être vue comme une résurgence de l'ingénieur-artiste. En effet la première école de design, le Bauhaus fondé en 1919 par Walter Gropius à Weimar, naît d'une réflexion fondatrice et utopiste qui interroge la relation entre l'artiste et l'industrie (Midal, 2009).

En m'appuyant sur l'ouvrage « Introduction au design, histoire d'une discipline » (Midal, 2009), j'expose ci-après en quoi l'histoire du design industriel, ses fondements et pratiques constituent un socle approprié pour positionner mes trois principaux axes de recherche. A la croisée entre les beaux-arts, l'industrie et l'architecture, le design et les différents courants qui l'ont traversé se positionne bien au-delà d'une simple négociation entre la forme et la fonction

ou de simples querelles esthétiques. En consignnant une histoire du design depuis ses prémices avec la révolution industrielle à la fin du XIX^{ème} siècle, Midal rappelle que le design s'est construit autour de forts débats d'idées (Midal, 2009). Parmi ceux-ci, j'en relève trois, dont les résonances contemporaines me paraissent particulièrement intéressantes et porteuses, et pour lesquelles je précise la portée environnementale.

Le design porte intrinsèquement un mouvement de **projection dans le futur** au même titre que la science-fiction. C'est d'ailleurs le sens du « dessein » ou anticipation du futur. A partir de cette aspiration, je propose un premier axe qui vise à concevoir les usages du futur, i.e. des futures générations (ou de nous-mêmes devenus vieux) en m'interrogeant sur leur lien au passé (7.1).

Le design s'interroge sur la **séparation entre pensée et sensibilité** : « *Le design arpente depuis ses origines des territoires autrement plus spéculatifs comme ceux de l'imaginaire par exemple, de l'esthétique ou encore de la négociation de la primauté matérielle* » (Midal, 2009, p. 193). Cette opposition apparente me conduit à envisager un second axe de recherche qui s'attache à construire des processus de conception soutenable articulant une pensée rationnelle et des imaginaires créatifs (7.2). Comme nous le verrons par la suite, l'imaginaire se révèle un puissant allié dans des situations incertaines et lointaines. Ce pilier sensible est de plus en plus reconnu comme étant d'une extrême importance pour aborder les problèmes sociétaux complexes, ainsi qu'en témoignent deux éditions spéciales de la revue *Journal of Cleaner Production* en 2017 et 2021 (Schulz *et al.*, 2021)⁵.

Le design porte très tôt un regard critique sur l'industrialisation et sur ses conséquences sur les individus, mettant en avant les **limites de la mécanisation** et **l'inquiétude liée à la technologie**. Dans le même temps, les designers se saisissent des avancées technologiques (par exemple la mise en œuvre des matières thermoplastiques) pour les mettre au service des objets du quotidien. Je fais ici un parallèle avec les questions contemporaines posées par l'utilisation de la haute technologie, des données (massives notamment) en conception et de leurs impacts environnementaux et sociétaux potentiels. Ceci est mis en regard du mouvement de ralentissement, de recherche de frugalité dite « basse technologie » ou « low tech », voir (Bihouix, 2014). L'objectif de ce troisième axe de proposer un cadre pour penser la relation de l'innovation à la technologie dans une perspective de soutenabilité (7.3).

⁵ Nous y trouvons notamment plusieurs témoignages de travaux inspirants en soutenabilité explorés au moyen de pièces de théâtre ou de « jamming sessions ».

Les trois thématiques ne sont pas indépendantes et quelques liens illustratifs peuvent d’ores et déjà être établis comme le suggère la Figure 28. Dans ce chapitre, j’ai fait le choix de commencer par la thématique la plus ambitieuse à laquelle je souhaite contribuer (7.1), qui est celle de la transition des usages séparée en quatre parties A1 à A4 (Tableau 8). Je développe ensuite deux axes qui viennent en soutien conceptuel et méthodologique à cette thématique : l’articulation imaginaire-rationalité (7.2) et l’articulation high tech-low-tech (7.3). Dans ces deux dernières parties, je proposerai plusieurs idées de contributions croisées entre les trois axes de recherche comme on peut le voir sur le Tableau 8.

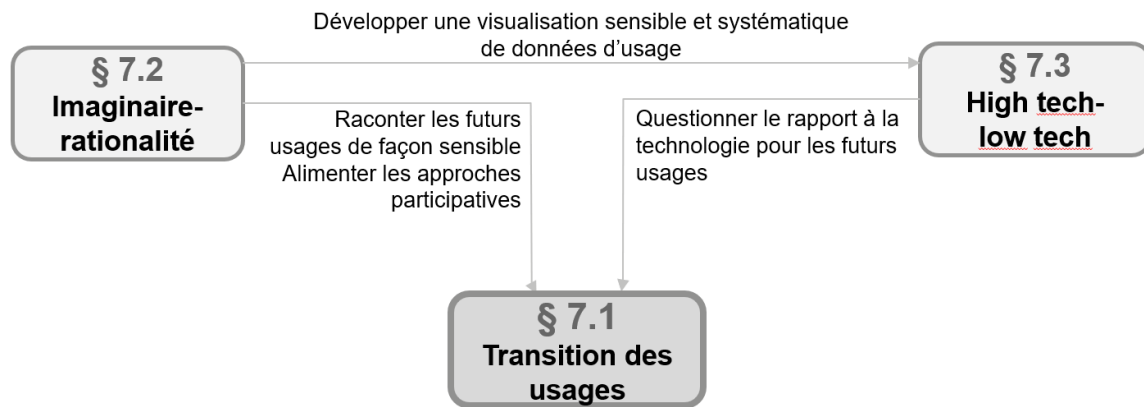


Figure 28 : Articulation des futurs axes de recherche

Tableau 8 : Propositions de croisements entre axes de recherche

Axe principal :		A1 - Scénariser les usages futurs	A2 - Evaluer les impacts des systèmes socio-techniques	A3 - Modéliser la diversité des usages futurs	A4 - Concevoir et innover avec les aînés
Explorer la transition des usages		Application à la mobilité			
Articuler imaginaire et rationalité	Narration et jeu	●		●	●
	Visualisation données	●	●		
Articuler high tech et low tech	Cadre de réflexion générique		●		
	Cadre de réflexion appliqué à la mobilité	●	●		

7.1 Des approches pour explorer la transition des usages entre passé et futur

Dans cette partie, je développe la thématique « chapeau » qui s’intéresse à la modélisation, l’exploration et la simulation des usages en transition, dans une vision imprégnée d’histoire (*quel lien entre le passé, le présent et le futur ?*) mais aussi de spécificités géographiques et culturelles (*quelle démarche de projection des usages pour un territoire ?*).

Par rapport au positionnement de mes travaux antérieurs, j’envisage de m’intéresser plus avant aux diverses étapes de conception d’un système socio-technique (initiée lors de la première saison de la chaire avec la méthode Personarrative), notamment en ce qui concerne les usages et modes de vie en milieu urbain. La prise en compte d’une logique territoriale me conduit assez naturellement à prendre de la distance par rapport à la considération des usagers vus comme des individus maîtres de leurs choix et de leurs comportements. La dimension sociale des usages dans ses composantes matérielles, de compétences et de significations (Shove, Mika and Watson, 2012) s’avère digne d’intérêt et me conduit à envisager des collaborations avec des sociologues ou des sociologues urbains pour aborder de telles questions, dans la continuité de la collaboration avec Dr Alexandra Millonig pour l’article paru dans la revue Futures (Vallet *et al.*, 2020).

La Figure 29 cherche à positionner les futurs travaux au cœur de cette partie thématique. En ouverture, la thèse de Tjark Gall « Futur de la mobilité » est d’ores et déjà financée par la chaire Anthropolis et a débuté fin 2020. Des résultats préliminaires sont présentés ci-après. Les trois autres volets « Evaluation des impacts sur les modes de vie », « Modélisation des usages futurs » et « Co-crédation avec les aînés » sont en cours de réflexion, le cadre collaboratif adapté restant à définir.

	Phase	Réflexion	Analyse	Synthèse	Expérimentation
Niveau systémique					
Système sociétal					
Système sociotechnique		Thèse Futur de la Mobilité 2020-	Modéliser les usages futurs		Evaluer les impacts sur les modes de vie
Système produit-service					Co-crédation avec les aînés
Système produit-technologie					

Figure 29 : Axe de recherche Transition des usages, d’après (Joore and Brezet, 2015)

7.1.1 Scénariser les usages futurs pour une transition soutenable - Application à la mobilité urbaine

Dans la continuité des travaux Personarrative (4.3), nous avons souhaité approfondir la question de scénarisation des usages futurs pour une transition soutenable dans le cas particulier de la mobilité urbaine, la méthode pouvant être étendue à d'autres problématiques sociétales actuelles.

La motivation exprimée par les parties prenantes consiste à projeter des usages de mobilité à court et moyen terme (soit à 5-15 ans) tout en ayant en ligne de mire l'horizon 2050 ciblé par la stratégie nationale bas-carbone (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2020). Les parties prenantes que l'on a identifiées sont ici les acteurs économiques, mais aussi les acteurs de la société civile et les acteurs politiques des collectivités locales et territoriales.

J'ai été à l'initiative de la rédaction d'un sujet de thèse prospectif et multidisciplinaire qui vise à mieux comprendre, explorer et anticiper les futurs de la mobilité urbaine en fonction de l'évolution des modes de vie et des tendances sociétales présentes ou en émergence. La mobilité et les systèmes de transport sont des contributeurs majeurs à l'urbanisation accélérée des territoires nationaux et internationaux. C'est pourquoi le futur de la mobilité occupe une place privilégiée au cœur des sujets que traitent les chercheurs et acteurs du domaine du transport et de la transition.

Les premières questions de conception soulevées dans le cas de la mobilité urbaine sont :

- *Pour la phase de réflexion, quels sont les objets de représentation de la transition d'un système de mobilité permettant de créer une vision partagée entre les parties prenantes ? Quelles échelles de temps considérer ? Quels sont les objets génériques ou au contraire spécifiques à un territoire ?*
- *Pour les phases d'analyse et de synthèse, quelle est la pertinence d'une approche participative, selon quelles modalités d'animation ? Quelles parties prenantes faut-il associer sur un territoire ?*

La thèse de Tjark Gall, architecte urbaniste de formation s'inscrit dans ce cadre et nourrit les travaux de la chaire Anthropolis pour la période 2019-2023. La thèse est dirigée par Bernard Yannou et co-encadrée avec Sylvie Douzou, sociologue chez EDF R&D.

Le travail de thèse se situe à l'intersection des approches de scenario planning, de transition design et de human-centered design. Les approches de terrain que l'on souhaite mobiliser

s'apparentent à la conception participative (avec des collectivités locales, des fournisseurs de solution, des citoyens) et comportent la notion de spécificité de territoire pour lequel on souhaite développer une vision d'avenir.

A ce jour, l'ambition de la thèse est d'apporter des contributions méthodologiques sur :

- La modélisation d'un *système de mobilité urbaine* dans une vision de transition.
- La co-création de multiples visions du futur de la mobilité urbaine à 5, 10, 20 ou 30 ans dans un souci d'ancrage local, par exemple au moyen de scénarios prospectifs ; la démarche de co-création de solutions de transition pour les systèmes de mobilité urbaine en cohérence avec ces visions plurielles.
- Une caractérisation de contribution potentielle de ces systèmes de mobilité urbaine à une transition soutenable.

