



**HAL**  
open science

# D'une conception multimétier à une conception ouverte : les enjeux d'une collaboration élargie.

Cédric Masclet

## ► To cite this version:

Cédric Masclet. D'une conception multimétier à une conception ouverte : les enjeux d'une collaboration élargie.. Génie mécanique [physics.class-ph]. Université Grenoble Alpes, 2023. tel-04306141

**HAL Id: tel-04306141**

**<https://hal.science/tel-04306141>**

Submitted on 24 Nov 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

# MÉMOIRE

En vue d'obtenir l'**Habilitation à Diriger des Recherches**

Arrêté ministériel : 23 novembre 1988

École Doctorale I-MEP2 - Ingénierie - Matériaux, Mécanique, Environnement, Energétique, Procédés, Production

Présenté par **Cédric MASCLET, Maître de Conférences,**  
**UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES, Laboratoire G-SCOP**

## **D'une conception multimétier à une conception ouverte : les enjeux d'une collaboration élargie.**

Travaux soutenus publiquement le 13 septembre 2023

devant le jury composé de :

Mme Françoise DARSEZ, Professeure des Universités, Université Paris-Saclay, Rapporteur.

M. Benoît EYNARD, Professeur des Universités, Université de Technologie de Compiègne, Rapporteur.

M. Jeremy LEGARDEUR, Professeur, École Supérieure de Technologies Industrielles Avancées (Bidart), Rapporteur.

M. Nicolas MARANZANA, Maître de Conférences - HDR, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (Paris), Examineur.

M. Pierre LECLERCQ, Professeur, Université de Liège, Examineur.

M. Jean-François BOJUT, Professeur des Universités, Grenoble INP, Examineur.



# Table des matières

<b>1. Parcours professionnel (enseignement)</b>	<b>7</b>
1.1. Affectations . . . . .	7
1.2. Enseignements . . . . .	8
1.2.1. Formation des enseignants. . . . .	10
1.2.2. Formation des masters et ingénieurs. . . . .	10
1.3. Responsabilités pédagogiques et administratives . . . . .	12
<b>2. Synthèse des activités de recherche</b>	<b>13</b>
2.1. Étude des environnements de conception collaborative. . . . .	15
2.1.1. Choix et définition des environnements numériques de conception collaborative. . . . .	16
2.1.1. Évaluer la collaboration. Sous quel angle ? . . . . .	25
2.2. Les représentations externes comme support à la collaboration multimétier . . . . .	35
2.3. Vers l'ouverture des communautés à la co-conception . . . . .	40
2.4. L'analyse de l'activité par l'instrumentation des situations collaboratives. . . . .	46
2.4.1. Le design observatory comme base instrumentale. . . . .	47
2.4.2. Les outils scientifiques logiciels. . . . .	49
2.5. Projets et encadrements . . . . .	52
2.5.1. Thèses encadrées (7) . . . . .	52
2.5.2. Thèses en cours (2) . . . . .	53
2.5.3. Masters et DEA (21) . . . . .	53
2.5.4. Développements techniques et Internships . . . . .	55
2.5.5. Projets institutionnels . . . . .	55
2.6. Publications . . . . .	62
<b>3. Perspectives de recherche</b>	<b>70</b>
3.1. La low tech comme laboratoire d'une conception participative. . . . .	72
3.2. Des environnements collaboratifs pour une conception ouverte. . . . .	77
3.3. Conclusion . . . . .	82
<b>A. Direction, pilotage, montage de formations</b>	<b>86</b>
<b>B. Responsabilités collectives</b>	<b>87</b>

## Liste de quelques acronymes

- CAPET** Certificat d'Aptitude au Professorat de l'Enseignement Technique
- DUT** Diplôme Universitaire de Technologie
- ECPSI** Enseignement et Conception de Produits/Systèmes Innovants
- e-mediatE** electronic-mediated Engineering
- EMIRAcle** European Manufacturing and Innovation Research Association
- ÉSPÉ** École Supérieure du Professorat et de l'Éducation
- G-SCOP** Grenoble Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production
- Hceres** Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur
- INSPÉ** Institut National Supérieur du Professorat et de l'Éducation
- IUFM** Institut Universitaire de Formation des Maîtres
- MEEF** Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la Formation
- MEXICO** Moyens EXperimentaux pour l'Ingénierie COllaborative. Salle expérimentale de la plateforme Vision-R
- MIHRIAD** Murs d'Images Haute Résolution pour l'Ingénierie Augmentée et le Design
- PEPR** Programme et Équipement Prioritaire de Recherche
- PRAG** PProfesseur AGrégé affectés dans l'enseignement supérieur
- PRCE** Projet de Recherche Collaborative - Entreprise
- PhITEM** Physique, Ingénierie, Terre, Environnement, Mécanique
- SPARK** SPatial Augmented Reality as a Key for co-creativity
- SAR** Spatial Augmented Reality
- S.mart** System.Manufacturing.Academics.Ressources.Technologies
- STI** Sciences et Technologies Industrielles
- TAPIOCA** TAngibilité Physiologique Instrumentée : Outil mixte redimensionnable pour la Conception d'Artefact
- UFR** Unité de Formation et de Recherche
- VISIONAIR** VISION Advanced Infrastructure for Research
- WIMP** Windows, Icons, Menus and Pointers

...et j'en oublie certainement.

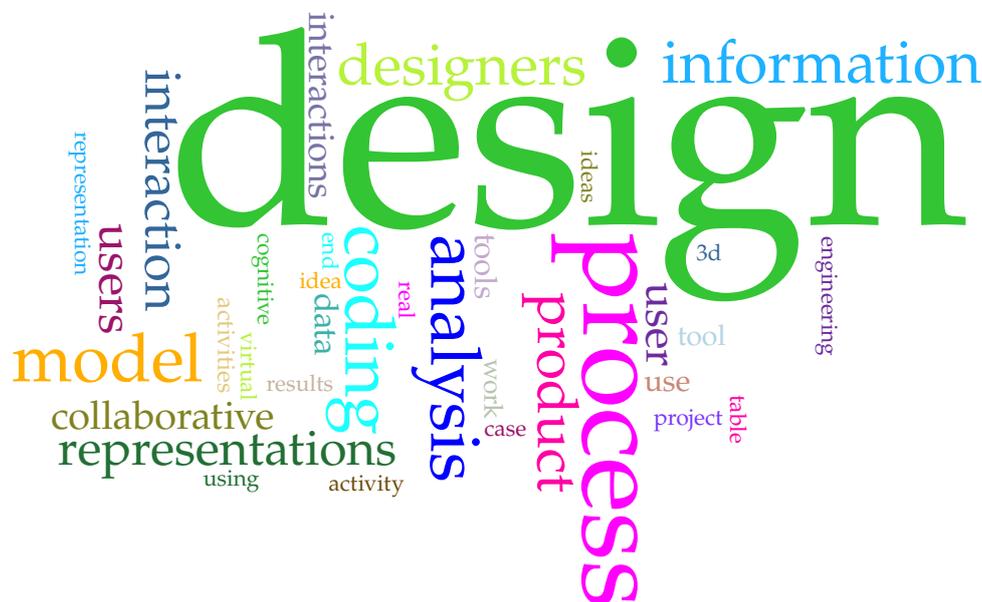
*Si le savoir peut créer des problèmes, ce n'est pas l'ignorance qui les résoudra.*

Isaac Asimov

## Contexte et motivations

Ce document a pour finalité de rassembler tous les éléments nécessaires à convaincre mes pairs de mon aptitude à diriger des recherches. Je vais donc tenter d'y décrire, le plus brièvement possible, les faits marquants de ces vingt dernières années de recherche (et d'enseignement), le chemin parcouru, et ce que j'entrevois comme perspective de recherche pour les prochaines années.

Bien que l'un des objectifs d'une habilitation à diriger des recherches soit l'accès à l'autonomie, je veux rappeler ici un principe qui me semble fondamental : l'ensemble des travaux et activités relatés dans ces pages sont les fruits de collaborations. À de multiples échelles, le travail du chercheur a toujours été le fait d'un collectif. À 2 ou à 100, au local ou à l'international, entre collègues de la même section scientifique ou dans l'interdisciplinarité, les confrontations de points de vue, les échanges méthodologiques, les débats épistémiques ont été pour moi un perpétuel rappel salutaire de l'humilité dont un chercheur doit faire preuve. La complexité des sujets abordés oblige à croiser nos regards et à construire, dans une tentative de perspective holistique, un objet de connaissance commun à l'ensemble de la communauté. Bien sûr, nos contributions se doivent d'être circonscrites, pertinentes et partageables, en réponse aux exigences d'une recherche rigoureuse, méthodique et falsifiable. Cela vaut pour le génie industriel comme pour tout autre science. Ces contributions participent de l'effort d'héritage commun que nous construisons au quotidien pour les générations futures. J'ai pleinement apprécié ces années de co-encadrement avec mes collègues, habilités ou non, et j'espère pouvoir apporter autant aux prochains collègues que ce que j'ai reçu de nos prédécesseurs.



Nuage de mots des publications co-rédigées en anglais (produit avec Voyant<sup>1</sup>©)

Pour bien comprendre la multiplicité des actions de recherche décrites ici, il faut mesurer

---

1. <https://voyant-tools.org/>

l'évolution technique dont nous avons été témoins dans ces dernières années. J'ai appris le dessin industriel en manipulant le Rotring® et la lame de rasoir dans des salles où trônaient quelques précurseurs du standard PC faisant tourner AutoCAD® sous MS-DOS. Nous travaillons actuellement des maquettes numériques tridimensionnelles visualisées dans des systèmes de réalité virtuelle. En outre, l'internet a révolutionné nos modes de communication et d'accès à l'information, modifiant profondément l'organisation du travail des concepteurs. C'est dans ce cadre, marqué de rencontres humaines et scientifiques, que j'ai développées mes activités d'enseignement, de recherche et d'encadrement.

La première partie de ma carrière est une période qui se caractérise par une forte dichotomie entre la partie enseignement et la partie recherche. Les liens entre la formation des enseignants du second degré en sciences de l'ingénieur et la recherche en conception collaborative étaient assez ténus. La seconde partie a remis de la cohérence entre les savoirs construits et les savoirs enseignés, conformément aux objectifs du métier d'enseignant-chercheur.

Ce manuscrit est structuré en trois chapitres. Sans originalité et par respect pour la cardinalité de la fonction d'enseignant-chercheur, je commencerai par une rapide synthèse de mon parcours professionnel en mettant l'accent sur la partie enseignement, fortement liée aux établissements de rattachement successifs. Le second chapitre est une synthèse des activités de recherche menées depuis ma prise de fonction en tant que maître de conférences. Enfin, un dernier chapitre élabore les pistes scientifiques que je souhaite développer pour les prochaines années. Elles s'inscrivent dans la lignée des travaux conduits jusqu'à présent, en forte relation avec des disciplines des sciences humaines et sociales et des TIC, avec lesquelles j'entends ardemment poursuivre les collaborations.