Production scientifique préliminaire

Gall, T., Vallet, F., Yannou, B. (2021). Co-creating Sustainable Urban Futures: An initial Taxonomy of Methods and Tools. 57th ISOCARP World Planning Congress, 8-11 November, Doha, Qatar.

Tjark Gall, Flore Vallet, Sylvie Douzou, Bernard Yannou (2021). Anticipate, Adjust, Adapt : Managing Sustainability Transitions through multiple Scenarios of Urban Mobility Futures. European Transport Conference 2021, Association for European Transport, Sep 2021, Online, United Kingdom. (hal-03351857).

Gall, T., Vallet, F., Douzou, S., & Yannou, B. (2021). Re-defining the system boundaries of human-centred design. Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED'21, 1, 2521–2530. <https://doi.org/DOI: 10.1017/pds.2021.513> *Reviewer's favourite*.

7.1.2 Evaluer les impacts des systèmes socio-techniques sur les modes de vie

Cette partie de la proposition se positionne plus en aval du processus de conception, dans la phase Evaluation-Expérimentation. Au démarrage de nos recherches, il a été question de l'évaluation des idées créatives en éco-innovation, qui m'a amenée à me pencher sur l'abondante littérature traitant de l'évaluation des idées en créativité (cf. 4.1.1). Une nouvelle échelle de pertinence apparaît pour les concepteurs et les décideurs lorsqu'on parle de systèmes socio-techniques (i.e. un quartier, un système de santé, de mobilité...). Il nous faut renouveler le jugement de la performance d'un système, en sollicitant par exemple les parties prenantes.

Les questions associées à cette partie sont :

- *Comment modéliser l'effet du développement d'un système socio-technique sur les modes de vie futurs ?*

- *Est-il judicieux d'intégrer la théorie des pratiques pour discuter le caractère soutenable de ce développement ?*

En ingénierie de conception, la simulation est une approche communément utilisée en phase d'évaluation. En particulier, **la simulation à base d'agents** (ou simulation multi-agent) a pour objet la modélisation de comportement de systèmes complexes à partir du comportement d'agents existants au sein du système. Je souligne l'intérêt que présente cette approche de simulation qui modélise des **activités**, en cohérence avec le cadre général de développement de nos travaux (cf. 2.4). L'évolution du système à un niveau macroscopique est consécutive à l'ensemble des interactions entre agents à un niveau « micro ». Cette approche d'origine computationnelle présente donc un intérêt indéniable lorsqu'il s'agit de décrire des évolutions de systèmes urbains et se trouve de plus en plus utilisée en mobilité et transport, voir par exemple les travaux de (Vosooghi *et al.*, 2019).

Une première tentative d'enrichissement de la simulation multi-agent par l'introduction de profils de mobilité attachés à des agents « voyageurs » a été effectuée lors du stage de master d'Antony Dutertre en 2017 intitulé « Compréhension micro-qualitative des comportements des usagers dans la mobilité urbaine : Motivations, satisfactions et insatisfactions ». C'est une intention également présente dans les travaux de thèse de Pascal Un dans le cadre du projet IVA (Information Voyageur Augmenté, 2018-2021). L'un des volets de cette thèse est la génération d'un modèle de comportement des usagers des transports en commun en situation perturbée et en présence d'informations voyageur. Ce type de modèle a pour vocation de nourrir l'algorithme d'un simulateur multi-agent développé qui a été développé par le partenaire SPIROPS du projet.

Enfin, l'une des orientations possibles de la thèse « Futur de la mobilité » est d'étudier les synergies potentielles entre l'approche de scénarisation de la mobilité future nourrie par des apports des sciences humaines et sociales avec la simulation multi-agent, afin de simuler des futurs comportements de mobilité sur un territoire. Plusieurs verrous en découlent comme résumé par (Silverman, 2018) dans son ouvrage sur l'application de la simulation multi-agent en sciences sociales : (1) l'explicabilité seulement partielle d'un phénomène à un niveau agrégé grâce aux comportements individuels ; (2) le besoin de caractériser les propriétés de l'articulation micro-macro en approche descendante et ascendante ; (3) la validation des modèles multi-agent et de leur reproductibilité.

7.1.3 Modéliser la diversité des usages futurs

Nous avons vu que la modélisation des usages actuels dans le cadre de systèmes socio-techniques de mobilité était à la fois un très fort enjeu (cf. thèse de Ouail Al Maghraoui) mais aussi une réelle source de questionnement méthodologique car :

- il existe beaucoup de pratiques singulières et non unifiées, difficiles à capter dans leur diversité ;
- l'essor des dispositifs mobiles comme le smartphone permet d'accéder à ce jour à des traces digitales de mobilité permettant de reconstituer des comportements individuels, mais ceci dans certaines conditions et en respectant la vie privée des usagers.

Pour les collectivités locales, la projection de futurs usages à des échelles de temps variables constitue, a fortiori, un enjeu de taille qui peut conditionner les projets de territoire et la conception de futurs systèmes urbains. Les questions envisagées s'expriment comme suit :

- *Comment modéliser des usages futurs inconnus et incertains à des échelles de temps variables (à moyen et à long terme) ?*
 - *Quels sont les paramètres-clés pour décrire la diversité des usages futurs de la vie urbaine à court, moyen et long terme ?*
 - *Faut-il se projeter soi-même dans les usages futurs ou imaginer d'autres personnes que soi dans ces usages ?*
 - *Comment qualifier et quantifier de futurs usages de la vie urbaine ?*

A ce stade, je formule une proposition très préliminaire pour aborder la construction des futurs usages par la modélisation de certains traits des futurs usagers (Figure 30). Pour cela je propose de rapprocher la notion de persona (cf. 4.3.1) de la notion de population synthétique utilisée en simulation multi-agent. L'approche s'appuie sur la désagrégation de données agrégées à l'échelle de la population d'un territoire pour la simulation ou l'innovation, suivant deux cheminements possibles, vers : soit la création de personas représentatifs comme proposé dans (Stevenson and Mattson, 2019) ; soit la création d'une population synthétique pour la simulation, comme dans par exemple (Vosooghi *et al.*, 2019; Hörl and Balac, 2021).

La représentation des futurs usagers correspond ainsi à une projection dans le futur de la modélisation actuelle selon des logiques qu'il nous appartient d'explorer (mise en évidence de tendances lourdes, exploitation de signaux faibles, démarches intuitives et exploratives...). Il reste entendu que la segmentation des usages et des comportements permet la simplification et

facilite l'action en conception, mais présente un risque de réduction non maîtrisée du réel dont il faut avoir conscience (Morin, 2014). Enfin pour nourrir cette partie, l'inspiration peut venir de d'approches émergentes en recherche comme par exemple :

- **L'ergonomie prospective** au croisement de la prospective et de l'ergonomie (Brangier and Robert, 2014). Par essence centrée sur l'humain et sur ses activités, l'ergonomie prospective est une « *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* » (Brangier and Robert, 2014).
- L'approche «**Experiential futures**» (Candy and Potter, 2019; Garduño García and Gaziulusoy, 2021) à l'intersection de l'expérience design, de l'ethnographie et de la prospective, en lien avec le « design fiction » et le « speculative design ». Cette démarche s'appuie sur la matérialisation par des personnes non expertes d'éléments ou d'objets de « mémoire du futur » pour ancrer l'expérience de manière tangible, immersive, visuelle ou interactive. Les questions posées les futurs expérientiels nous semblent tout à fait porteuses de sens dans le contexte d'une transition soutenable devant être pensée et ressentie collectivement.

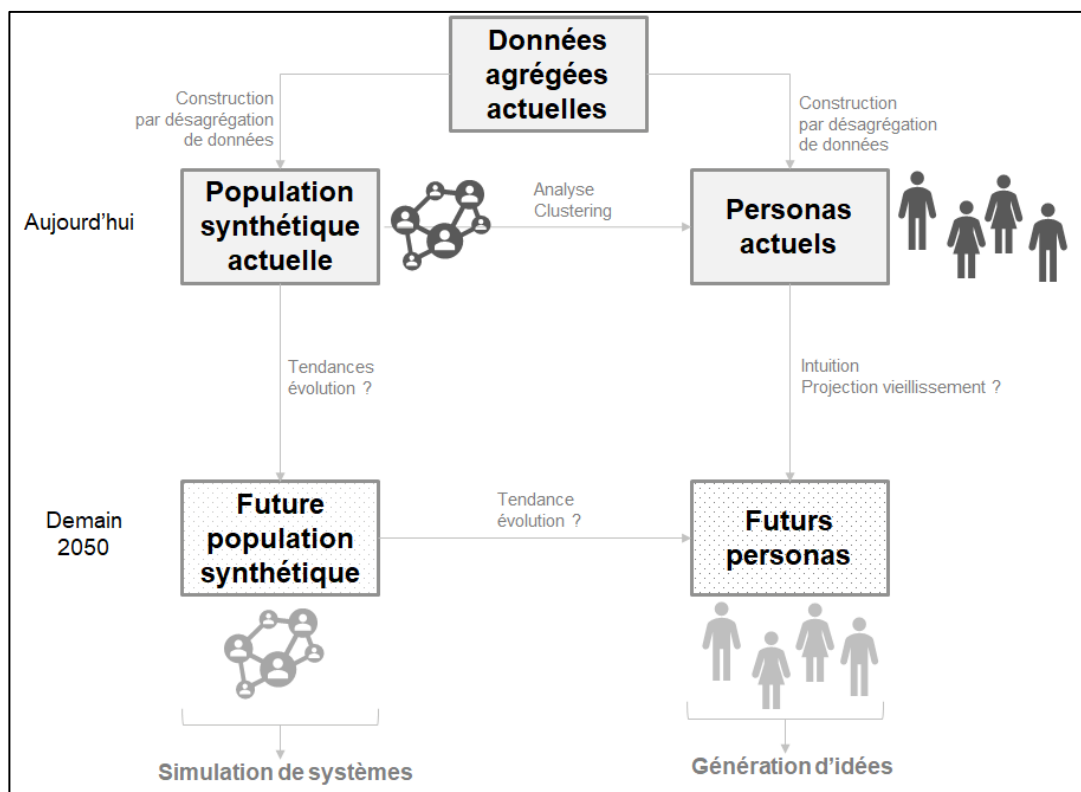


Figure 30 : Construction de futurs usagers en appui sur personas et populations synthétiques

7.1.4 Concevoir et innover avec les aînés

« [...] *we are ageing every moment, we are young and old at the same time [...]* »

(Dankl, 2017)

Envisager les futurs usages, c'est aussi entreprendre une projection de nous-mêmes lorsque nous serons entrés dans le grand âge, et de celle de nos enfants lorsqu'ils seront adultes. Cette prise de conscience du continuum de la vie m'a récemment conduite à m'intéresser à la compréhension des usages et à l'innovation en direction des séniors - ou de nos aînés comme disent les québécois. Gardons à l'esprit que les aînés peuvent être des personnes fragiles, mais aussi des membres très actifs dans diverses communautés, des porteurs de solidarité intergénérationnelle ou encore des entrepreneurs (Vidovićová, 2018).

Je me situe tout à fait en accord avec l'article de positionnement de (Dankl, 2017), selon lequel il nous faut penser la notion de vieillissement sans jugement négatif ni segmentation liée à l'âge : « *Understanding ageing as a fluid concept unfettered from a particular age group enables reflexive thought through experience and practice. Following this rationality (everybody is ageing) society at large ought to join the discourse* ».

Entre 2015 et 2030, le nombre mondial de personnes dites âgées (i.e. les personnes de plus de 60 ans) devrait subir une augmentation de 56%, passant de 901 millions à plus de 1.4 milliards (Eendebak, 2015). Il existe d'innombrables défis posés par le bien-vieillir et le potentiel de développement du marché de la dite « silver economy » semble immense. Ces enjeux de développement de produits et services adaptés, et de maîtrise des dépenses engendrées par le vieillissement de la population sont actuellement mis au premier plan de la scène européenne.

Dans ce contexte, il convient cependant de rester à distance d'une image du vieillissement qui semble persistante dans le milieu de la conception, associée à une déficience ou à une déchéance (Dankl, 2017). Dankl attribue la mise en échec de nombreuses approches de conception de produits à cette image négative et suggère une approche à trois piliers : vision de nouveaux archétypes de modes de vie (« foresight ») ; exploration multidimensionnelle du vieillissement au quotidien (« insight ») ; engagement social auprès des personnes (« engagement »).

Depuis 2019, je participe aux initiatives du cluster national Silver Valley, qui concernent notamment : la sensibilisation au bien vieillir grâce à la compétition d'innovation annuelle Silver Awards mêlant aînés et étudiants dans les équipes projet ; la révélation de startups proposant des services innovants à destination des aînés lors de la Bourse Charles Foix.

Plus en lien avec la thématique de la mobilité, j'ai récemment oeuvré au montage d'un projet ANR franco-singapourien RISE (Robots In Smart urban Environments, déposé en 2019, non financé) qui s'intéressait à la problématique de mobilité urbaine pour les aînés et personnes risquant d'être isolées socialement dans les villes. Un premier article de positionnement a été co-écrit par les membres du consortium pour capitaliser la réflexion (Cornet *et al.*, 2019).

Je souhaite poursuivre l'exploration de ce versant de l'innovation tournée vers les aînés, qui requiert de la part des praticiens humilité, sensibilité et assemblage méthodologique novateur (Dankl, 2017). Les moyens que j'envisage à ce jour pour nourrir cet axe pourraient être un projet de collaboration avec Silver Valley, ses animateurs et adhérents seniors ou un projet de type ANR ou région. Dans la continuité de nos travaux préliminaires (Jean *et al.*, 2019), voici quelques questions structurantes pour cette partie :

- *Faut-il promouvoir une innovation ciblée pour et avec les aînés ou préférer une conception universelle qui réponde aux attentes de tous les âges ?*
- *En phase de synthèse créative, quelle approche de co-innovation de systèmes produits services ou socio-techniques avec les aînés ?*
- *En phase d'évaluation, comment associer les aînés à l'évaluation de systèmes produits services ou socio-techniques ?*

7.2 Des approches qui articulent imaginaire et rationalité

Dans cette partie, je propose d'articuler étroitement les approches rationnelles et systématiques de l'ingénierie de conception avec des approches plus intuitives telles que le jeu et le jeu sérieux, la représentation visuelle des données ou encore la narration. Au-delà de l'intuition, je souhaite convoquer ici l'aptitude à la sensibilité du concepteur et même la recherche de la beauté ou de l'harmonie en conception.

Dans la vision complexe de Morin (Morin, 2014), il s'agit de nous emparer de la dialogique « rationnel-crétif » au-delà de l'opposition apparente de ces deux termes pour donner corps à des approches mixtes originales.

Une telle proposition n'est pas sans faire penser aux fondements du design thinking décrits par (Kleinsmann, Valkenburg and Sluijs, 2017). Plus précisément nous proposons, à la manière d'une recette de cuisine que l'on déstructure, de prendre ces composants élémentaires de la

démarche design thinking pour les recomposer en une approche de recherche renouvelée dont voici des premières pistes.

7.2.1 Mobiliser le jeu et la narration en mode participatif

Je souhaite explorer des formes narratives sensibles et artistiques qui ont un fort pouvoir d'évocation, à la fois pour :

- partager et discuter des visions avec des non-concepteurs ou pour les co-construire dans une dynamique participative,
- outiller les démarches de prospective en mettant en œuvre des activités participatives,
- créer des supports pédagogiques motivants pour des formations courtes (une journée) ou plus longues (plusieurs semaines ou mois), en formation initiale ou continue.

Le jeu, les jeux sérieux et la narration

L'une de mes sources d'inspiration se trouve dans les travaux menés dans le cadre du Forum des Vies Mobiles autour de la narration de vies mobiles : illustration en bande dessinée de profils de « grands mobiles » issus d'une large enquête sociologique (Ravalet *et al.*, 2014), roman-photo documentaire de tranches de vie de personnes réelles de la région de Denain (Jarrousseau, 2019).

Une première expérience d'atelier de narration Mobilité Future avec des étudiants européens a été effectuée en mode théâtral (cf. 4.3.), voie exploratoire complémentaire qui encourage la projection, l'implication et le jeu. En accord avec (Fergnani, 2019), les études de prospective relèvent à la fois de la science pour la construction systématique des choix futurs, et de l'art pour la création de narrations futures.

Contribution Axe A1 - Scénariser les usages futurs

Nous envisageons d'explorer la narration selon divers prismes, notamment artistiques, au cours de la thèse Mobilité Future (cf. 7.1.1). Ces travaux peuvent également bénéficier des apports de la thèse de Yiming Ma, pour laquelle la narration était l'un des éléments-clés de la conception d'un jeu sérieux appliqué à la mobilité urbaine (cf. 5.2). Pour travailler sur la mobilité future en mode participatif, nous pourrions faire de la conception d'un jeu sérieux un outil exploratoire puissant et collaboratif, comme exposé par (Gugerell and Zuidema, 2017).

Notons que plusieurs jeux et jeux sérieux ont déjà fait l'objet de développements et de tests répétés dans ce cadre applicatif, par exemple le jeu Robospectif⁶, les jeux de cartes Momobility⁷ et « The thing of the future » (Candy, 2018). Ceux-ci pourront servir de guides à notre réflexion.

Contribution Axe A3 - Modéliser la diversité des futurs usages

Pour créer de multiples scénarios de vie future, l'implication des usagers et autres parties prenantes semble être une voie particulièrement avantageuse (Brandt, 2006; Garduño García and Gaziulusoy, 2021). Nous pouvons recourir au jeu et à la narration pour permettre à chaque usager-citoyen de projeter sa propre vie future, en limitant les barrières à cette projection.

L'apport du jeu est susceptible de (1) présenter une complémentarité pour la création de personas, par rapport à une génération systématique par échantillonnage ; (2) faciliter l'exploration combinatoire et participative d'objets du futur qui intègrent des scénarios dans la vision des « experiential futures » (Candy, 2018).

Contribution Axe A4 – Concevoir et innover avec les aînés

Pour co-innover avec les aînés, il nous faut aller au-delà de la simple sollicitation de leur avis qui peut se traduire par l'attribution d'une note sur des idées de services. Selon nos travaux communiqués dans (Jean *et al.*, 2019), l'évaluation par des critères quantitatifs suivant une échelle de Likert sont peu aisés à manipuler par les aînés. De manière complémentaire, j'ai co-encadré les travaux d'une étudiante de master qui avait construit un protocole de codage par des aînés de situations problématiques de la vie quotidienne au moyen de cases de bande dessinée (2017). J'envisage de poursuivre dans cette voie par une recherche de principes ludiques et narratifs qui facilitent l'échange avec des aînés de différentes classes d'âge, avec des expériences de vie diverses.

7.2.2 Explorer une représentation sensible des données

L'avènement de données hétérogènes et massives en conception nous confronte à de nouvelles difficultés de compréhension et d'analyse de phénomènes interdépendants comme dans le cas des données massives de transport. Je vois un apport potentiel dans la visualisation de données (ou « data visualisation ») en ingénierie de conception pour représenter la complexité des usages des systèmes socio-techniques.

⁶ Développé par LAET, <https://www.ville-jeux.com/Robospectif.html>

⁷ Développé par NUMO en 2019, <https://www.numo.global/resources/momobility-card-game-english>

Dans cet esprit, j’ai travaillé en 2019 à la création d’un portail de visualisation pour la co-régulation de flux de passagers et de circulation des trains avec SNCF et Ile De France Mobilités au cours du projet Information Voyageur Augmenté de l’IRT SystemX (2018-2021) (Vallet *et al.*, 2021). La démarche originale de conception du portail de visualisation se positionne à l’intersection entre conception, data visualisation, data science et data analytics. La Figure 31 synthétise notre approche qui s’appuie sur le processus de conception problème-solution de (Cross, 2008) augmenté d’une boucle de traitement de données et création de visualisation d’après (Chen, Guo and Wang, 2015). Des données historiques de plusieurs types ont été exploitées : (1) des données dites *observables* (validations télébilletiques, comptage à bord des trains, documentation sur les horaires de passage des trains, base des incidents répertoriés) ; (2) des données *estimées* et issues de modèles de *prédiction* (flux de passagers, affluence en gare, matrice Origine-Destination).

Appliqué à la ligne de train Transilien H, un total de 13 vues originales ont été créées et mise en cohérence suivant trois échelles spatiales d’intérêt pour un analyse de transport : Ligne, Branches et Pôles et Réseau. Quatre de ces vues illustrent un parcours utilisateur typique d’un analyste de transport qui explore une journée perturbée en gare de Paris-Nord (Figure 32).

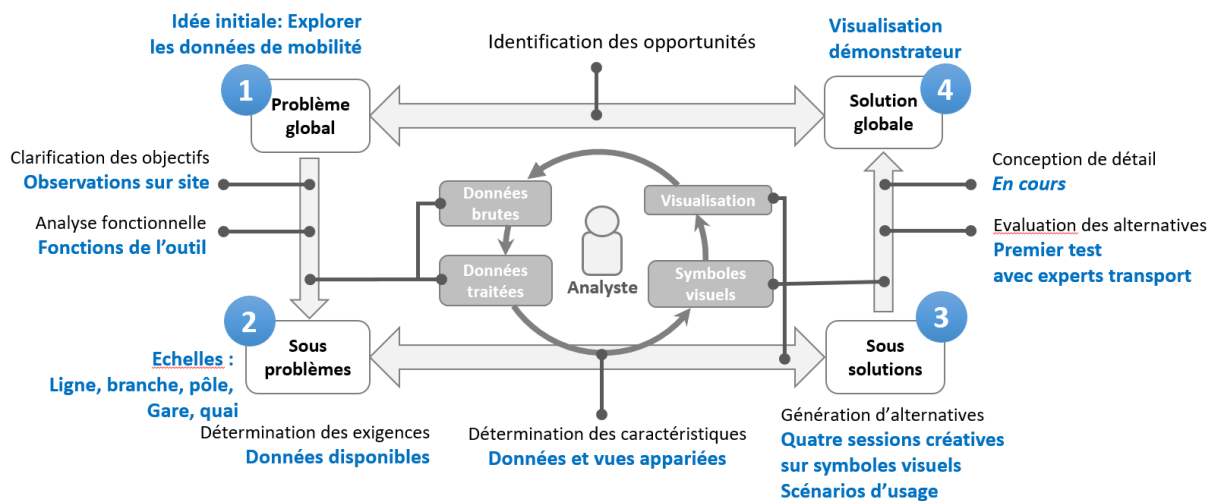


Figure 31 : Démarche de conception du portail de visualisation de données, projet IVA (Vallet et al. 2021)