# 1. Parcours professionnel (enseignement)

## 1.1. Affectations

Recruté en tant que PProfesseur AGrégé affectés dans l'enseignement supérieur (**PRAG**) en 2001 à l'INSA de TOULOUSE, j'intégrai l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres (**IUFM**) de GRENOBLE deux ans plus tard comme maître de conférences pour former les enseignants du secondaire en génie mécanique, technologie, sciences et techniques industrielles et sciences de l'ingénieur, au gré des réformes de l'Éducation Nationale. La première année fut consacrée à la découverte des enseignements, l'imprégnation du fonctionnement de la formation des enseignants et la familiarisation avec les collègues de la disciplines et des sciences de l'éducation. De 2004 à 2007, j'assurai les fonctions de responsable du département TGES (Technologies, Gestion, Économie et Société) puis de l'unité disciplinaire des Sciences de l'Ingénieur et Technologie (SIT). Ces instances avaient pour but de gérer les formations disciplinaires qui y étaient associées, gérer les recrutements en personnel, définir la stratégie académique de formation, en relation avec le rectorat et les universités. Au plus fort de l'activité, ces instances ont compté jusqu'à 25

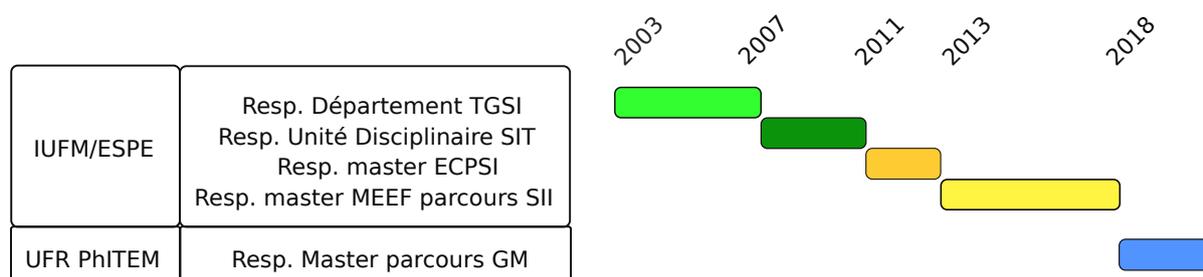


FIGURE 1.1. – Responsabilités pédagogiques dans les composantes

enseignants pour 5 parcours de formation. J'ai également contribué à la mise en place des différentes réformes des IUFM, notamment l'intégration aux universités, la masterisation en 2010, et participé aux travaux de la Commission de la Vie Scientifique et Orientation Pédagogique en tant que membre permanent. En 2010, la baisse des effectifs d'étudiants dans les préparations concours et formations d'enseignant causée par la fermeture progressive des concours et la baisse (et fermeture) du nombre de postes offerts au concours a conduit à une raréfaction de mes heures d'enseignement à l'IUFM, au profit des heures assurées dans les formations de l'Université Joseph Fourier (UJF) qui deviendra l'UGA en 2016. Il a donc été procédé en 2011 au démantèlement de l'équipe pédagogique des Sciences Industrielles et Technologies de l'IUFM et au transfert de mon poste à l'Unité de Formation et de Recherche (**UFR**) Physique, Ingénie-

rie, Terre, Environnement, Mécanique (**PhITEM**) de l'UJF à la rentrée 2011. J'eus alors pour mission, notamment, de conduire la réforme dite de la *masterisation* par le montage du master Enseignement et Conception de Produits/Systèmes Innovants (**ECPSI**) se substituant, pour partie, à l'ancienne formation des enseignants.

Sur le plan de la recherche, j'ai intégré le laboratoire 3S à mon arrivée sur GRENOBLE (équipe Conception intégrée) et développé mes activités de recherche dans ce cadre de 2003 à 2007. En 2007, j'ai participé à la création d'un nouveau laboratoire multidisciplinaire, le Grenoble Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production (**G-SCOP**), qui regroupait des équipes de recherche venues d'horizons différents autour d'une thématique commune : l'étude des systèmes de production. Au sein de ce nouveau laboratoire, j'ai intégré l'équipe Conception collaborative du pôle Conception intégrée et poursuivi les activités initiées au laboratoire 3S (Sols, Solides, Structures).

## 1.2. Enseignements

- (2003–2019) Formation des enseignants du premier et second degré des disciplines techniques : génie mécanique, technologie, sciences industrielles de l'ingénieur
- (2003 ⇄) Formation scientifique et disciplinaires des ingénieurs, ingénieurs maîtres et masters dans le domaine du génie mécanique.

Les multiples expériences d'enseignement détaillées ci-dessous ont contribué à élargir mes horizons, grâce à un tissu universitaire grenoblois très riche. Les collègues des équipes pédagogiques, autant que les publics des différents établissements m'ont amené à me réinterroger sans cesse sur l'utilité des formations dispensées, leurs spécificités et les didactiques propices aux apprentissages. Cela a pour conséquence un renouvellement constant de mes enseignements que je situe à au moins 15 % chaque année.

L'expérience d'enseignements interdisciplinaires en IUFM, au contact des collègues de sciences de l'éducation, de psychologie, de sciences expérimentales, de philosophie, d'histoire-géographie, de langues ou même d'EPS ont été une véritable révélation des enjeux qui doivent nous pousser à transcender les frontières disciplinaires. Cette période a eu une grande influence sur mon approche de la recherche.

Les fortes relations entre les différentes composantes du domaine de l'ingénierie m'ont permis de contribuer à des parcours de formation aussi variés que la formation d'enseignant à l'IUFM, l'éphémère formation d'ingénieur-maîtres (IUP) à l'Université Joseph FOURIER et les préparations aux concours d'enseignant du second degré, la formation d'ingénieurs à GRENOBLE INP (école ENSHMG puis ENSE3 et Génie Industriel) ou la formation d'ingénieur pédagogique à l'UFR des Sciences Humaines et Sociales de l'ex Université Pierre MENDES-FRANCE (cf. figure 1.2. L'intervention à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de GRENOBLE est plus récente et illustre la volonté de diffuser nos savoirs-faire en matière de collaboration intermétier dans le cadre d'un Diplôme Universitaire rassemblant des élèves ingénieurs et des élèves architectes.

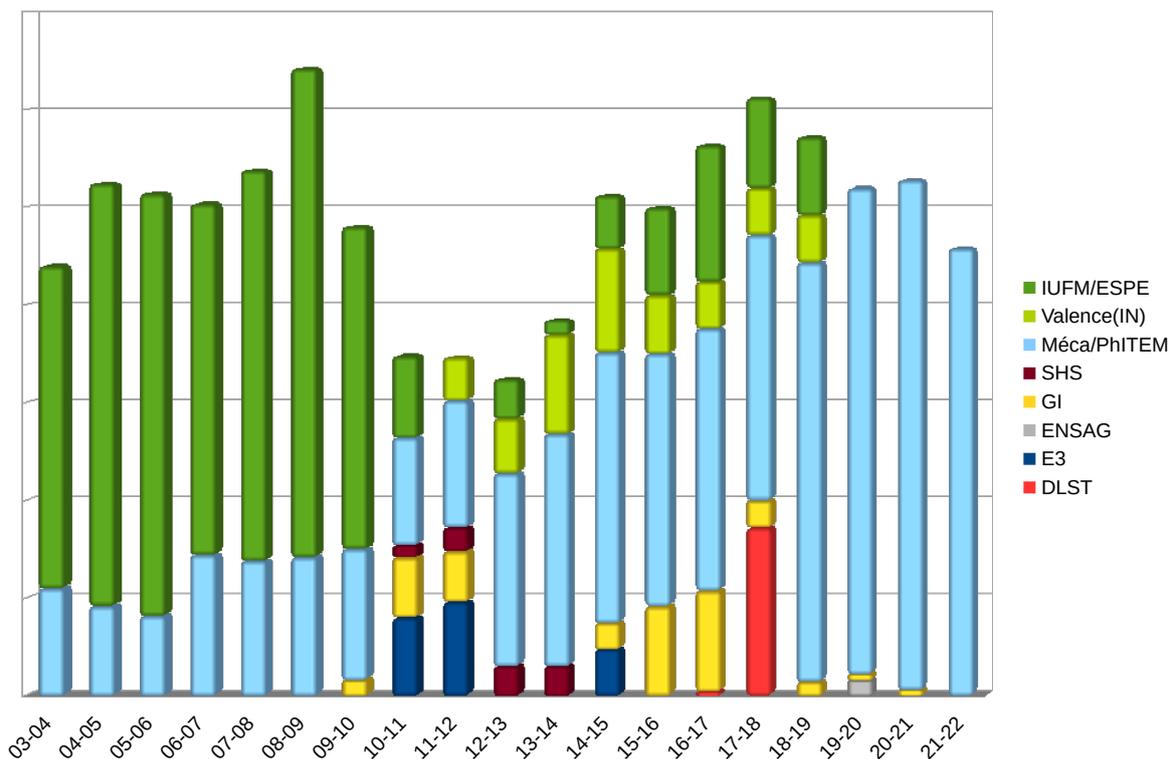


FIGURE 1.2. – Évolution du service d’enseignement par composantes

Consécutivement au transfert de mon poste à l’UFR PhITEM en 2011, j’ai progressivement re-construit un nouveau service d’enseignement jusqu’à ce que l’École Supérieure du Professorat et de l’Éducation (ÉSPÉ)<sup>1</sup> de GRENOBLE, successeur de l’IUFM et prédécesseur de l’Institut National Supérieur du Professorat et de l’Éducation (INSPE), me sollicite de nouveau en 2013 pour assurer le montage et la direction d’un parcours de Sciences Industrielles de l’Ingénieur dans le nouveau master Métiers de l’Enseignement, de l’Éducation et de la Formation (MEEF). Je n’ai eu de cesse alors d’augmenter progressivement la part de mes enseignements dans les formations de l’UFR. Comme vous pourrez le constater sur la figure 1.3, l’essentiel de mes activités d’enseignement, que je précise dans les sec-

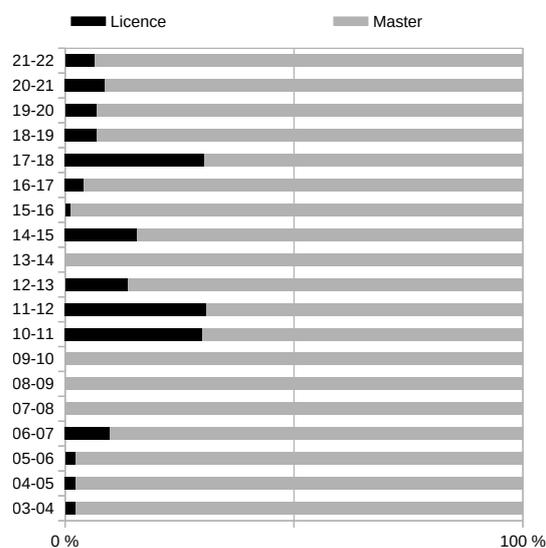


FIGURE 1.3. – Répartition des enseignements par niveaux et par an

1. Loi d’orientation et de programmation pour la refondation de l’École de la République du 8 juillet 2013

tions suivantes, se situe au niveau master. Ceci s'explique notamment par le fait que la formation des enseignants se fait exclusivement au niveau master.

### 1.2.1. Formation des enseignants.

A l'IUFM de GRENOBLE puis l'ÉSPÉ, j'ai pris en charge des enseignements pour les Professeurs de Lycée et Collège (PLC) et les Professeurs des Écoles (PE) :

- Préparation aux Certificat d'Aptitude au Professorat de l'Enseignement Technique (CAPET) : épreuves disciplinaires à travers les enseignements du génie mécanique, et épreuves professionnelles par la préparation au dossier et à l'épreuve de leçon.
- Préparation à l'agrégation (collaboration avec l'UFR de Mécanique) : enseignements méthodologiques pour la préparation aux épreuves écrites et orales.
- Enseignements de didactique disciplinaire : déclinaisons des concepts fondamentaux de la didactique des disciplines techniques
- culture inter-disciplinaire et modalités d'apprentissage par projet : favoriser le travail de l'enseignant en coopération avec les autres disciplines du collège et lycée pour aboutir au décloisonnement des apprentissages. Modalités de co-intervention avec les collègues d'EPS, Philosophie, SVT...
- Encadrement de mémoires (plus de 65 mémoires encadrés sur 10 années) : outil incontournable de la pratique réflexive, les mémoires constituaient un moment fort de la formation des enseignants par l'alternance.
- Modules d'initiation au développement durable et à la technologie des objets (PE) 20h : en accompagnement d'un formateur spécialisé dans le premier degré, j'ai contribué au montage d'UE sur les thèmes de la gestion des déchets et de l'habitat avec des séances « hors les murs » de visite de sites.

Une partie de ces enseignements a été progressivement dématérialisée. L'équipe pédagogique assure ainsi certains enseignements à distance (suivi de mémoire, cours/TD de didactique et disciplinaire) grâce aux ressources universitaires (Chamilo, Renater) et à la plateforme M@gistère de L'Éducation Nationale.

A ce volet, je dois ajouter ma contribution à la formation en ingénierie des compétences de l'UPMF (master Formation Emploi Compétences) de 2009 à 2011. Mes interventions ciblaient la connaissance des entreprises et de leurs processus, et les représentations en ingénierie. Cette dernière partie a débouché sur un enseignement en anglais dans le master INTERNATIONAL COGNITIVE VISUALIZATION de 2012 à 2015 porté par E. de Vries de l'UPMF.

### 1.2.2. Formation des masters et ingénieurs.

Ces enseignements ont été dispensés à l'UJF/UGA et à GRENOBLE INP.

Au niveau licence, les principaux enseignements ont porté sur l'initiation aux bases de la CAO et de la conception mécanique (école d'ingénieur ENSE3, 2010 à 2013, groupes de 25 étudiants) et la sensibilisation au développement durable (UE ouverture en Licence STI).

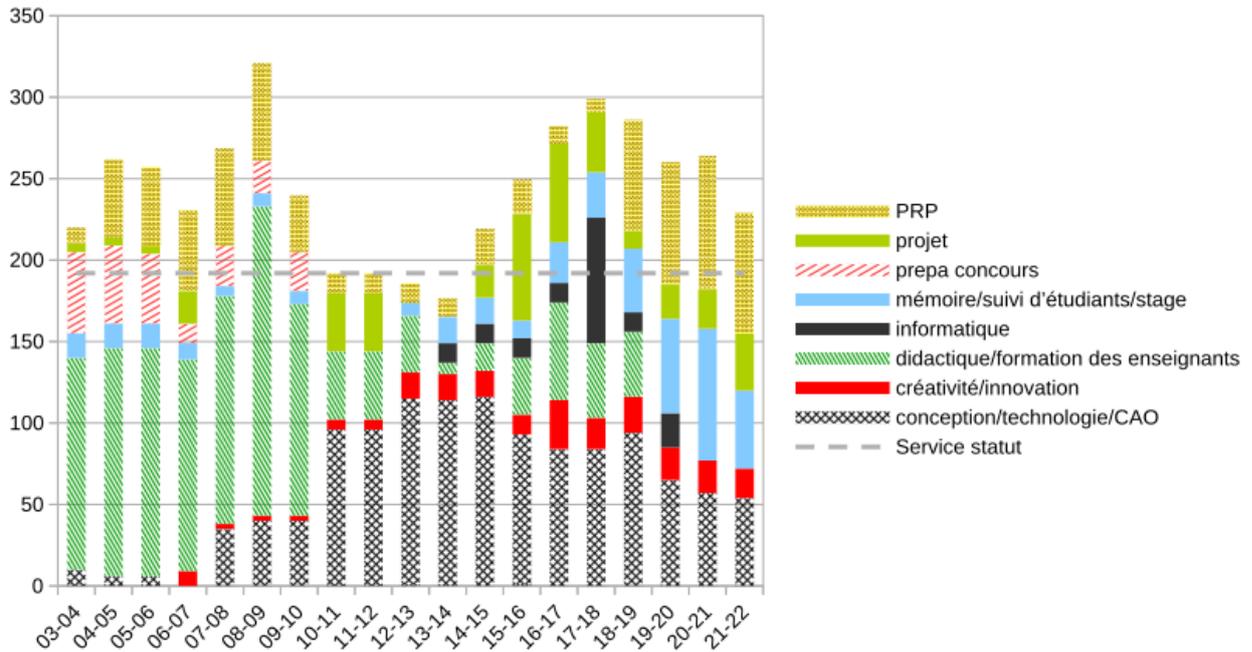


FIGURE 1.4. – Historique des matières enseignées

Au niveau master, soit l'essentiel de mes interventions, j'ai participé aux enseignements dans les domaines du génie mécanique et du génie industriel (master international, enseignements en anglais). Les UE concernées sont connexes à mes domaines de compétence : conception intégrée et collaborative, informatique, conduite de projets pluri-disciplinaires, initiation à la créativité. Mes contributions à l'innovation pédagogique sont multiples. Je mets en œuvre un serious game (Delta Design, MIT) afin d'aborder avec les étudiants les notions de partage de connaissances en collaboration multimétier. J'intègre également les nouvelles technologies dans une visées didactique (plateformes collaboratives pour les partages de documents par exemple) mais aussi en tant qu'objet de la formation. C'est ainsi que j'ai proposé, dès 2009 une activité de conception à distance basée sur des outils de visioconférence (Arel, Teamspeak, EVO, RendezVous. . .) couplés à des outils d'édition en ligne et de partage d'application issus du CSCW. Durant ces formations, j'ai encadré plus d'une trentaine de projets de fin d'études et d'alternants sur 8 années.

Dans l'optique d'ouvrir le génie mécanique à d'autres disciplines, j'ai conduit et assuré, avec F. Pourroy, la mise en place des enseignements d'initiation aux bases du génie mécanique pour le master d'Ingénierie Nucléaire (ex ITDD) de l'UFR (cf. figure 1.4). J'ai également élaboré et piloté l'UE Knowledge et Innovation (enseignement en anglais) qui s'appuie en partie sur des méthodes d'apprentissage innovantes issues du programme PROMISING (IDEFI coordonné par l'UGA). Cette UE vise à initier les étudiant à la créativité et l'innovation. Cette UE a accueilli jusqu'à 40 étudiants du master MÉCANIQUE et du parcours international WICS<sup>2</sup> du master ÉLECTRONIQUE, ÉNERGIE ÉLECTRIQUE, AUTOMATIQUE.

Les enseignements assurés durant ces années ont couvert essentiellement le domaine des sciences de l'ingénieur et la didactique des sciences et technologies ainsi que les contenus disciplinaires associés. Le volet technologique (CAO, enseignement de technologie) y a pris une part conséquente, complété par les aspects méthodologiques (méthodes de conception, démarche de créativité...), comme l'illustre la figure 1.4.

### 1.3. Responsabilités pédagogiques et administratives

Les principales responsabilités sont relatives au fonctionnement des instances de mes établissements d'accueil successifs. Le détail en est fourni en Annexe B.

Dès 2004, j'ai assumé la direction du département TGES (Technologies, Gestion, Économie et Société) regroupant les formations techniques, SES et Économie-Gestion. Ce département comptait alors une quinzaine de formateurs répartis dans les 3 disciplines. En 2005, nous avons mis en œuvre la réforme de l'intégration des IUFM dans les universités.

Lors de la réorganisation interne de l'IUFM, j'ai pris la direction de la nouvelle Unité Disciplinaire de Sciences de l'Ingénieur et Technologie (SIT). J'animais une équipe de 9 formateurs pour mettre en œuvre les formations des enseignants en collège, lycée et lycée professionnel dans les spécialités de technologie, génie mécanique et de disciplines variées de Sciences et Technologies Industrielles (STI) : maintenance des systèmes mécaniques, génie électrique, génie civil, peinture revêtement, biotechno santé environnement... Ces formations ont compté environ 60 étudiants et stagiaires par an. Parallèlement, j'ai participé aux travaux de diverses commissions (C2I2e, Vie Scientifique et Orientation Pédagogique...). Ces missions se caractérisaient par un niveau de complexité particulier liée à la nature tripartite de la formation : université, IUFM, rectorat.

À mon arrivée à l'UFR PhITEM, j'ai prolongé cet engagement en construisant et pilotant le master ECPSI (Enseignement et Conception de Produit-Services Innovants) qui avait pris le relai de la formation initiale des enseignants de l'IUFM. Celui-ci a été rapidement remplacé par le parcours SII (Sciences Industrielles de l'Ingénieur) des nouveaux master MEEF que j'ai co-construit avec H. Paris et dont j'ai assuré la responsabilité jusqu'en 2019. J'ai alors repris le pilotage du parcours génie mécanique du master MÉCANIQUE, dont la formation est en alternance et ai également repris la charge de mission de correspondant Formation Continue et Apprentissage pour l'ensemble de l'UFR. Ces responsabilités, ainsi que celles assurées pour le compte du laboratoire, sont consignées en Annexe B.

## 2. Synthèse des activités de recherche

La synthèse présentée ici s'appuie sur mes activités de recherche menées depuis mon arrivée à GRENOBLE comme maître de conférences. Les travaux que j'ai conduit ces vingt dernières années ont pour thème central la collaboration en conception de produits. Le nuage de mots figurant p.5, établi sur la base de l'ensemble des publications co-écrites, est une métaphore possible de l'objet de mes recherches. L'intérêt pour la conception assistée par ordinateur remonte à mes travaux de doctorat. Sans rentrer dans le détail de ces travaux, hors de propos dans le cadre de ce document, je souhaite toutefois exposer brièvement la logique qui a présidé aux choix faits lors de ce doctorat<sup>1</sup>, sous la direction de feux MM. Jean GUILLOT et Marc SARTOR à qui je dédie ce mémoire, afin de mieux comprendre le cheminement effectué depuis.