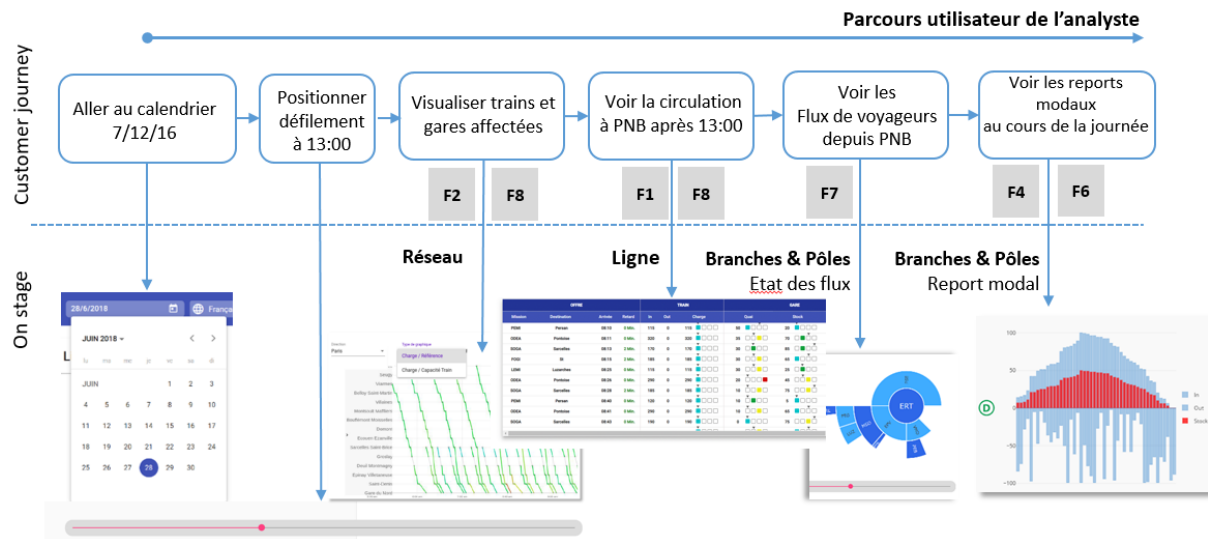


Figure 32 : Parcours d'un analyste de données utilisant le portail de visualisation (Vallet et al. 2021) [PNB : Paris-Nord]

Au-delà du traitement d'un cas d'étude de mobilité, il s'agit d'apporter des éléments de réflexion et de pratique aux concepteurs quant à la relation entre digitalisation et conception, ou data-driven design (Cantamessa *et al.*, 2020). L'analyse du travail mené sur le projet IVA illustre un nouveau rôle du concepteur-traducteur que j'ai endossé ici, en collaboration avec des ingénieurs de recherche spécialistes de science des données. Pour donner un cadre à ceci, Lu et al. clarifient quatre rôles pour le concepteur que sont le Traducteur, l'Empathique, le Project Leader et le Data scientist (Lu *et al.*, 2021).

Dans la position du Traducteur, i.e. du concepteur qui connaît et parle le langage des ingénieurs en science des données, plusieurs questions se posent concernant la compréhension des données à visualiser, la manière de les collecter et de les traiter comme par exemple : *Comment pratiquer la créativité à partir de cette nouvelle matière -les données issues de la demande- en collaboration avec des data scientists ?*

Contribution Axe A1 - Scénariser les usages futurs

Avec le portail de visualisation IVA, nous avons créé un outil d'aide à la gestion d'un système socio-technique composé d'un ensemble de trains et de voyageurs ayant certaines routines de déplacement. Il devient théoriquement possible d'anticiper les conséquences de perturbations (travaux ou grève prévue) sur les flux de passagers grâce à l'introduction de modèles prédictifs, en s'appuyant sur l'analyse visuelle de situations perturbées passées. Cela peut permettre à l'opérateur de transport de prévoir le dimensionnement de bus de substitution ou la replanification de la circulation des trains.

Dans quelle mesure contribue-t-on ici à la scénarisation des usages futurs ? Nous donnons accès, de manière la plus sensible possible, à la compréhension de comportements de déplacement *agrégés* passés pour un ensemble de voyageurs en examinant l'évolution de l'état des flux dans le temps (au quart d'heure, à l'heure, à la journée) et dans l'espace (sur l'ensemble du réseau). Nous pouvons ainsi nous projeter dans un futur proche, par exemple à l'échelle des mois ou années à suivre, sur la base de données historiques. Cela constitue une brique complémentaire de scénarisation des usages de mobilité dans les transports en commun, qui s'appuie quantitativement sur des données de transport relevées par l'opérateur de mobilité.

Une telle approche pourrait être élargie à d'autres systèmes socio-techniques urbains pour lesquels on souhaite projeter des usages et visualiser des performances de soutenabilité : circularité alimentaire, gestion de déchets par exemple.

Contribution Axe A2 – Evaluer les impacts des systèmes socio-techniques

Dans le cas de la mobilité urbaine, il existe un réel besoin d'évaluation de la soutenabilité des solutions socio-techniques au moyen d'indicateurs facilement mobilisables, en impliquant plus fortement les usagers non experts dans des contextes locaux (Karjalainen and Juhola, 2021).

La perception visuelle et synthétique des enjeux et indicateurs de soutenabilité, qui sont multiples et interdépendants, est un défi comparable à la représentation intelligible des résultats d'analyse de cycle de vie au moyen de diverses techniques de visualisation de données. On peut par exemple se référer à l'exploration des possibilités de visualisation dans le cas de l'ACV de bâtiment (Hollberg *et al.*, 2021). Afin de faciliter le processus de prise de décision participative au sujet de systèmes de mobilité, une piste de travail sur cet axe consisterait à élaborer des représentations plus intuitives d'indicateurs de soutenabilité, intégrant éventuellement une dimension géographique et pouvant être comprises par les citoyens.

7.3 Un cadre pour penser la relation de l'innovation à la technologie, entre low tech et high tech

« Toutes les ressources du futur nous placeront face à de nouveaux défis protéiformes. Aussi, il est temps de nous interroger dès à présent : quel est le sens de ce saut technologique que nous embrassons comme un seul homme ? »

(Pitron, 2018, p.270)

« Le low tech n'est pas l'absence de tech, mais davantage une réflexion sur sa nécessité et le cas échéant, sur la juste mesure de son usage... »

(Lopez et al., 2021, p.72)

En ingénierie de conception, lesdites hautes et basses technologies sont de plus en plus fréquemment renvoyées dos à dos. Or la question n'est pas de choisir entre haute ou basse technologie, mais de questionner l'équilibre entre ces deux versants dans leur coexistence au cœur des systèmes que nous sommes amenés à concevoir. Je pense qu'il est opportun, sinon crucial, que la recherche se saisisse de ce sujet polémique. L'une des voies à explorer pourrait consister en une grille de lecture des solutions socio-techniques de transition.

Dans cette dernière partie plus prospective du mémoire, je propose tout d'abord une analyse de visions récentes centrées sur haute et basse technologies pour aider à la compréhension des systèmes urbains (voir par exemple les notions de smart city et de ville dite « low tech »). Puis je développerai des premières idées de travaux s'appuyant sur cette dualité dans le cadre des systèmes de mobilité.

7.3.1 Cadre de positionnement haute et basse technologie pour la pratique de l'ingénierie de conception vers une transition soutenable

Dans (Ceschin and Gaziulusoy, 2016), deux courants en Design for Sustainability sont mis en avant. Le premier courant axé sur le développement technologique s'intéresse de façon centrale aux problématiques environnementales, en y apportant des solutions locales pouvant manquer de perspective systémique, et occasionnant de ce fait de potentiels transferts d'impacts. Le second courant s'attèle à la résolution de problématiques sociales comme la pauvreté, l'accès à l'eau et plus récemment le bien-être, la cohésion sociale ou la prise en compte des personnes fragiles ou marginalisées. Les concepteurs s'appuient dans ce cas sur le rôle des communautés locales (par exemple pour la réparation), ce qui soulève de nouvelles questions de passage à une échelle supérieure ou de transposition à d'autres lieux et contextes (Ceschin and Gaziulusoy, 2016).

Actuellement, la stratégie nationale bas-carbone (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2020) représente un cadre privilégié pour le développement de scénarios futurs. Les jeux de scénarios prospectifs mis au point par les chercheurs ou les structures de consultance pour penser les transitions mettent fréquemment en exergue la polarité haute et basse technologie. C'est le cas des scénarios ProTechno et Sobriété développés par l'association

Carbone4 dans le rapport intitulé « Le rôle des infrastructures dans la transition bas carbone et l'adaptation au changement climatique de la France » (Grandjean *et al.*, 2021). Par infrastructures, les auteurs entendent ici les installations qui rendent possibles nos modes de vies : acheminement d'eau, de gaz, d'électricité, réseaux numériques et de transport (routier, ferroviaire, fluvial).

Si la notion de haute technologie est apparue dès les années 60, celle-ci a connu un nouvel essor avec l'arrivée des technologies numériques au tournant des années 2000. Dès lors, il est intéressant d'interroger le rôle de la technologie numérique dans la transition des produits, services et plus largement des villes. A l'échelle d'une ville, les technologies numériques présentent deux versants opposés (Lopez *et al.*, 2021) : la promesse d'optimiser les diverses ressources au service d'une performance environnementale accrue mais aussi le risque d'occasionner des effets rebonds ainsi qu'une perte de convivialité pour les habitants.

Le projet Urbalotek (Lopez *et al.*, 2021) mérite une attention particulière dans la mesure où celui-ci cherche à traduire, à une échelle urbaine et régionale, la démarche « low tech » généralement retenue pour des produits. La notion même de « low tech » semble ardue à appréhender, même pour les produits les plus simples en apparence car « *la plupart des objets sont construits avec des matériaux ou des composants qui convoquent un système hyper industriel et généralement très high tech* ».

Après avoir analysé douze concepts de ville⁸ et leurs marqueurs (ou indicateurs-clés), les chercheurs proposent leur définition de la ville low tech comme « *un système territorial ou urbain dont les pratiques sociales, la gouvernance, le rapport au vivant et le fonctionnement économique témoignent de la mise en œuvre d'un urbanisme de discernement* » (Lopez *et al.*, 2021). Le propre de la réflexion « low tech » au niveau urbain est de prendre en considération les risques d'effets rebonds et de transfert d'impacts ; la limitation d'un déploiement technologique lié à une pénurie de matériaux (Lopez *et al.*, 2021).

Présentée ainsi, la ville low tech procède d'une démarche systémique répondant à quatre principes directeurs qu'il me semble pertinent d'envisager pour la conception de systèmes socio-techniques soutenables, à savoir :

- Le *juste suffisant*, i.e. ce à quoi on choisit collectivement de ne pas renoncer ;
- La *gestion soutenable des ressources* ;

⁸ Ville intelligente, créative, inclusive, ville-nature, résiliente, fabricante, ville des proximités, adaptable, circulaire, sobre, frugale, biorégion

- La *convivialité*, i.e. l'appropriation, l'accessibilité des outils et des savoirs pour tous ;
- La recherche de la *juste échelle* au sein des organisations et des réponses socio-techniques.