En réponse à une problématique de conception d'organes de transmission de puissance, j'avais développé le concept de Dispositifs Technologiques assurant une Liaison Mécanique (DTLM). Ces éléments, représentatifs de liaisons mécaniques simples, étaient les briques centrales de l'étape de synthèse du mécanisme que nous nous proposons d'assister par l'informatique. Le cas d'étude choisi était basé sur la conception d'arbres de réducteurs incluant des organes de transmission (poulies, engrenages...), leurs liaisons complètes démontables à l'arbre, et le guidage de l'arbre. Le dimensionnement optimisé, par le calcul, de ces liaisons mécaniques simples (liaisons complètes, liaison pivots...) ne posait pas de problème particulier car les règles et méthodes étaient connues. Chacun des problèmes de dimensionnement de DTLM était considéré comme un problème disciplinaire et nous avons donc affaire à un problème d'optimisation pluridisciplinaire. Malheureusement, la synthèse de ces composants aboutissait très régulièrement à des conflits sous forme d'interférences de montage que le(s) concepteur(s) aurai(en)t eu à gérer manuellement, engendrant ainsi la nécessité d'une collaboration. La thèse privilégiée dans ces travaux a été celle d'une résolution automatique par l'optimisation collaborative sous contrainte du dimensionnement des composants. Nous avons

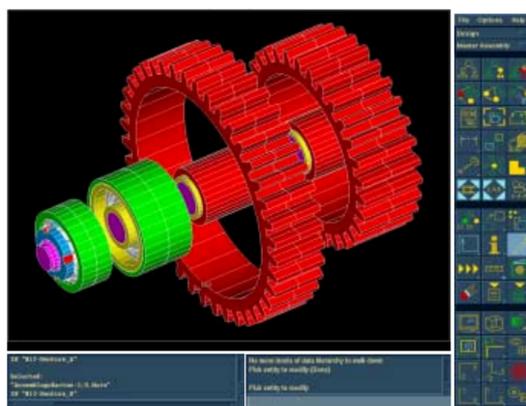


FIGURE 2.1. – Interface graphique de SICAM2 basée sur I-DEAS®

1. Masclet, C. (2002). Vers une assistance à la synthèse de dispositifs technologiques assurant une liaison mécanique [Theses, INSA de Toulouse]. <https://theses.hal.science/tel-00008049> DEA

ainsi introduit une discipline système, coordonnant des disciplines locales afin d'en conduire une synthèse coordonnée. Ce système hiérarchique s'appuyait sur la formulation de pénalités afin rendre compte du résultat des optimisations locales et réciproquement piloter les objectifs locaux selon les résultats de l'optimisation du niveau système. Pour schématiser grossièrement l'interaction du concepteur avec le logiciel, ce dernier choisissait les technologies de liaison mécanique et fixait des contraintes d'encombrement initiales pour chacun des DTLM et le sens de montage des composants sur l'arbre. Le logiciel SICAM2 se chargeait alors de dimensionner le système de façon optimal et de produire le modèle 3D du résultat (cf. figure 13).

Rétrospectivement, cette vision de la conception intégrée ne s'appuyait sur aucune véritable collaboration entre experts puisque, même si il était envisageable que plusieurs acteurs puissent contribuer à la synthèse finale du mécanisme, elle privilégiait la vision d'un unique architecte arbitrant entre les contraintes locales des différentes parties du mécanisme. Cette vision de la pluridisciplinarité pouvait négliger le nécessaire dialogue entre experts puisque les couplages entre les paramètres du problèmes étaient essentiellement de même nature puisque géométriques. La dimension intégrative de la conception était volontairement restreinte et ne permettait pas de répondre facilement à des problèmes de couplage dont la nature des paramètres aurait été plus hétérogène. L'arrivée à Grenoble a changé mes perspectives sur la conception intégrée et j'y ai progressivement compris l'intérêt de l'interaction humaine en situation de conception collaborative. J'ai donc fait du facteur humain une préoccupation centrale des mes travaux de recherche que j'ai consacrés à la conception collaborative synchrone.

Le thème de la collaboration, souvent médiée par les outils numériques, s'est développé au fil des collaborations. La conception collaborative telle que j'ai souhaité l'aborder peut se structurer autour de trois grand pôles représenté dans le synopsis de la figure 15. Ils forment un triptyque étroitement lié par des influences réciproques bien identifiées dans la littérature. Cependant, ces pôles possèdent chacun leurs propres corpus de connaissances, communautés scientifiques, méthodes de recherche... Loin de prétendre avoir développé une expertise dans chacun de ces domaines, je pense néanmoins avoir construit une certaine cohérence dans l'étude de ces pôles et de leurs interdépendances au service de l'activité de conception.

Dans une première section, nous parcourons successivement les questions traitant de la constitution des environnements collaboratifs et de l'évaluation des performances dans ces environnements. L'accent est tout d'abord mis sur les problématiques liées aux choix des technologies (numériques ou non) et la nécessité d'adopter une démarche structurée pour définir la constitution de ces environnements collaboratifs (section 2.1.1). Comme dans toute activité créative, la proposition d'un tel environnement est basée sur des hypothèses d'adéquation à la tâche qu'il convient de valider. C'est ce que nous abordons dans la section 2.1.1 consacrée à l'évaluation de ces environnements sur le plan de l'utilisabilité, mais également en interrogeant la performance des équipes à l'usage de ces environnements. Nous abordons cette question par une étude centrée sur la relation entre les activités cognitives, les objets manipulés et la mémoire de groupe.

La section 2.2 s'intéresse plus particulièrement aux travaux réalisés sur la notion d'artefact

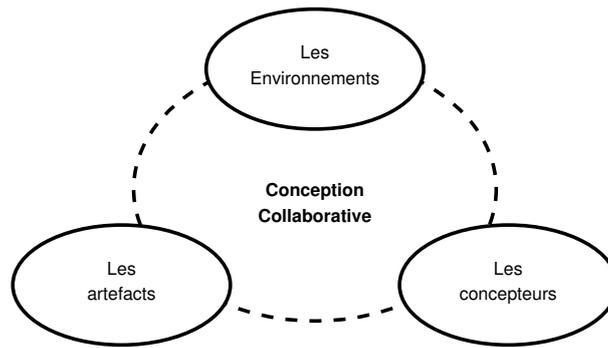


FIGURE 2.2. – Un synopsis de mon objet de recherche

et de représentations externes. Elle remet en contexte les objets manipulés par le concepteur, fruits de leur activité intellectuelle (les représentations internes), dont la matérialisation et la manipulation en situation de collaboration sont conditionnées par les environnements utilisés. Nous prolongeons cette réflexion par la section (section 2.3) consacrée à la question de l'ouverture des groupes collaboratifs à des néophytes. Nous réinterrogeons la forme des représentations externes aptes à faciliter l'inclusion des usagers dont on espère une participation active au processus de développement. Enfin, la section 2.4 introduit un peu de distance avec les objets de nos recherches pour s'attarder sur des aspects méthodologiques spécifiques.

## 2.1. Étude des environnements de conception collaborative.

Le monde de la conception a subi de profondes mutations depuis la fin des années 1980. L'introduction massive de l'informatique d'abord, qui a permis de généraliser ce qui n'était alors qu'une pratique onéreuse réservée à de grands groupes industriels. En matière de représentations des objets techniques, les écrans ont progressivement remplacé les tables à dessin, jusque dans les établissements de l'Éducation Nationale française à la fin des années 2000. Progressivement, les pratiques de conception ont évolué, en parallèle de l'évolution des modèles numériques, pour passer de la représentation graphique de la solution (le dessin technique ou dessin industrielle) à l'étude et l'exploitation de ces modèles enrichis par des corps de métiers divers (simulation du comportement, gestion de production...). Cette transition du DAO à la CAO est essentielle pour comprendre l'évolution des pratiques collaboratives en conception. Les étudiants assimilent encore souvent la CAO à la seule production d'une représentation graphique du produit en cours de conception, ce qui constitue une vision extrêmement réductrice.

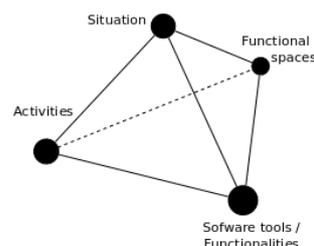
L'introduction de l'Internet a marqué un second temps fort de cette évolution. Dans le sillage de la conversion du concepteur aux outils numériques, ses productions (intellectuelles) ont bénéficié d'une circulation plus rapide et sont devenues de véritables objets partagés grâce à la dématérialisation. Cette dimension ubiquitaire a accompagné le développement de l'entreprise distribuée. L'industrie du logiciel a définitivement pris sa place dans les bureaux d'études et cherche à accompagner, voire bouleverser les pratiques.

Enfin, la division du travail a accru la nécessité de multiplier les compétences dans des organisations de type projet. Cela a conduit à une hyper-spécialisation des acteurs avec, comme corollaire, un fort développement d'outils métiers et de représentations vernaculaires. C'est dans ce contexte que j'ai abordé le thème de la collaboration multimétier médiatisée en conception.

### 2.1.1. Choix et définition des environnements numériques de conception collaborative.

L'ingénierie concourante est désormais une organisation courante dans les bureaux d'études. Les environnements (numériques) permettant de mener à bien cette collaboration ont facilité ce déploiement et une très large communauté de chercheur s'est constituée autour du thème du CSCW<sup>2</sup>. La pluralité des facteurs tels que la gestion de l'espace, du temps, des compétences, qui sont des clés de la réussite de la collaboration, justifie les approches multidisciplinaires en la matière.

Mes premières activités de recherche au sein de l'équipe Conception Intégrée (laboratoire 3S) m'ont amené à contribuer aux projets régionaux COSMOCE et ASPIC. partir de l'analyse des solutions existantes à cette époque. Nous avons également proposé une méthodologie de choix d'outils à destination des PME souhaitant se lancer dans la collaboration synchrone à distance [C33]. Cela a notamment permis d'élaborer un premier modèle de relations entre les paramètres liés au choix d'outils collaboratifs [A12] tel que représenté ci-contre.



Cette compétence a été réinvestie dans le projet VRL-KCiP (2.5.5), dont l'objectif ambitieux de création d'un laboratoire virtuel européen rassemblant une communauté scientifique autour des enjeux de connaissances sur les systèmes de production impliquait nécessairement de mettre en place des outils de collaboration adaptés et pérennes. Nos travaux furent fortement orientés sur la sphère de communication et les systèmes de visio-conférences. Les difficultés rencontrées alors (multiplicité des protocoles, accès au réseau internet et bande passante variable selon les pays, dualité entre systèmes ouverts et propriétaires, diversité des usages...) illustrent bien la complexité d'un tel choix et renforcent le constat que le seul volet technique ne peut à lui seul justifier le choix *technologique*.

Cette réflexion sur les outils collaboratifs s'est prolongée grâce à un projet européen démarré en 2011. Ce nouveau projet nous a amené à intégrer les solutions de réalité virtuelle et de réalité augmentée dont la diffusion dans les secteurs économiques prenait de l'ampleur. Ces orientations étaient fortement corrélés au projet européen FP7 VISION Advanced Infrastructure for Research (VISIONAIR) (2.5.5) à travers lequel la commission européenne a souhaité développer des plateformes européennes de visualisation scientifique de classe mondiale. La visualisation scientifique recouvre des besoins nombreux et variés, de toutes disciplines, et la plateforme développée au laboratoire G-SCOP (Moyens EXperimentaux pour l'Ingénierie COllaborative. Salle

---

2. Computer Supported Collaborative Work

expérimentale de la plateforme Vision-R (**MEXICO**), intégrée depuis à Vision-R) propose des dispositifs techniques divers pour répondre au mieux aux besoins des utilisateurs : mur d'images, mini-cave, système holographique, casques de Réalité Virtuelle, table tactile multiutilisateurs, Réalité Augmentée Spatialisée. Ces dispositifs ne représentent qu'une partie des possibilités offertes dans le domaine puisque d'autres champs étaient également couverts dans le projet : Visualisation Ultra Haute Définition, environnements immersifs et Calculs Haute Performance pour générer ces représentations scientifiques. Au sein du workpackage, dédié aux environnements de collaboration augmentée, dont j'étais responsable, la plateforme portée par le laboratoire a développé son offre d'équipements autour des problématiques de collaboration et d'interactions. Cependant, choisir la solution la plus adaptée parmi toutes ces dispositifs vis à vis d'un besoin exprimé par une équipe de chercheur a souvent relevé de la gageur. Cela interrogeait nos processus de réponse à un besoin d'environnements de visualisation collaborative issus de disciplines scientifiques parfois éloignées du génie industriel. C'est pourquoi, dans le cadre de la thèse de Mme SADEGHI, des modèles conceptuels ont été proposés pour définir des environnements collaboratifs synchrones, en ayant en point de mire les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) et leur capacités (et limites) spécifiques. Ces modèles ont été déclinés selon 3 axes conceptuels :

- la nature du travail collaboratif, que l'on peut assimiler aux caractéristiques de la tâche à accomplir nécessitant une collaboration,
- la nature des environnements collaboratifs dans toutes les dimensions qui les caractérisent : technologies, fonctionnalités, performances. . .
- l'évaluation de ces environnements. Ce dernier modèle a pour objectif de poser les fondations pour une évaluation objective de l'adéquation des environnements aux activités collaboratives.

Le développement de ces modèles conceptuels, respectivement dénommés SyCoW (Synchronous Collaborative Work), SyCoE (Synchronous Collaborative Environment) et SyCoEE (Synchronous Collaborative Environment Evaluation) a été conduit en recherchant le plus haut niveau de généralité, garant d'une certaine pérennité des modèles et visant à en faciliter la transposition à une multitude de configurations. Ils ont été formulés en utilisant le formalisme UML. Cette étape a été suivie du développement des outils associés et d'une mise à l'épreuve par un cas d'étude des modèles et leurs outils associés.

Le modèle conceptuel de situation collaborative synchrone donne à voir la complexité d'une telle situation. La pluralité des processus de conception, de constitution des équipes, la nature des tâches sont autant de paramètres qui conditionnent l'activité. L'instanciation du modèle SyCoW est basée sur une analyse fine de la situation *as is*, dans le cas où l'on souhaite proposer un environnement pour une tâche existante. Si il n'existe pas de précédent de la situation de collaboration, le modèle aide le concepteur à explorer l'ensemble des facettes du problème afin de définir les exigences de la situation.

Intéressons nous à 2 items du modèle en particulier. Les items Artifact et Input recouvrent

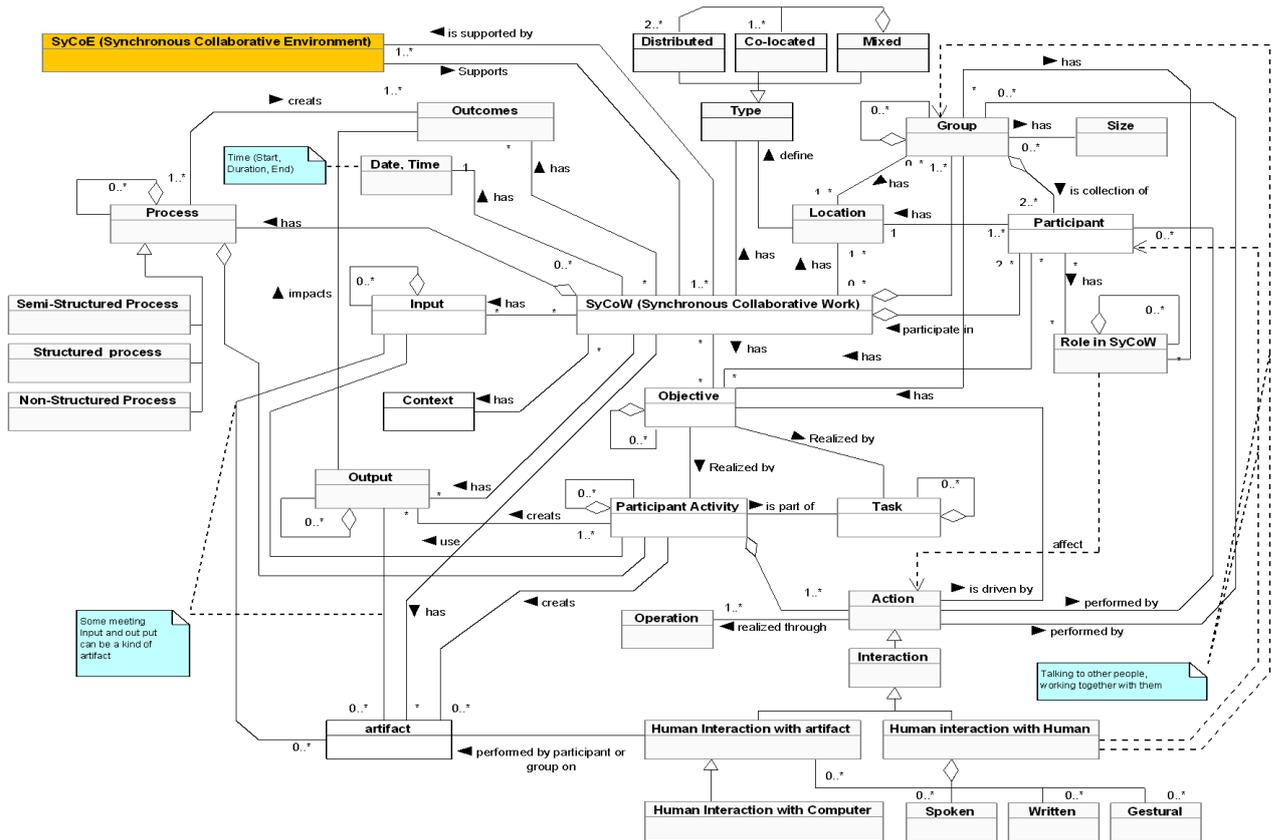


FIGURE 2.3. – Modèle global SyCoW

respectivement les représentations du produit (et les représentations liées au processus de conception) et les représentations spécifiant les données d'entrées de la situation collaborative. Tous ces éléments sont dignes d'intérêt pour la mise en œuvre d'un PLM<sup>3</sup> par exemple. L'étude s'est limitée aux artefacts physiques, concrets, qui disposent d'une représentation visuelle. Ce dernier point n'a rien de surprenant puisque ces éléments sont au cœur des échanges collaboratifs et leur rôle a notamment été conceptualisé par les notions d'objets frontières et d'objets intermédiaires. Nous reviendrons sur ces représentations externes dans la section 2.2. De nombreuses caractéristiques de ces artefacts influent sur les besoins de représentation, et par conséquent sur les moyens d'interagir avec eux. Par interaction, nous entendons la visualisation, mais également la manipulation, l'édition, la transformation... La dimension des objets représentés par ces artefacts, leur complexité, les domaines disciplinaires dont ils relèvent, leur nature, leur niveau de définition, sont autant de paramètres liés à l'activité et pesant sur le choix des solutions d'interactions.

Les interactions entre acteurs, médiatisées ou non, sont les objectifs centraux de la définition des environnements collaboratifs. Ces environnements peuvent combiner des solutions techniques dont les caractéristiques doivent permettre la bonne conduite des activités. Là encore, de multiples paramètres président aux choix techniques qui conduisent à la réalisation de l'en-

3. Product Lifecycle Management

vironnement collaboratifs. Le modèle SyCoE est construit autour de la notion d'équipements, composés d'une partie logicielle et d'une partie matérielle, faisant l'objet de configurations spécifiques issues d'une analyse du modèle SyCoW. Parmi ceux-ci, la nature des artefacts manipulés est décisive, autant que la nature et l'intensité des interactions attendues entre les participants. En conséquence, la multitude de facteurs et leur variété conduit à une combinatoire forte que l'usage de ces modèles conceptuels doit permettre de mieux gérer. Le modèle doit pouvoir, entre autre fonctionnalité, identifier les paramètres incompatibles entre équipements en recensant leurs exigences respectives : par exemple, des conditions lumineuses, un volume de manipulation, la nécessité de vis à vis entre acteurs, la confidentialité des données partagées, etc.

Toutefois, on ne peut considérer le choix de la technologie comme découlant automatiquement de la nature des activités. Les activités sont impactées par le choix des technologies qui peuvent limiter, modifier ou augmenter les interactions. Il existe une relation de réciprocité entre le modèle de travail collaboratif et le modèle d'environnement. Cette réciprocité engage à penser le choix des équipements comme solutions techniques porteuses d'un potentiel d'interaction, mais aussi à estimer a priori la forme des interactions résultant de la mise en place de ces solutions techniques. Cela se solde souvent par un processus itératif qui, comme dans tout processus de conception, implique une co-définition du problème et de la solution. Arrêtons nous un instant sur l'exemple fourni par le projet de développement de la plateforme collaborative electronic-mediated Engineering (**e-mediatE**) pour illustrer cette réciprocité.

## Delta Design Game

*En guise de brève description, le Delta Design est un jeu de rôle centré sur la conception d'un habitat dans un monde dont les règles physiques, économiques, esthétiques diffèrent des règles classiques "terrestres". Les joueurs se voient donc transportés dans un monde imaginaire, doté de dimensions et d'unités nouvelles, et chargés de réaliser le plan idéal d'une habitation pour des extra-terrestres exigeants. Des règles propres à chaque métier (Architecte, Maître d'œuvre, Ingénieur structure et Ingénieur thermique) permettent aux joueurs de développer une expertise qu'ils devront promouvoir dans l'œuvre commune de conception. L'ingéniosité du jeu réside dans la rédaction des règles qui, au delà d'un cahier des charges communs à l'ensemble des métiers, génère des contradictions techniques que la simple disposition de "briques" (des triangles de couleur sur un plateau quadrillé, cf. figure 2.4) fait émerger. Cela oblige donc les participants à négocier, partager des connaissances, se coordonner autant de caractéristiques propres aux situations de conception collaborative que nous souhaitons étudier.*

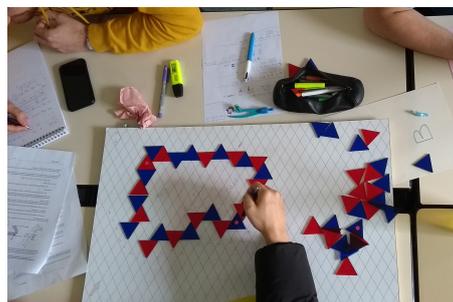


FIGURE 2.4. – Configuration « classique » du jeu Delta Design

Le projet e-mediatE a démarré en 2006 pour achever sa phase de développement en 2011. L'objectif de ce projet était de développer une plateforme collaborative à visée pédagogique et scientifique, basée sur le *serious game* DeltaDesign conçu par L. Bucciarelli (cf. p. 20 pour une brève description). Le scénario classique de mise en œuvre du jeu est basé sur une phase de découverte individuelle des règles propres à chaque métier, suivi d'une phase de mise en commun par métier (que l'on peut assimiler à l'acte fondateur d'une communauté de pratique) et de la partie proprement dite. A l'issue de cette partie, une phase de formalisation et de remédiation pédagogique, que nous ne détaillerons pas ici, est activée. L'introduction de la distance dans le jeu implique de penser une interface logicielle permettant aux acteurs de conserver l'ensemble des interactions observées en présentiel. Ce principe s'explique par deux raisons principales : ne pas casser la dynamique du jeu (*gameplay*) et être le plus fidèle possible à la situation initiale dont la tâche demeurerait inchangée. Ainsi, il a par exemple été décidé de ne pas automatiser les calculs qui représentent une part importante de l'activité chez certains acteurs et conditionnent les problèmes de coordination liés au décalage temporel entre les métiers. La distance implique de séparer les acteurs physiquement, ce qui impacte les échanges verbaux mais également les interactions physiques avec le matériel partagé, soit a minima le plateau et les triangles. Les observations du jeu de plateau nous ont indiqué que les acteurs utilisaient parfois une partie du plateau (ou de la table !) pour faire des « bouts d'essai » afin d'anticiper une demande de modifi-

cation du collectif ou plus simplement progresser dans leur compréhension du métier en étudiant des cas. Nous avons donc décidé d'intégrer un système de plateaux privés afin de respecter ce