Contribution Axe A2 – Evaluer les impacts des systèmes socio-techniques

En synthèse et comme point de démarrage à cette réflexion, je propose d'adapter des questionnements de la ville low tech identifiés par les auteurs d'Urbalotek à la conception de systèmes socio-techniques comme indiquée dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Questionnement « low tech » adapté de (Lopez *et al.*, 2021)

Principe	Extrait de questions Ville low tech (Lopez <i>et al.</i> , 2021)	Questions de recherche après adaptation
Juste suffisant	A quel point le recours aux technologies est-il indispensable dans le fonctionnement des villes au vu des besoins à satisfaire ? Comment trouver son juste suffisant ?	Dans quelle mesure le recours aux technologies est-il indispensable dans le fonctionnement d'un système socio-technique en fonction des besoins à satisfaire ? Comment caractériser le juste suffisant pour un système socio-technique ?
Gestion soutenable des ressources	D'où viennent les ressources mobilisées pour le fonctionnement du territoire ? Quels sont les risques d'approvisionnement les plus importants ?	Quelles sont les ressources mobilisées pour le fonctionnement du système socio-technique ? Quels sont les risques d'approvisionnement ?
Convivialité	Les infrastructures et l'organisation en place préservent-elles et encouragent-elles la capacité d'agir des individus ? La ville est-elle conviviale et accessible ? Quelle est la place de l'humain dans le degré de mécanisation et de robotisation ?	La conception du système socio-technique préserve-t-elle et encourage-t-elle la capacité d'agir des individus ? Le système propose-t-il un usage convivial et accessible ? Quelle est la place de l'humain dans le degré de mécanisation et de robotisation envisagé pour le système socio-technique ?
Juste échelle	Où se situent les enjeux d'échelle ? Quels objectifs rechercher dans la proximité ?	Quels sont les divers enjeux d'échelle pour le système socio-technique ?

Cette partie de la proposition autour de haute et basse technologie pourrait trouver un écho et être intégré à certains enseignements du cursus ingénieur de CentraleSupélec : par exemple dans le module ST5 Eco-quartier ou le Sustainable Design Challenge de la mention Design & System Sciences.

Créé en 2020 dans le cadre du cursus unifié Centrale+Supélec, le Sustainable Design Challenge est un module intensif pour lequel de jeunes entreprises sollicitent les étudiants sur leur conception de produits et services en lien avec des problématiques de développement durable. Au cours des deux premières éditions, les sujets à traiter ont par exemple concerné des emballages alimentaires réutilisables, un système de lavage de verres à vapeur pour les collectivités, un système de collecte de déchets pour les entreprises. Les étudiants doivent mettre en œuvre une approche de conception basée sur (Cross, 2008) introduite dans un module précédent, et positionner leurs propositions au regard des Objectifs de Développement Durable. Ce positionnement n'est pas aisé car cela suppose de connaître le contenu précis des objectifs. On pourrait imaginer de faire évoluer cette consigne par une grille de positionnement haute et basse technologie comme présenté précédemment.

7.3.2 Cadre de positionnement haute et basse technologie : application aux systèmes de mobilité

Ce paragraphe expose des premiers éléments de positionnement haute et basse technologie au sujet de la transition mobilitaire, sujet applicatif de mes recherches depuis 2016.

Il existe une urgence à limiter les émissions de gaz à effet de serre et autres impacts environnementaux provenant du secteur du transport. Les voies industrielles actuelles mettent en avant des changements technologiques (efficacité des motorisations, électrification des flottes de véhicules particuliers, navettes autonomes...) ou des politiques d'incitation à utiliser des modes de transport moins émissifs et plus partagés. Or présentées comme telles, ces solutions ne remettent pas ou peu en cause les besoins de mobilité à la source, autrement appelés « demande de mobilité ». Comment interpréter une approche basse technologie dans le cas des systèmes urbains ou de mobilité ? Parler de basse technologie dans ce contexte a-t-il un sens ? Il s'agit par exemple de s'interroger les moyens de procéder à une diminution massive, à la source donc, de la demande de mobilité. Un exemple de solution serait ici une politique de limitation des déplacements carbonés pour chaque citoyen/entreprise comme le met en avant le Forum des Vies Mobiles dans un récent travail exploratoire, étant entendu que les

considérations d'équité sociale sont à mettre au premier plan lors de tels développements (Forum des Vies Mobiles, 2020).

A partir de ce faisceau de questionnements polarisés autour de basse et haute technologie, j'ai choisi de collaborer avec Dr Henriette Cornet (UITP) en tant que co-guest editor à la rédaction d'un appel à contribution pour un numéro spécial de la revue Sustainability-section Transportation⁹. De nos discussions, et pour nous différencier des autres numéros spéciaux, a émergé la nécessité de transposer la vision high-tech et low tech à la mobilité urbaine comme on peut le voir sur l'Encadré 2.

Encadré 2 : Illustration de la proposition de Special Issue 2021 – Sustainability / Transportation



This Special Issue calls for a reflection on what can be defined as low or high tech mobility usages and solutions. In that spirit, could we imagine low tech automated vehicles or shuttles, a frugal perspective on Mobility as a Service? Is an electric scooter high or low tech? Do we need to support urban walking and active modes by technology, to what extent? How can we account for the direct and indirect impacts of both trends (high and low tech mobility) for citizens, local authorities, mobility providers?

In this Special Issue, the goal is to surpass the dichotomy and investigate whether the two concepts of high tech and low tech can be reconciled to lead to sustainable urban mobility which is at the same time targeting resilience and liveability of cities. *Resilience* refers to the capacity of a city to recover in time of crises (for example the sanitary COVID-19 crisis, cyberattacks), or natural crises (floods, heat wave...) or related to environmental challenges (pollution, GHG emissions ...); *Liveability* refers to the quality of life in cities for all, with aspects of inclusiveness and equity as well as joy and aesthetics. The Special Issue asks for contributions that demonstrate or discuss how sustainability, resilience and liveability can be used as indicators to measure the effects of technology on urban mobility. There is no restriction for the mobility modes that are under study and a wide range of user groups is expected, for instance workers and those who do not work, the young and the aged, pedestrians and motorized citizens, those who live and those who transit in the city, those who move or do not move, out of choice or constraint. Taking user groups into account may foster the discussion on equity and inclusive access, shedding light on who will potentially win or lose with the implementation of a (more or less) technologically-assisted mobility.

⁹ Finalement une unique contribution a été déposée pour le numéro Spécial, mais nous n'avons malheureusement pas pu poursuivre l'effort de capitalisation des articles dans le temps imparti.

Contributions Axe A1 - Scénariser les usages futurs et Axe A2 – Evaluer les impacts des systèmes socio-techniques

De manière plus contextualisée à la mobilité électrique, voici les pistes de recherche qui sont projetées pour la thèse de Julien Baltazar, démarrée à l'automne 2021 (sous la direction de Jakob Puchinger, en co-direction avec Nicolas Perry).

Le thèse intitulée « Méthode d'éco-conception d'un système de mobilité électrique couplant le véhicule, les infrastructures et les usages sur un territoire » s'effectue au sein du Laboratoire Génie Industriel au moyen d'un financement de l'Ecole Normale Supérieure de Rennes. Le travail doctoral consiste à développer une méthode d'éco-conception d'un système de mobilité électrique couplant le véhicule, les infrastructures et les usages sur un territoire.

L'objectif est de considérer les véhicules mais aussi les infrastructures, d'intégrer les pratiques des usagers et de distinguer les besoins particuliers de mobilité selon les situations d'usages dans un territoire. Nous proposons donc, pour ce travail, de croiser une vision environnementale avec une vision spatialisée et sociologique des usages de mobilité électrique. En lien avec les travaux de la chaire Anthropolis, la thèse proposée se situe à l'interface entre la thématique « Infrastructures du futur » et la thématique transversale « Soutenabilité des solutions de mobilité ». Cette thèse se positionne dans la continuité du stage de master du doctorant, qui est attaché au projet de recherche collaborative EcoSD 20.1 financé en 2020-21.

Les questions de recherche envisagées sont les suivantes :

- *En quoi l'éco-conception peut-elle aider à la construction en cycle de vie de scénarios sobres pour les usages du véhicule électrique ?*
- *Comment définir des scénarios de besoins et d'usages selon la zone de déploiement et à quel horizon temporel se placer ?*
- *Quelles sont les combinaisons de solutions techniques du système {véhicules et infrastructures de recharge} les plus performantes sur le plan environnemental, économique et d'usage selon le territoire considéré ? Comment définir un juste suffisant dans le cas de la mobilité électrique, dans un contexte d'intermodalité notamment ?*

7.4 Epilogue

Dans la première partie de ce mémoire, j'ai sélectionné un panel de travaux sur la période (2012-2021) qui illustrent des contributions complémentaires au sujet de l'exploration problème-solution en conception soutenable.

Cette sélection comprend les résultats majeurs de trois parcours de thèse achevés à date, d'un lot de projet H2020 (SuPLight, achevé en 2013), d'un projet ANR (ALIENNOR, achevé en 2018) et enfin une contribution à l'axe « Futur de la mobilité » de la saison 1 Anthropolis (achevée en 2019). J'ai mis l'accent sur le renouveau de certains questionnements classiques en conception et en innovation consécutif à l'introduction de la dimension environnementale : (1) Utilisation d'heuristiques et évaluation de concepts réinterprétées en éco-innovation ; (2) Gestion de la relation client-fournisseur avec prise en compte de la dimension environnementale dans cette relation ; (3) Optimisation des pièces de structure en conception légère intégrant de la matière secondaire issue d'une chaîne de logistique inverse.

Pour mettre en forme mes perspectives de recherche, j'ai puisé dans les multiples aspects de mon parcours d'enseignante et de chercheuse et ai été inspirée par des thématiques de réflexion portées par le design industriel. J'ai intégré des travaux en cours ou en émergence s'y rattachant, dont deux thèses de doctorat pour lesquelles j'ai co-rédigé les sujets.

Dans cette dernière partie, j'avance l'idée qu'il est indispensable pour les concepteurs d'entretenir un rapport renforcé à l'imaginaire dans la phase de transition qui s'ouvre à nous. J'ai en effet la conviction que la conception de systèmes complexes dans un contexte incertain doit être accompagnée méthodologiquement d'une manière à la fois rigoureuse, systématique mais aussi créative, intuitive et même artistique, ceci permettant de -potentiellement- impliquer davantage des citoyens non-experts en conception. Cela soulève inévitablement des questions relatives à la reproductibilité des résultats qu'il nous appartiendra de traiter. Parallèlement à cela, penser la relation entre innovation et technologie (« Dans quelle mesure le recours aux technologies est-il indispensable dans le fonctionnement d'un système socio-technique en fonction des besoins à satisfaire ? ») constitue une seconde ligne de force dont j'ai esquissé des premiers contours. J'affirme donc le souhait de pouvoir, dans un futur proche, assurer la direction de thèses qui traitent d'enjeux sociétaux majeurs à l'aide d'approches mixtes à explorer, au croisement entre imaginaire et rationalité.

Si les premiers résultats de recherche étaient principalement à destination d'entreprises manufacturières, mes travaux actuels s'adressent à des organisations de profils plus variés. Pour faire émerger des produits, services et systèmes à forte ambition soutenable, la collaboration avec des jeunes pousses semble prometteuse et l'ouverture des travaux vers

l'innovation sociale avec des organisations du secteur culturel ou de l'économie sociale et solidaire présente un intérêt complémentaire¹⁰.

Afin de servir les ambitions de ce programme de recherche, j'entrevois un potentiel de collaboration fructueuse avec des sociologues pour alimenter la composante sociale des systèmes socio-techniques ; des spécialistes de l'ingénierie système et de la systémique pour le développement d'outils de transition au niveau des systèmes, des chercheurs en science des données pour modéliser quantitativement les usages actuels et futurs.