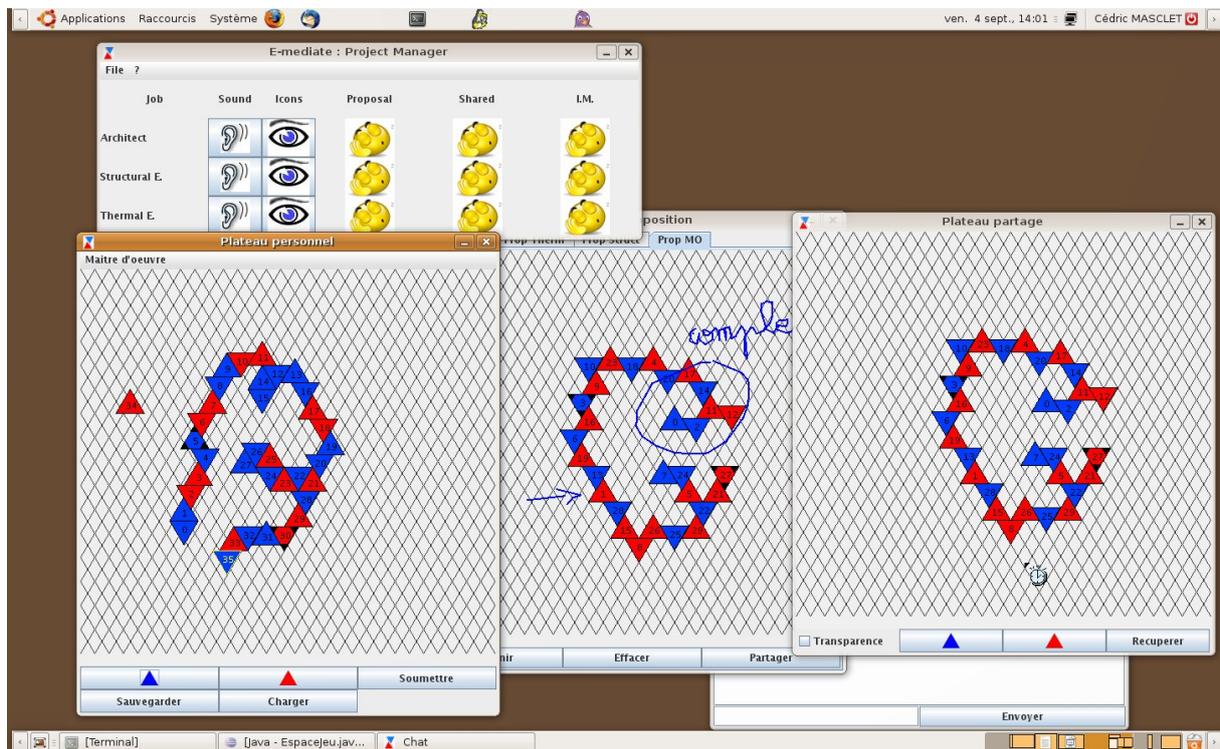


FIGURE 2.5. – Interface graphique de la plateforme collaborative e-mediateE.

besoin considéré comme essentiel dans le déroulement classique du jeu (cf. figure 2.5). Nous avons ainsi tenu compte des possibilités offertes par l'interface graphique (multifenêtrage, taille de l'écran. . .) pour changer le contexte visuel du jeu en respectant les besoins fonctionnels de l'utilisateur. Lors des premiers essais, les testeurs ont relevé un problème lié à une incapacité de vigilance (*awareness*). En effet, étant soustrait du regard des collaborateurs, aucun d'entre-eux n'avait la possibilité de « surveiller » l'activité des autres (chose qui se pratique communément en co-localisé). Nous avons donc introduit une fenêtre permettant d'indiquer toute modification intervenant sur l'un des plateaux ou dans la messagerie instantanée à partir d'émoji (fenêtre en haut à gauche sur la figure 2.5). Ces modifications techniques de l'environnement ont induit une modification du modèle d'activité. La plus évidente est la nécessité de former les acteurs à l'interface, alors que la version plateau ne requérait aucune formation préalable à la manipulation. Cela a également obligé les acteurs à formaliser leur stratégie de coordination (usage de la messagerie instantanée, partage des plateaux, etc.), ce qui n'apparaissait que rarement en situation co-localisée car la régulation, notamment par la gestuelle et le corporel, se faisait implicitement (sauf cas de conflit avéré). Enfin, l'un des enseignements forts de ce développement a été le constat d'une évolution des stratégies de conception. L'informatisation des plateaux, conjointement à l'apparition d'une fonctionnalité de sauvegarde, a permis aux acteurs de passer d'une stratégie d'amélioration continue (modification incrémentale d'une conception

initiale) à une stratégie d'élaboration de solutions concurrentes.

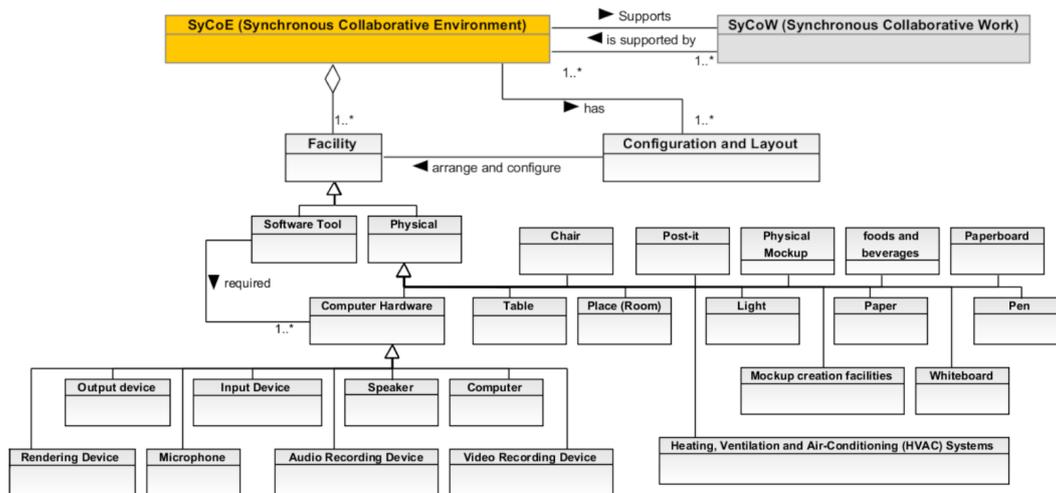


FIGURE 2.6. – Modèle conceptuel SyCoE .

Les environnements, en tant qu'outils de médiation, instrumentent l'activité des acteurs et sont généralement des outils d'experts permettant de créer et manipuler les représentations propres à chaque métier. Le développement de tels outils est très souvent l'aboutissement d'une réflexion menée autour de l'évolution d'une activité professionnelle ou la réponse à un nouveau besoin. Dans cette optique, nous avons été amenés à développer ou contribuer au développement de certains prototypes, essentiellement logiciels. Les motivations dépendent principalement de l'objectif de la recherche. Lorsqu'il s'agit de la mise en œuvre de concepts théoriques que nous souhaitons concrétiser par la proposition d'un prototype d'outil, cela conduit à des outils tels que MT-DT (cf. 2.10). Ces outils sont généralement élaborés à partir de notre compréhension générique d'une activité, enrichie d'une veille bibliographique sur le sujet. Ces outils intègrent alors des mécanismes procéduraux, ou une technologie particulière, afin d'évaluer la modification apportée à l'activité. Lorsque le développement est envisagé dans une perspective de modification des activités collaboratives existantes, la stratégie diffère.

Intéressons nous aux travaux menés avec M. LANZARONE ([A5]). Ces travaux ont été menés dans le cadre d'un projet de l'infrastructure **VISIONAIR** et avaient pour objectif d'évaluer le service rendu par une nouvelle technique de visualisation de données. La tâche ciblée était la replanification en urgence de tournée d'infirmières à domicile dans une région montagneuse du nord de l'Italie. Les tournées sont traditionnellement programmées à l'aide d'outils d'optimisation, à échéance hebdomadaire. Cependant, tout changement dans les paramètres du problème (essentiellement l'indisponibilité ou le retard du soignant ou du patient) survenant au cours de la semaine donne lieu à des modifications que les planificateurs doivent, collectivement, effectuer en « manuel » c'est à dire sans repasser par un traitement informatique. Les jeux de contraintes, nombreuses, sont alors gérés directement par les planificateurs qui s'appuient sur leur expérience du terrain (connaissance de la géographie, des conditions de circulation) et leur expertise profes-

sionnelle. Les données étaient jusqu'alors consignées dans une base et présentées sous forme de tableau. Notre proposition a porté sur l'élaboration de nouvelles métaphores de représentation d'une partie des informations indispensables à une prise de décision rapide. L'étude a également permis d'identifier la table interactive multiutilisateur DiamondTouch DT107 comme composant matériel à privilégier pour les mécanismes de collaboration entre planificateurs. Une illustration de ce nouvel environnement est donnée en figure 2.7.



FIGURE 2.7. – Environnement collaboratif de replanification des soins à domicile

La simple intégration d'une carte géographique a soulevé un grand nombre de questions. La présence d'une experte dans le projet a été éclairante sur les options retenues quant à la résolution de la carte (dictée par la technologie de projection de la table) et la lisibilité des informations à y consigner. Ainsi, notre volonté initiale de maximiser les items visibles (routes, rivières, lac, zones boisées...) afin de rendre plus fidèlement la topographie de la région s'est révélée contre-productive. Il a été choisi de simplifier la représentation afin de privilégier la visualisation des données du problème de planification à celles du contexte. Cela s'explique notamment par le fait que les planificatrices connaissent parfaitement la région pour l'avoir sillonnée en tant que soignantes et n'ont pas besoin de la représentation des reliefs pour estimer les difficultés d'accès ou de changement de vallées. Évidemment, nous n'aurions pas abouti aux mêmes conclusions si le centre de planification avait été localisé dans un pays étranger ! Les modalités d'interaction tactile ont également contraint le choix des métaphores visuelles. La taille des icônes, par exemple, représentant les patients et les soignants, devait être un compromis entre la lisibilité des icônes, le masquage des informations de la carte, et la nécessité de pouvoir les sélectionner pour les déplacer. Le choix, parmi des solutions d'IHM existantes, n'est pas aisé car il relève souvent d'un contexte d'action plutôt que d'un contexte d'activité. L'étape de test

et de validation semble donc incontournable à moins de disposer d’une bibliothèque de cas (cf. §2.1.1).