En tant que chercheuse au sein d'un collectif comme un laboratoire et dans la mouvance des travaux du collectif national Labos1point5, je pense important de poser un regard réflexif sur nos activités de recherche et leur caractère soutenable ou non. Ce fut l'objet d'un article exploratoire présenté à CIRP LCE 2020 sur les impacts environnementaux des déplacements de chercheurs lors de conférences (Cluzel *et al.*, 2020). Depuis, les résultats ont été totalement rebattus par la crise sanitaire Covid 19 puisque les conférences en ligne sont devenues la norme tandis qu'une minorité se tiennent en présence.

Le mot de la fin s'adresse aux étudiant.e.s ingénieur.e.s car c'est avec elles/eux que cette belle aventure professionnelle a débuté. Je conserve la conviction que la production de connaissances en recherche doit se poursuivre dans la confrontation constante et l'échange avec nos étudiants, les futurs ingénieur.e.s, afin de les inspirer dans leur mission d'ingénieur-citoyen et d'être inspirés par leur regard dans l'ensemble de nos activités.

¹⁰ Voir par exemple le projet PIANO, (emPreinte territorIAle du magNetO) - Comprendre et favoriser les interactions entre le Magneto et son (ses) territoire(s) pour la durabilité. Projet lauréat 2021 Appel à Manifestation d'Intérêt en Nouvelle Aquitaine, https://les-aides.nouvelle-aquitaine.fr/sites/default/files/2021-04/ANN_laureats-IS%20JANVIER%202021.pdf

Bibliographie

Adlin, T. and Pruitt, J. (2010) *The Essential Persona Lifecycle: Your Guide to Building and Using Personas*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann/Elsevier.

AFNOR (2003) *XP ISO/TR 14062 - Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit*.

Alonso-Fernandez, C. et al. (2017) "Full Lifecycle Architecture for Serious Games: Integrating Game Learning Analytics and a Game Authoring Tool," in Alcañiz, M. et al. (eds) *JCSG*. Cham: Springer International Publishing, pp. 73–84.

Amabile, T.M. (1983) "The social psychology of creativity: A componential conceptualization.," *Journal of Personality and Social Psychology*, 45(2). doi:10.1037/0022-3514.45.2.357.

Andriankaja, H. et al. (2015) "A method to ecodesign structural parts in the transport sector based on product life cycle management," *Journal of Cleaner Production*, 94, pp. 165–176. doi:10.1016/j.jclepro.2015.02.026.

Arnab, S. et al. (2015) "Mapping learning and game mechanics for serious games analysis," *British Journal of Educational Technology*, 46(2), pp. 391–411. doi:https://doi.org/10.1111/bjet.12113.

Barreyre, P.Y. (1988) "The concept of 'impartition' policies: A different approach to vertical integration strategies," *Strategic Management Journal*, 9(5). doi:10.1002/smj.4250090509.

Baumann, H., Boons, F. and Bragd, A. (2002) "Mapping the green product development field: Engineering, policy and business perspectives," *Journal of Cleaner Production*, 10(5), pp. 409–425. doi:10.1016/S0959-6526(02)00015-X.

Bertheau, P., Roche, C. and Dufour, N. (2015) "Evaluation et valorisation lors de la conception innovante : vers un contrôle de gestion de l'immatériel adapté aux processus d'innovation," *Recherches en Sciences de Gestion*, 106(1), pp. 47–65. doi:10.3917/resg.106.0047.

Bertram, B. and Berthold, B.F. (2012) "Was sind Sinus-Milieus®?," in *Jugendliche Lebenswelten*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 11–35. doi:10.1007/978-3-8274-2971-1_2.

Bihouix, P. (2014) *L'âge des low tech: vers une civilisation techniquement soutenable*. Edition du Seuil.

Blomberg, J. and Karasti, H. (2012) "Ethnography: Positioning ethnography within participatory design," *Routledge International Handbook of Participatory Design*, pp. 86–116. doi:10.4324/9780203108543.

Bloom, B.S. (1956) *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook: The Cognitive Domain*. New York: David Mc Kay.

Bocken, N.M.P. et al. (2011) "Development of an eco-ideation tool to identify stepwise greenhouse gas emissions reduction options for consumer goods," *Journal of Cleaner Production*, 19(12), pp. 1279–1287. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.009.

- Bocken, N.M.P. *et al.* (2012) "Development of a tool for rapidly assessing the implementation difficulty and emissions benefits of innovations," *Technovation*, 32(1), pp. 19–31. doi:<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.09.005>.
- Bocken, N.M.P. *et al.* (2014) "The front-end of eco-innovation for eco-innovative small and medium sized companies," *Journal of Engineering and Technology Management*, 31, pp. 43–57. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2013.10.004>.
- Borchardt, M. *et al.* (2011) "Identifying and Prioritizing Ecodesign Key Factors for the Automotive Industry," in Chiaberge, M. (ed.) *New Trends and Developments in Automotive Industry*. InTech, pp. 137–160. doi:10.5772/10506.
- Bornet, C. and Brangier, É. (2013) "La méthode des personas : principes, intérêts et limites," *Bulletin de psychologie*, Numéro 524(2), p. 115. doi:10.3917/bupsy.524.0115.
- Bovea, M.D. and Pérez-Belis, V. (2012) "A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process," *Journal of Cleaner Production*, 20(1), pp. 61–71. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.012>.
- Brandt, E. (2006) "Designing Exploratory Design Games - a framework for participation in participatory design?," in *Proceedings of the 9th Conference on Participatory Design : Expanding Boundaries in Design.Trento, Italy, August 01-05*. ACM Press.
- Brangier, É. and Robert, J.-M. (2014) "L'ergonomie prospective : fondements et enjeux," *Le travail humain*, 77(1). doi:10.3917/th.771.0001.
- Brezet, Han. and van Hemel, Carolien. (1997) *Ecodesign : a promising approach to sustainable production and consumption*. Paris, France; The Hague; Delft, Netherlands: United Nations Environment Programme, Industry and Environment, Cleaner Production ; Rathenau Institute ; Delft University of Technology.
- Bulmer, L. (2011) "The use of Lego[®] serious play in the engineering design classroom," *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)* [Preprint]. doi:10.24908/pceea.v0i0.3699.
- Candy, S. (2018) "Gaming Futures Literacy -The Thing from the Future," in *Transforming the Future*. Routledge , pp. 233–246.
- Candy, S. and Potter, C. (2019) *Design and futures*. Tamkang University Press.
- Cantamessa, M. *et al.* (2020) "Data-driven design: the new challenges of digitalization on product design and development," *Design Science*. 2020/11/05, 6, p. e27. doi:DOI: 10.1017/dsj.2020.25.
- Carreira, R. *et al.* (2013) "Towards a holistic approach to the travel experience: A qualitative study of bus transportation," *Transport Policy*, 25, pp. 233–243. doi:10.1016/j.tranpol.2012.11.009.
- Carreira, R. *et al.* (2014) "Understanding the travel experience and its impact on attitudes, emotions and loyalty towards the transportation provider-A quantitative study with mid-distance bus trips," *Transport Policy*, 31, pp. 35–46. doi:10.1016/j.tranpol.2013.11.006.
- Carrillo-Hermosilla, J., del Río, P. and Könnölä, T. (2010) "Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies," *Journal of Cleaner Production*, 18(10), pp. 1073–1083. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.02.014>.

- Carruth, M.A., Allwood, J.M. and Moynihan, M.C. (2011) "The technical potential for reducing metal requirements through lightweight product design," *Resources, Conservation and Recycling*, 57, pp. 48–60. doi:10.1016/j.resconrec.2011.09.018.
- Cash, P. *et al.* (2012) "Methodological insights from a rigorous small scale design experiment," *Design Studies*, 33(2), pp. 208–235. doi:10.1016/j.destud.2011.07.008.
- Ceschin, F. and Gaziulusoy, I. (2016) "Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions," *Design Studies*, 47, pp. 118–163. doi:10.1016/j.destud.2016.09.002.
- Charmaz, K. (2014) *Constructing grounded theory*. Second edition. Sage Publications Ltd.
- Chen, W., Guo, F. and Wang, F.Y. (2015) "A Survey of Traffic Data Visualization," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(6), pp. 2970–2984. doi:10.1109/TITS.2015.2436897.
- Chermack, T.J. (2011) *Scenario Planning in Organizations: How to Create, Use and Assess Scenarios*. Berrett-Koehler.
- Clarkson, J. (2018) "What has engineering design to say about healthcare improvement?," *Design Science*, 4, pp. 1–35. doi:10.1017/dsj.2018.13.
- Cluzel, F. *et al.* (2020) "Reflecting on the environmental impact of research activities: An exploratory study," in Brissaud, D. *et al.* (eds) *27th CIRP Life Cycle Engineering Conference (LCE2020) Advancing Life Cycle Engineering : from technological eco-efficiency to technology that supports a world that meets the development goals and the absolute sustainability*, pp. 754–758. doi:10.1016/j.procir.2020.01.129.
- Colombo, L.A., Pansera, M. and Owen, R. (2019) "The discourse of eco-innovation in the European Union: An analysis of the Eco-Innovation Action Plan and Horizon 2020," *Journal of Cleaner Production*, 214(2019), pp. 653–665. doi:10.1016/j.jclepro.2018.12.150.
- Cooper, A. (1999) *The inmates are running the asylum*. Macmillan. New York.
- Cornet, H. *et al.* (2019) "Designing Sustainable Mobility for People at Risk of Social Isolation – Two Cultural Perspectives from Singapore and France," in *Proceedings of the LeNS Conference 3 - the Learning Network on Sustainability*.
- Crawford, M.M. (2019) "A comprehensive scenario intervention typology," *Technological Forecasting and Social Change*, 149, p. 119748. doi:10.1016/j.techfore.2019.119748.
- Cross, N. (2008) *Engineering Design Methods-Strategies for Product Design*. John Wiley. Chichester.
- Daae, J. and Boks, C. (2015) "A classification of user research methods for design for sustainable behaviour," *Journal of Cleaner Production*, 106, pp. 680–689. doi:10.1016/j.jclepro.2014.04.056.
- Dankl, K. (2017) "Design age: Towards a participatory transformation of images of ageing," *Design Studies*, 48, pp. 30–42. doi:10.1016/j.destud.2016.10.004.
- Dator, J. (2009) "Alternative futures at the Manoa School," *Journal of Futures Studies*, 14(2), pp. 1–18.
- Eendebak, R. (2015) *World Report on Ageing and Health*. Global. Available at: <http://man.ac.uk/O4Y6Bo>].
- Enaux, C., Lannoy, P. and Lord, S. (2011) "Les mobilités éprouvantes - Regards sur les pénibilités des déplacements ordinaires," *Articulo - Journal of Urban Research*, pp. 0–9.

- Fergnani, A. (2019) "The future persona: a futures method to let your scenarios come to life," *Foresight*, 21(4), pp. 445–466. doi:10.1108/FS-10-2018-0086.
- Feroli, M. (2010) *Phases amont du processus d'innovation : proposition d'une méthode d'aide à l'évaluation d'idées (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine)*. INPL.
- Fogg, B. (2009) "A behavior model for persuasive design," in *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology - Persuasive '09*. New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1541948.1541999.
- Forum des Vies Mobiles (2020) *Réduire l'empreinte carbone de la mobilité : quelles politiques en France ?* Available at: <https://fr.forumviesmobiles.org/projet/2018/05/17/decarboner-mobilite-queelles-politiques-en-france-12430> (Accessed: March 4, 2022).
- Fussler, C. and James, P. (1997) "Driving Eco-Innovation; A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability," in *Business Strategy and The Environment*. Washington DC: Pitman Publishing.
- Garduño García, C. and Gaziulusoy, İ. (2021) "Designing future experiences of the everyday: Pointers for methodical expansion of sustainability transitions research," *Futures*, 127, p. 102702. doi:<https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102702>.
- Gargiulo, E. et al. (2015) "Dynamic Ride Sharing Service: Are Users Ready to Adopt it?," *Procedia Manufacturing*, 3, pp. 777–784. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.329>.
- Gaver, W.W. et al. (2004) "Cultural Probes and the Value of Uncertainty," *Interactions*, 11(5), pp. 53–56. doi:10.1145/1015530.1015555.
- Geels, F.W. (2004) "From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory," *Research Policy*, 33(6), pp. 897–920. doi:<https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>.
- Godet, M. and Durance, P. (2011) *La prospective stratégique pour les entreprises et les territoires*. 2ème édition. Collection Stratégie d'entreprise - Dunod.
- Gonçalves, M., Cardoso, C. and Badke-Schaub, P. (2016) "Inspiration choices that matter: The selection of external stimuli during ideation," *Design Science*, 2, pp. 1–31. doi:10.1017/dsj.2016.10.
- Grandjean, A. et al. (2021) *Le rôle des infrastructures dans la transition bas-carbone et l'adaptation au changement climatique de la France*. Available at: <https://www.carbone4.com/publication-infrastructures-france> (Accessed: April 7, 2022).
- Grudin, J. and Pruitt, J. (2002) "Personas, Participatory Design and Product Development: An Infrastructure for Engagement," in *Proceedings of Participation and Design Conference (PDC2002)*, Sweden, pp. 144–161.
- Gugerell, K. and Zuidema, C. (2017) "Gaming for the energy transition. Experimenting and learning in co-designing a serious game prototype," *Journal of Cleaner Production*, 169, pp. 105–116. doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.142.
- Hofstra, N. and Huisingh, D. (2014) "Eco-innovations characterized: A taxonomic classification of relationships between humans and nature," *Journal of Cleaner Production*, 66, pp. 459–468. doi:10.1016/j.jclepro.2013.11.036.

- Hollberg, A. *et al.* (2021) "Review of visualising LCA results in the design process of buildings," *Building and Environment*, 190, p. 107530. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107530>.
- Hörl, S. and Balac, M. (2021) "Synthetic population and travel demand for Paris and Île-de-France based on open and publicly available data," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 130. doi:[10.1016/j.trc.2021.103291](https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103291).
- Jarrousseau, V. (2019) *Les Racines de la colère*. Les Arènes.
- Jean, C. *et al.* (2019) "Evaluating innovative projects for and with elderly people: Insights from participatory design contests," in *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, pp. 3861–3870. doi:[10.1017/dsi.2019.393](https://doi.org/10.1017/dsi.2019.393).
- Jones, E. (2003) *Eco-innovation : tools to facilitate early-stage workshops (Doctoral dissertation, Brunel University School of Engineering and Design)*. Brunel University.
- Joore, P. and Brezet, H. (2015) "A Multilevel Design Model: The mutual relationship between product-service system development and societal change processes," *Journal of Cleaner Production*, 97, pp. 92–105. doi:[10.1016/j.jclepro.2014.06.043](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.043).
- Joyce, A. and Paquin, R.L. (2016) "The triple layered business model canvas: A tool to design more sustainable business models," *Journal of Cleaner Production*, 135, pp. 1474–1486. doi:[10.1016/j.jclepro.2016.06.067](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.067).
- Karjalainen, L.E. and Juhola, S. (2021) "Urban transportation sustainability assessments: a systematic review of literature," *Transport Reviews*, 41(5). doi:[10.1080/01441647.2021.1879309](https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1879309).
- Karlsson, R. and Luttrupp, C. (2006) "EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue," *Journal of Cleaner Production*, 14(15–16), pp. 1291–1298. doi:[10.1016/j.jclepro.2005.11.010](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.010).
- Kaufmann, V. (2011) *Les paradoxes de la mobilité - Bouger, s'enraciner*. Le savoir suisse. Lausanne: PPUR.
- Kerga, E. *et al.* (2013) "Lean Product Development: Serious Game and evaluation of the learning outcomes," *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 397, pp. 590–597. doi:[10.1007/978-3-642-40352-1_74](https://doi.org/10.1007/978-3-642-40352-1_74).
- Kiritsis, D. (2011) "Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things," *CAD Computer Aided Design*, 43(5), pp. 479–501. doi:[10.1016/j.cad.2010.03.002](https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.03.002).
- Kleinsmann, M., Valkenburg, R. and Sluijs, J. (2017) "Capturing the value of design thinking in different innovation practices," *International Journal of Design*, 11(2), pp. 25–40.
- Koen, P. *et al.* (2001) "Providing Clarity and A Common Language to the 'Fuzzy Front End,'" *Research-Technology Management*, 44(2), pp. 46–55. doi:[10.1080/08956308.2001.11671418](https://doi.org/10.1080/08956308.2001.11671418).
- Kong, P. *et al.* (2019) "Seeking emotions in mobility experience elicitation: A Singapore-France comparison," in *International Association of Societies of Design Research Conference*, pp. 1–10. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02381950>.
- Kong, P., Cornet, H. and Frenkler, F. (2018) "Personas and Emotional Design for Public Service Robots: A Case Study with Autonomous Vehicles in Public Transportation," in *2018 International Conference on Cyberworlds (CW)*, pp. 284–287. doi:[10.1109/CW.2018.00058](https://doi.org/10.1109/CW.2018.00058).

- Kremer, S., Krahl, T. and Lindemann, U. (2017) "User experience journeys," *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 4(DS87-4), pp. 483–492.
- Lameras, P. et al. (2017) "Essential features of serious games design in higher education: Linking learning attributes to game mechanics," *British Journal of Educational Technology*, 48(4), pp. 972–994. doi:<https://doi.org/10.1111/bjet.12467>.
- Leroy, Y. et al. (2015) "Environmental evaluation of ideas in early phases: A challenging issue for design teams," *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 1(DS 80-01), pp. 1–10.
- Liu, G., Krishnamurthy, S. and van Wesemael, P. (2018) "Conceptualizing cycling experience in urban design research: a systematic literature review," *Applied Mobilities*, pp. 1–17. doi:[10.1080/23800127.2018.1494347](https://doi.org/10.1080/23800127.2018.1494347).
- Lockrey, S. and Bissett Johnson, K. (2013) "Designing pedagogy with emerging sustainable technologies," *Journal of Cleaner Production*, 61, pp. 70–79. doi:[10.1016/j.jclepro.2013.05.005](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.005).
- Lopez, C. et al. (2021) *La Ville Low-tech* .
- Lu, J. et al. (2021) "The impact of data on the role of designers and their process," *Proceedings of the Design Society*. 2021/07/27, 1, pp. 3021–3030. doi:[10.1017/pds.2021.563](https://doi.org/10.1017/pds.2021.563).
- Al Maghraoui, O. et al. (2019) "Modeling traveler experience for designing urban mobility systems," *Design Science*, 5, pp. 1–24. doi:[10.1017/dsj.2019.6](https://doi.org/10.1017/dsj.2019.6).
- Al Maghraoui, O. et al. (2019) "Stimulating usage problem generation: An urban mobility case study," *Design Studies*, 64, pp. 27–63. doi:[10.1016/j.destud.2019.07.001](https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.07.001).
- Al Maghraoui, O. et al. (2020) "Shared Autonomous Vehicle Services and User Taste Variations: Survey and Model Applications," in *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., pp. 3–10. doi:[10.1016/j.trpro.2020.03.066](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.066).
- Marsden, N. and Haag, M. (2016) "Stereotypes and Politics: Reflections on Personas," *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* [Preprint].
- McGrail, S. and Gaziulusoy, I. (2014) "Using futures inquiry to create low-carbon, resilient urban futures: a review of practice, theory and process options for the Visions and Pathways project," *VP2040 Foreground paper* [Preprint].
- McMahon, C., Eckert, C. and Fadel, G. (2021) "Towards a debate on the positioning of engineering design," *Proceedings of the Design Society*. 2021/07/27, 1, pp. 3169–3178. doi:[10.1017/pds.2021.578](https://doi.org/10.1017/pds.2021.578).
- Michelin, F. et al. (2014) "Integration of environmental criteria in the co-design process: Case study of the client/supplier relationship in the French mechanical industry," *Proceedings of International Design Conference, DESIGN*, 2014, pp. 1591–1600.
- Midal, A. (2009) *Design : introduction à l'histoire d'une discipline*. Pocket.
- Millet, D. (2003) *Intégration de l'environnement en conception -L'entreprise et le développement durable*. Hermès-Lavoisier.
- Ministère de la transition écologique et solidaire (2020) *Stratégie nationale bas-carbone - La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone*. Available at: <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc> (Accessed: May 19, 2022).

- Mitgutsch, K. and Alvarado, N. (2012) "Purposeful by design?: a serious game design assessment framework," in *International Conference on the Foundations of Digital Games (FDG '12)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 121–128.
- Morin, E. (2014) *Introduction à la pensée complexe*. Seuil-Points.
- Mossoux, S. et al. (no date) "Hazagora: will you survive the next disaster? – A serious game to raise awareness about geohazards and disaster risk reduction," *nat-hazards-earth-syst-sci.net* [Preprint].
- Norman, D.A. (2005) "Human-centered design considered harmful," *Interactions*, 12(4), p. 14. doi:10.1145/1070960.1070976.
- Obst, L. (2015) *Utilizing the business model canvas to enable sustainability measurement on the business model level: an indicator framework supplementing the business model canvas* (Master thesis, University of Twente/TU Berlin).
- OECD/Eurostat (2018) *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*. OECD. doi:10.1787/9789264304604-en.
- O'Hare, J.A. and McAloone, T.C. (2014) "Eco-innovation: The opportunities for engineering design research," *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, 2014*, pp. 1631–1640.
- Paucot, A.-C. (2018) *Capsules Intemporelles : 20 Histoires Pour Raconter Le Futur De La Mobilité*. Les Propulseurs.
- Pavie, X. et al. (2015) *Le Design Thinking au service de l'Innovation Responsable*. Maxima Laurent du Mesnil.
- Penciu, D. et al. (2016) "Product life cycle management approach for integration of engineering design and life cycle engineering," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 30(4), pp. 379–389. doi:10.1017/S0890060416000366.
- Picon, A. and Yvon, M. (1993) *L'Ingénieur Artiste : Dessins anciens de l'école des ponts et chaussées*. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.
- Pigosso, D.C.A., Rozenfeld, H. and McAloone, T.C. (2013) "Ecodesign maturity model: a management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies," *Journal of Cleaner Production*, 59, pp. 160–173. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.040.
- Pitron, G. (2018) *La guerre des métaux rares - La face cachée de la transition énergétique et numérique*. Les liens qui libèrent.
- Pronello, C. and Camusso, C. (2011) "Travellers' profiles definition using statistical multivariate analysis of attitudinal variables," *Journal of Transport Geography*, 19(6), pp. 1294–1308. Available at: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:jotrge:v:19:y:2011:i:6:p:1294-1308>.
- Randall, A. (2021) "Monitoring sustainability and targeting interventions: Indicators, planetary boundaries, benefits and costs," *Sustainability*, 13(6). doi:10.3390/su13063181.
- Ravalet, E. et al. (2014) *Tranches de vie mobile. Enquête sociologique et manifeste sur la grande mobilité liée au travail*. Forum Vies Mobiles. Lausanne.
- Reckwitz, A. (2002) "Toward a Theory of Social Practices," *European Journal of Social Theory*, 5(2). doi:10.1177/13684310222225432.