Le choix d’un composant pour un environnement numérique de collaboration doit tenir compte de ses deux dimensions potentielles : la dimension physique (hardware) et la dimension logicielle (software) (cf. figure 2.6). Le matériel porte intrinsèquement des caractéristiques qui définissent sa capacité d’interaction. La dimension, la résolution d’affichage, le nombre d’utilisateurs simultanés, la sensibilité, le type d’interfaces, voire son poids ou son rayonnement électromagnétique sont des paramètres qui vont définir le champ potentiel de son exploitation et ses limitations. Le versant logiciel est également prépondérant. Le(s) plateforme(s) et système(s) d’exploitation compatible(s), les logiciels embarqués, les API disponibles et les langages associés conditionnent les développements futures sur ces matériels. La DiamondTouch a été exploitée dans de multiples projets : thèse de M. KOBENAN (langage script Tcl-Tk), thèse de Mme. SADEGHI et projet **VISIONAIR** de M. LANZARONE (Java), ainsi que des projets étudiants. La versatilité de ces équipements est souvent liée à la partie logicielle. Toutefois, au delà de ces caractéristiques purement techniques, peuvent entrer en ligne de compte d’autres facteurs d’ordre économique, stratégique, psycho-ergonomique. . . Le choix de la DiamondTouch, acquise par un financement régional (DISCO2), a aussi résulté d’un partenariat avec le laboratoire d’informatique de GRENOBLE (LIG) qui possédait une bonne expérience sur cet équipement et pour lequel nous souhaitons une compatibilité matérielle. D’autres critères pourraient également s’ajouter à cette liste : pérennité des standards, « solidité » de l’entreprise, richesse de la communauté des utilisateurs. . . Ces notions non techniques, de durabilité, de réseaux, n’apparaissent pas dans le modèle SyCoE et seraient une extension pertinente pour tout utilisateur soucieux d’assurer l’utilisabilité de sa solution technique sur une période donnée.



FIGURE 2.8. – Table DiamondTouch (salle expérimentale MEXICO)

L’option retenue de la DiamondTouch pouvait sembler évidente compte tenu de l’adéquation entre nos perspectives de recherche d’alors (collaboration co-localisée multimétier) et ses caractéristiques. Dans le cas de la thèse de Mme SADEGHI, la DT107 a été exploitée car elle offrait :

- une surface collaborative horizontale, facilitant les échanges directes entre collaborateurs en face à face,
- une résolution suffisante pour afficher des visualisation 2D et 3D d’artefact numérique ainsi

- que du texte de façon lisible,
- des interactions tangibles avec ces objets,
- une discrimination des acteurs nécessaire à l'individualisation des interactions,
- une reconnaissance multi-touch afin d'autoriser des manipulations complexes.

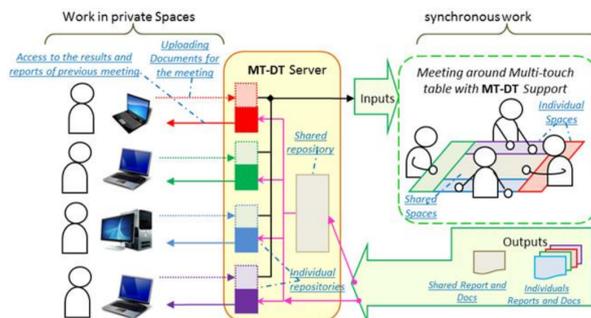


FIGURE 2.9. – Flux de données du MT-DT

Le développement de la couche logicielle (cf. figure 2.9) implémente la stratégie d'organisation des documents en matérialisant des espaces partagés et individuels. La reconnaissance de gestes multi-touch permet de multiplier les interactions par le seul contact digital avec la table : copie des artefacts présentés, changement de taille des objets 2D/3D, création de liens entre les artefacts et annotation simultanée (partagée ou individuelles) sur les artefacts. Le logiciel permet enfin de documenter de façon semi-automatique la réunion de revue de conception pour les utilisateurs individuels et pour le groupe.

Comme nous venons de le voir, l'activité et son environnement sont fortement couplés. L'adéquation de l'un à l'autre ne peut se mesurer qu'à travers une évaluation fine de la performance du système ainsi composé (acteurs-environnement). Il convient donc de ne pas se contenter d'élaborer l'environnement de collaboration, mais également d'en définir les modalités d'évaluation. Le modèle d'évaluation (SyCoEE) joue ce rôle à deux titres. Il permet d'identifier les critères d'évaluation à prendre en compte lors de la conception de l'environnement, anticipant ainsi les conséquences des choix techniques (à la manière d'un cycle en V). Il offre également une structuration des indicateurs de la mise en œuvre d'un tel environnement dans une logique de capitalisation des cas d'usage. La mesure de la performance de ces environnements est discutée dans la section 2.1.1 suivante.

### 2.1.1. Évaluer la collaboration. Sous quel angle ?

La plupart des travaux de recherche que nous menons ont pour objectif de comprendre et modéliser les mécanismes de la collaboration en conception et de proposer des outils et méthodes pour en accompagner les mutations. L'évaluation de la collaboration occupe donc une place importante dans nos méthodologies de recherche. Nous sommes souvent amenés à nous interroger sur les performances des groupes et/ou des individus dans des situations que nous observons ou que nous prescrivons. Les phases expérimentales nous permettent, par exemple, de valider des

hypothèses relatives à l'introduction de nouveaux outils. La performance peut être mesurée par un grand nombre de critères qui couvrent aussi bien le produit de la collaboration que le processus, avec l'hypothèse fréquente que leurs succès soient corrélés.

Dans le cadre de la thèse de Mme SADEGHI, la logique de modélisation a été poussée jusqu'à l'élaboration d'un modèle conceptuel d'évaluation d'environnement collaborative : le modèle SyCoEE. Un travail conséquent a été réalisé pour construire un scénario d'expérimentation, concevoir l'ensemble des supports nécessaires à la tâche envisagée (briefs d'introduction, de description des rôles, modèles numériques des produits...), développer le logiciel MT-DT<sup>4</sup> associé au matériel, recruter les participants, élaborer des dispositifs de recueil de données. Le modèle a ainsi été implémenté avec l'ensemble de ces éléments.

Conformément à la raison d'être du modèle SyCoEE, l'objectif d'évaluation du dispositif MT-DT (table interactive multiutilisateurs couplée à une interface de visualisation de documents d'ingénierie) consistait à vérifier l'adéquation entre les choix techniques (matériels et logiciels) et les activités de revue de projet. L'expérimentation a restreint ces objectifs à l'utilisabilité du système et à quelques points plus spécifiques dont :

- la pertinence de la proposition d'espaces privés pour chaque utilisateur (en sus de l'espace partagé),
- les effets liés aux paramètres dimensionnels de la table au regard de la taille du groupe,
- le bénéfice de la simultanéité des interactions dans l'espace partagé.

Il n'est pas nécessaire de balayer l'ensemble des aspects de la collaboration. Certains peuvent avoir déjà fait l'objet de travaux scientifiques ayant produits des résultats que l'on peut réinvestir dans le cas étudié. Il se peut également que l'entité conceptrice/utilisatrice de l'environnement (entreprise, laboratoire...) ait déjà expérimenté certains traits de la situation, et donc bénéficie d'un retour d'expérience. C'est d'ailleurs tout l'intérêt de coupler ces modèles avec des bases de connaissances, comme l'a proposé Mme SADEGHI, afin de capitaliser sur l'expérience de mise en œuvre de ces environnements, ou plus simplement abonder cette connaissance de la littérature existante.

La démarche d'évaluation de l'environnement collaboratif MT-DT peut être considérée ici comme une assistance au diagnostic en phase de prototypage d'une solution collaborative. Afin d'évaluer ces items, nous avons privilégié une approche double basée sur une capture des traces d'interactions des utilisateurs, ainsi qu'un questionnaire post-expérimental. Nous reviendrons

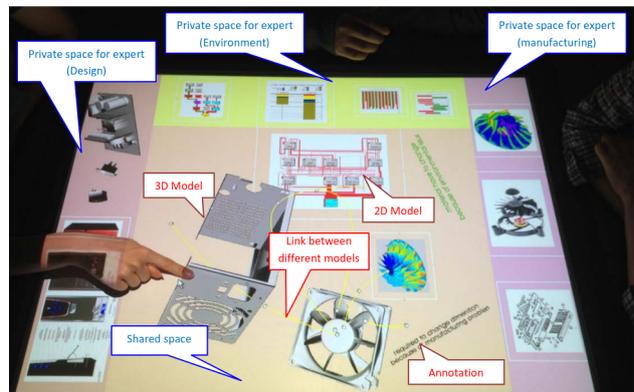


FIGURE 2.10. – Interface graphique du prototype d'environnement MT-DT (selon [C19]).

4. Multitouch Table for Design Teams

sur l'intérêt de cette approche mixte dans la section 2.4. Je ne rentrerai pas dans le détail des performances atteintes par les groupes expérimentaux sur le MT-DT (cf. la thèse de Mme SADEGHI pour le bilan de cette expérimentation). Le cas d'étude n'était qu'un prétexte de mise à l'épreuve des modèles et de la méthode. On notera toutefois que les hypothèses issues de la revue de littérature ont été validées. Les objectifs de la réunion ont été atteints plus rapidement dans le cas d'interactions simultanées. Les zones privatives ont montré leur intérêt dans la conservation de la maîtrise des documents et obligé les collaborateurs à expliciter leurs demandes d'informations, augmentant ainsi la conscience de groupe. Ce que nous jugeons important de mettre en évidence, c'est la réussite de la démarche s'appuyant sur ces modèles conceptuels. L'environnement développé a répondu aux besoins identifiés dans le modèle de situation ; Le cas test, instanciant la plupart des principales classes du modèle d'évaluation de l'environnement, a produit des résultats qui ont pu être analysés et commentés. On retiendra donc de cette étude que la proposition de modèles, bien qu'incomplète, permet de rationaliser le travail d'élaboration d'un environnement numérique de collaboration. Par la matérialisation des liens qu'il offre entre ses différents composants, il oblige le concepteur à constamment s'interroger sur les inter-relations existantes entre les paramètres de l'activité et les paramètres de l'environnement. Il permet par ailleurs de questionner le caractère souvent ordinal que nous attribuons à ces relations, comme par exemple de considérer que l'activité dicte le choix des moyens, alors que ces moyens peuvent conditionner l'activité et, par conséquent, sensiblement dénaturer la tâche.