- Reyes, T., Millet, D. and Joan, M. (2007) "Development of Ecodesign Integration Trajectories: Two Surveys and LCA Case of Study with a Power Distribution Products," in *Proceedings of the Design Society, 16th International Conference on Engineering Design, Paris, July 28-31*.
- Rousseaux, P. et al. (2017) "'Eco-tool-seeker' A new and unique business guide for choosing ecodesign tools," *Journal of Cleaner Production*, 151, pp. 546–577. doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.089.
- Salminen, J. et al. (2020) "Persona Transparency: Analyzing the Impact of Explanations on Perceptions of Data-Driven Personas," *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(8), pp. 788–800. doi:10.1080/10447318.2019.1688946.
- Sancha, C., Wong, C.W.Y. and Gimenez Thomsen, C. (2016) "Buyer–supplier relationships on environmental issues: a contingency perspective," *Journal of Cleaner Production*, 112, pp. 1849–1860. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.026.
- Schulz, K.-P. et al. (2021) "Facilitating, envisioning and implementing sustainable development with creative approaches," *Journal of Cleaner Production*, 278, p. 123762. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123762.
- Shah, J.J., Smith, S.M. and Vargas-Hernandez, N. (2003) "Metrics for measuring ideation effectiveness," *Design Studies*, 24(2), pp. 111–134. doi:https://doi.org/10.1016/S0142-694X(02)00034-0.
- Sheller, M. (2018) "Theorising mobility justice," *Tempo Social*, 30(2), pp. 17–34. doi:10.11606/0103-2070.ts.2018.142763.
- Shove, E., Mika, P. and Watson, M. (2012) *The Dynamics of Social Practice. Everyday Life and how it Changes*. Sage.
- Silverman, E. (2018) *Methodological Investigations in Agent-Based Modelling*. Springer Cham. doi:10.1007/978-3-319-72408-9.
- Sopjani, L., Janhager Stier, J. and Ritzén, S. (2016) "User involvement in disruptive innovation – A study on users of a light electric vehicle sharing system," in *Proceedings of 23rd Innovation and Product Development Management Conference, Glasgow*.
- Soria-Lara, J.A. and Banister, D. (2018) "Collaborative backcasting for transport policy scenario building," *Futures*, 95, pp. 11–21. doi:10.1016/j.futures.2017.09.003.
- Spaniol, M.J. and Rowland, N.J. (2019) "Defining scenario," *Futures & Foresight Science*, 1(1). doi:10.1002/ffo2.3.
- Stark, R. and Lindow, K. (2017) "Sustainability Dynamics," in Stark R., Seliger G., and Bonvoisin J. (eds) *Sustainable Manufacturing. Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*. Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-319-48514-0_2.
- Steen, M. (2011) "Tensions in human-centred design," *CoDesign*, 7(1), pp. 45–60. doi:10.1080/15710882.2011.563314.
- Stephan, N.K. and Schindler, C. (2011) "Integration of suppliers into the product development process using the example of the commercial vehicle industry," in *International Conference on Engineering Design, ICED'11, Technical University of Denmark*.
- Stevenson, P.D. and Mattson, C.A. (2019) "The personification of big data," *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, pp. 4019–4028. doi:10.1017/dsi.2019.409.

- Susilo, Y.O. and Cats, O. (2014) "Exploring key determinants of travel satisfaction for multi-modal trips by different traveler groups," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 67, pp. 366–380. doi:10.1016/j.tra.2014.08.002.
- Tackara, J. (2008) *In the bubble ; de la complexité au design durable*. Arts et spectacles. Cité Du Design.
- Telenko, C., Seepersad, C.C.; and Webber, E. (2008) "A Compilation Of Design For Environment Principles And Guidelines," in *Proceedings of ASME IDETC/CIE 2008, August 3-6, New York*.
- Tyl, B. et al. (2014) "A comparative study of ideation mechanisms used in eco-innovation tools," *Journal of Engineering Design*, 25(10–12), pp. 325–345. doi:10.1080/09544828.2014.992772.
- Tyl, B. et al. (2016) "The esm approach: 8 mechanisms to efficiently support eco-ideation," *Proceedings of International Design Conference, DESIGN, DS 84*, pp. 1165–1174.
- Tyl, B. et al. (2018) "Development of an Eco-Ideation Toolbox To Support the Generation of Eco-Innovative Ideas," in *8ème Congrès avniR, 7-8 novembre, Villeneuve d'Asq*, pp. 1–6.
- United Nations (2015) *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: UN Publishing.
- United Nations Environment Programme (UN Environment) (2017) *Eco-i Manual*.
- Urry, J. (2016) *What is the future*. Polity Pre. Cambridge.
- Vallet, F., Tyl, B., et al. (2013) "A method to select best nuggets from eco-innovation sessions," in Bartolo, Helena; Da Silva Bartolo, P.J. (ed.) *Green Design, Materials and Manufacturing Processes, 2nd International Conference on Sustainable Intelligent Manufacturing, Lisbon, June 26-29*. London: CRC Press, pp. 647–653.
- Vallet, F., Eynard, B., et al. (2013) "Using eco-design tools: An overview of experts' practices," *Design Studies*, 34(3), pp. 345–377. doi:10.1016/j.destud.2012.10.001.
- Vallet, F. et al. (2017) "Is this system eco-innovative? A case-based workshop," *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 1(DS87-1)*, pp. 111–120.
- Vallet, F. et al. (2020) "Tangible futures: Combining scenario thinking and personas - A pilot study on urban mobility," *Futures*, 117(January), p. 102513. doi:10.1016/j.futures.2020.102513.
- Vallet, F. et al. (2021) "Designing a data visualisation and analysis tool for supporting decision-making with public transport network," *Proceedings of the Design Society. 2021/07/27, 1*, pp. 1093–1102. doi:DOI: 10.1017/pds.2021.109.
- Vallet, F., Eynard, B. and Millet, D. (2014) "Proposal of an eco-design framework based on a design education perspective," *Procedia CIRP*, 15, pp. 349–354. doi:10.1016/j.procir.2014.06.011.
- Vallet, F. and Tyl, B. (2020) "Implementation of an eco-innovation toolbox to stimulate design teams: A case of interior design," *Procedia CIRP*, 90, pp. 334–338. doi:10.1016/j.procir.2020.01.105.
- Vasconcelos, L.A. and Crilly, N. (2016) "Inspiration and fixation: Questions, methods, findings, and challenges," *Design Studies*, 42, pp. 1–32. doi:10.1016/j.destud.2015.11.001.
- Vergragt, P.J. and Quist, J. (2011) "Backcasting for sustainability: Introduction to the special issue," *Technological Forecasting and Social Change*, 78(5), pp. 747–755. doi:10.1016/j.techfore.2011.03.010.

- Vidovičová, L. (2018) "New Roles for Older People," *Journal of Population Ageing*, 11(1), pp. 1–6. doi:10.1007/s12062-017-9217-z.
- Vincent Geslin, S. et al. (2017) *Fin de partie. Note de synthèse sur l'évaluation du jeu 2061*. Châtelaine (Suisse).
- Vosooghi, R. et al. (2019) "Robo-Taxi service fleet sizing: assessing the impact of user trust and willingness-to-use," *Transportation*, 46(6). doi:10.1007/s11116-019-10013-x.
- Winn, B. (2009) "The Design, Play, and Experience Framework," in *Handbook of Research on Effective Electronic Gaming in Education*, pp. 1010–1024. doi:10.4018/978-1-59904-808-6.CH058.
- Xavier, A.F. et al. (2017) "Systematic literature review of eco-innovation models: Opportunities and recommendations for future research," *Journal of Cleaner Production*, 149, pp. 1278–1302. doi:10.1016/j.jclepro.2017.02.145.
- Yang, C.J. and Chen, J.L. (2011) "Accelerating preliminary eco-innovation design for products that integrates case-based reasoning and TRIZ method," *Journal of Cleaner Production*, 19(9–10), pp. 998–1006. doi:10.1016/j.jclepro.2011.01.014.
- Yannou, B. (2015) "Supporting need seeker innovation: The radical innovation design methodology," *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, 8(DS 80-08), pp. 1–10.
- Yannou, B., Lamé, G. and Cluzel, F. (2017) "Radical Innovation Design," in de Hemmer Gudme, O. and Poissonnier, H. (eds) *Valeur(s) & management*. Questions de société-EMS Editions, pp. 263–281. doi:10.3917/ems.dehem.2017.01.0263.
- Yilmaz, S. et al. (2016) "Evidence-based design heuristics for idea generation," *Design Studies*, 46, pp. 95–124. doi:10.1016/j.destud.2016.05.001.
- Yilmaz, S., Seifert, C.M. and Gonzalez, R. (2010) "Cognitive heuristics in design: Instructional strategies to increase creativity in idea generation," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 24(3), pp. 335–355. doi:10.1017/S0890060410000235.

Annexes

Annexe 1: Synthèse des tests effectués lors du projet ANR ALIENNOR (MSE : Mécanisme de stimulation de l'Eco-idéation)

Année	Cadre	Sujet						Objectif du test
			Etudiants	Doctorants	Chercheurs	Industriels	Institutionnels- Autres	
2016	Centrale Supélec	Mobilier bureau	x					Test préliminaire de 4 MSE
2016	INSEEC	Mobilier bureau	x					Test préliminaire de 2 MSE
2016	EcoSD	Cas divers (N=16)			x	x		Lien MSE / cas et caractérisation éco-innovation par les cas (TOP/FLOP)
2016 à 2020	ENSCI	Cas divers (N=10)	x					Caractérisation éco-innovation par les cas (TOP/FLOP)
2017	EcoSD	Coopérative énergétique Autopartage Mobilité Active			x	x		Choix des MSE (3 méthodes) Test MSE : Ressources territoriales et Circularité Test MSE : Parties Prenantes et Modes consommation soutenables
2017	Cours doctoral EcoSD	Cas divers (N=10)		x				Caractérisation éco-innovation par les cas (TOP/FLOP)
2018	EcoSD	Cas divers			x	x		Evaluation cas éco-innovation de la base de cas
2018	Design 2018	Filtre aquaponique			x			Test de 4 MSE : Biomimétisme, Parties Prenantes, Ressources territoriales, Modes de conso.
2018	IRT SystemX	Espaces de stationnement urbain			x	x		Balayage rapide Test de 2 MSE (au choix) : Biomimétisme, Parties Prenantes
2018	Cours doctoral EcoSD	Filtre aquaponique		x		x		Balayage rapide Test de 3 MSE : Parties Prenantes, Ressources territoriales, PSS
2018	EcoSD et invités	Cas divers (N=15)			x	x		Test évaluation des cas d'éco-innovation Lien MSE / cas

2018	Projet Pévèle Caramba ult	Qualité de vie au travail et circularité d'un bâtiment de coworking				x	x	Balayage rapide Test de 3 MSE (au choix) : Ressources territoriales, PSS, Modes de Consommation soutenables
2019	Centrale Supélec-Option GI	Micro-méthaniseur	x					Balayage rapide Test de 3 MSE (au choix) : Parties Prenantes, PSS, Ressources territoriales
2020	Centrale Supélec-Option GI	Boisson événementielle	x					Balayage rapide Test de 3 MSE (au choix) : Parties Prenantes, Circularité, PSS