La sélection d'indicateurs de performances pouvant rendre compte objectivement de gains ou pertes avérés dans l'accomplissement d'une tâche est cruciale. Dans le projet de M. LANZARONE (cf. p.22), la rapidité de résolution du problème entre dans cette classe d'indicateurs car elle peut être quantifiée aisément. En revanche, la satisfaction des patients et la qualité de service, indicateurs primordiaux pour ce projet, sont plus délicats à définir de par leur nature complexe et subjective. Ces derniers ont néanmoins été proposés sur la base de données chiffrables ou logiques afin d'établir des scores. La démarche d'expérimentation a été basée sur une séquence d'étapes permettant d'abord de vérifier la fonctionnalité des mécanismes de visualisation et d'interaction mis en œuvre (*utilisabilité* du dispositif au regard des scénarios d'expérimentation élaborés). La seconde étape a consisté à évaluer la performance des acteurs compétents (les planificateurs) avec ledit dispositif consécutivement à une période d'apprentissage et de prise en main (*utilité* du dispositif). Les participants ont été également soumis à des questionnaires (ici sous forme d'échelles de Likert) afin de collecter leurs avis sur un certain nombre de points relatifs à la tâche et aux interactions avec l'outil. Comme discuté plus haut, d'éventuelles incohérences entre le déclaratif et l'observé doivent inciter le chercheur à revoir son dispositif expérimental. Il est en effet indispensable, comme dans tout processus de conception, de tenir compte des retours utilisateurs, fussent-ils subjectifs, afin de mieux cerner la dimension ergonomique de l'activité et, partant, les conditions de la performance systémique. Les résultats obtenus ont permis d'affiner certains paramètres de la métaphore visuelle comme par exemple : limiter la variété des icônes et des couleurs employées, simplifier les éléments de la carte afin de ne pas « masquer » les icônes

en surchargeant le visuel ou encore identifier distinctement le patient ou l'infirmière dont la fiche est en cours de visualisation. Il est intéressant de noter qu'un certain nombre de ces éléments ne sont pas intuitifs et ne peuvent réellement émerger qu'en interrogeant les participants ayant *expérimenté* la situation. Lorsque le scénario imposait la collaboration de deux planificateurs pour résoudre les problèmes de tournée, nous avons relevé que la grande majorité des retours étaient liés à l'impératif de temps. Ainsi, les participants ont promu une information claire, lisible, simplifiée et immédiate afin de faciliter la coordination et le transfert d'information conduisant à des prises de décisions collectives plus rapide.

Le choix, ou le développement, d'un environnement collaboratif et sa bonne ergonomie ne peuvent garantir à eux seul la réussite d'un projet. La performance des groupes de travail relève aussi de facteurs humains. La perspective psycho-cognitive a souvent été convoquée pour comprendre et tenter de modéliser la construction d'une conscience de groupe qui ne pouvait être raisonnablement envisagée comme une simple somme de consciences individuelles. Parmi les modèles de cognition de groupe proposés dans la littérature, nous nous sommes intéressés au concept de Système de Mémoire Transactive (*TMS*) développé par Wegner<sup>5</sup>. Ce modèle met l'accent sur l'effet de la transaction dans les processus d'encodage, de stockage et de récupération des mémoires individuelles. Afin de mesurer cette mémoire transactive dans des collaborations inter-métiers à haut niveau d'expertise, diverses méthodes ont été proposées, essentiellement basées sur des questionnaires. Nous avons souhaité identifier des liens potentiels entre le TMS, les activités de conception collaboratives (*CDA*), et les représentations manipulées par les acteurs (*ressources* mobilisées dans la collaboration). Le choix de ce triptyque s'expliquait par notre volonté d'identifier les activités qui participent à la construction d'un TMS, et de comprendre le rôle des artefacts dans la construction de ce TMS. La composante CDA a volontairement été réduite à trois grands champs d'activités collaboratives : le partage d'objectif (Goal Sharing, ou GS), l'intégration d'expertise (EI) et la prise de décision (Decision Making, ou DM). Les concepts d'objets intermédiaires et objets frontières, activement développés dans la communauté scientifique grenobloise, ont alimenté la réflexion conduisant à l'intégration de ce que nous avons désigné par *ressources* (RSC). Nous avons donc formulé l'hypothèse que la performance d'un groupe était favorisée par une bonne TMS, un niveau d'activités collaboratives élevé et une mobilisation significative des *ressources*. L'accès par le chercheur, ou le praticien (responsable de projet par exemple) est très variable. Les activités collaboratives peuvent être observées au sein d'un groupe, au prix d'une instrumentation de la situation qui peut s'avérer lourde et intrusive. Malgré cela, le fait d'observer la survenue de ces activités n'est en aucun cas une garantie de la performance du groupe. Les ressources mobilisées, lorsqu'elle sont tangibles, sont un matériau plus facilement accessible. A contrario, le niveau de TMS est difficilement perceptible par l'observation. La formation du TMS suit une dynamique s'étalant sur une échelle de temps mal définie et les transactions ne donnent pas lieu systématiquement à des manifestations observables. Tou-

---

5. D. M. WEGNER. "Transactive Memory : A Contemporary Analysis of the Group Mind". In : *Theories of Group Behavior*. B. Mullen and G. R. Goethals, 1987, p. 185-208.

tefois, le niveau de TMS peut être qualifié à partir d'échelles de mesure, développées par LEWIS<sup>6</sup> et adaptées en français par MICHINOV<sup>7</sup>, en s'appuyant sur des questionnaires a posteriori. Nous avons donc souhaité mettre en évidence de supposées corrélations entre ces trois concepts et voir si leurs dynamiques étaient associées. Dans une perspective d'instrumenter le résultat de nos recherches pour pouvoir qualifier la collaboration au cours du projet (à des fins de surveillance et de remédiation par exemple), voire d'en prescrire quelques règles de bonne pratique, il nous semblait indispensable de pouvoir nous appuyer sur des observables (ressources et activités) à partir desquelles il serait possible de déduire la genèse d'un TMS et donc, transitivement, en déduire une performance de la collaboration. Réciproquement, nous souhaitions savoir si la prescription d'activités et de typologie de ressources pouvaient favoriser la construction d'un TMS, et donc renforcer la performance du groupe.

Nous avons élaboré une méthodologie de recherche structurée en 2 grandes phases. La première phase avait pour but de mener une étude exploratoire de la collaboration. Nous avons opté pour une collecte d'informations déclaratives auprès de participants à des projets collaboratifs. Le choix de procéder par questionnaires a été dicté par le mode de mesure du niveau de TMS discuté précédemment. La seconde phase, une fois les relations établies statistiquement entre les éléments du triptyque TMS/CDA/RSC, devait approfondir notre compréhension des mécanismes mis en jeu dans la collaboration qui pouvaient expliquer ces relations. Cela a été conduit en observant plus finement les pratiques collaboratives en contexte contrôlé.

**La première phase** a consisté en une enquête effectuée auprès d'étudiants (concepteurs juniors) des universités de GRENOBLE et de CLEMSON (South Carolina, USA) dans le cadre de projets de conception aux niveaux respectifs de master et de bachelor. Sur la base de groupes allant de 4 à 6 étudiants, les projets ont porté sur des demandes de développements de produits issus d'entreprises ou de départements d'enseignement. Les projets ont tous été structurés autour de réunions de revue de projet régulières. La collecte de données basée sur des questionnaires a permis une recherche de corrélations entre TMS, CDA et RSC. Ce questionnaire, reprenait les éléments du questionnaire d'évaluation du TMS et y associait de nouvelles questions autour des CDA et des ressources pour former un corpus de plus de 40 questions. Malgré cette apparente longueur, les taux de réponse ont été relativement élevés (taux synthétique de 56%) et les analyses de fiabilité ont validé les données obtenues. Ces enquêtes ont été conduites à deux périodes différentes afin de mesurer une éventuelle évolution du TMS au sein des 31 équipes sollicitées et ainsi entrevoir des éléments de réponse aux questions concernant la dynamique de construction du TMS. L'exploitation des résultats de cette première phase nous a fourni de précieux éléments sur les corrélations entre les 3 composantes de notre étude. Les participants ont, selon des échelles de Likert, fait part de leur ressenti personnel sur la collaboration lors

---

6. K. LEWIS. "Measuring Transactive Memory Systems in the Field : Scale Development and Validation." In : *Journal of Applied Psychology* 88.4 (2003), p. 587-604. ISSN : 1939-1854, 0021-9010. DOI : [10.1037/0021-9010.88.4.587](https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.4.587).

7. E. MICHINOV. "Validation de l'échelle de mémoire transactive en langue française et adaptation au contexte académique". In : *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology* 57.1 (mars 2007), p. 59-68. ISSN : 11629088. DOI : [10.1016/j.erap.2006.03.001](https://doi.org/10.1016/j.erap.2006.03.001).

des projets. En aucun cas ces éléments ne nous permettent de comprendre les interactions entre les 3 composantes étudiées. Cette expérimentation nous a donc permis, dans un contexte mieux adapté à l'observation, de mettre en évidence plus finement les mécanismes à l'œuvre dans une tâche collaborative et d'en comprendre l'influence sur la construction du TMS.

La première analyse relative à l'évolution des 3 facteurs (TMS, CDA, RSC) au cours du temps ne nous a pas permis de conclure. Nous avons constaté une très légère augmentation, coordonnée, des trois facteurs, mais dont la variation de quelques pourcents est peu significative. Les hypothèses que nous avons formulées sur la cinétique de construction du collectif n'ont pas été vérifiées. Nous pouvons remettre en cause le choix de la périodicité des enquêtes (intermédiaire et finale) qui n'a manifestement pas été cohérent avec l'échelle de temps des projets (3-4 mois). En l'occurrence, le choix d'un public étudiant travaillant à des projets de conception dans un cadre universitaire n'est vraisemblablement pas le plus propice à l'observation d'une construction de TMS. Plusieurs raisons peuvent expliquer cela. Les étudiants se connaissent peu ou prou et ont l'habitude de travailler ensemble. La constitution d'un nouveau groupe ne change pas fondamentalement les relations qu'ils peuvent entretenir entre pairs en situation de travail. Particulièrement, les notions de spécialisation et de crédibilité sont déjà partiellement déterminés par le statut d'étudiant d'une même filière. C'est essentiellement en relation avec la tâche que des ajustements pourraient être observés, mais ils arrivent probablement très vite dans le démarrage du projet et la planification des enquêtes n'a pas été adéquate. Il est donc hasardeux d'avancer que la TMS se construit bien plus vite que ce que nous pensions. Une enquête préalable au début des projets aurait théoriquement permis de connaître le niveau de TMS de chacun des groupes, mais les questions n'auraient eu aucun sens puisqu'elles sont formulées selon le principe de retour d'expérience vécue. Un autre facteur peut également avoir influé sur le résultat.

L'évaluation déclarative, par une échelle de Likert, au sein du groupe d'étudiants suit une tendance de fond à faire émerger un consensus mou, sauf cas extrêmes de comportements singuliers. La relation ambiguë de l'étudiant à l'évaluation de son travail et de celui de ses pairs n'y est certainement pas étrangère. C'est une des limites souvent reprochées aux études portant sur un public d'étudiants, mais il n'est pas exclu que ce comportement puisse également se retrouver dans d'autres communautés de travail, également habituées au consensus. Ces enquêtes ont cependant montré qu'il n'y avait pas de dégradation de la TMS au cours du temps, alors même que certaines de ces composantes peuvent s'éroder selon la dynamique sociale du groupe, notamment la crédibilité. Pour la suite de l'exposé, nous ne retenons que les résultats de l'enquête de fin de projet.

De l'étude des corrélations entre items du triptyque, nous avons retenu certains points mar-

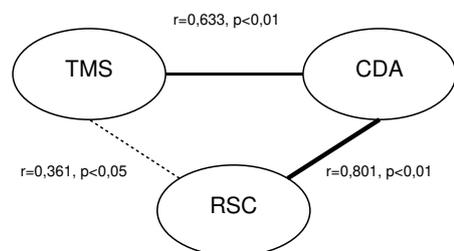


FIGURE 2.11. – Corrélations entre composantes du triptyque

quants (cf. figure 2.11). Les corrélations de Pearson<sup>8</sup> mettent en évidence un lien positif entre TMS et CDA et entre CDA et RSC. Cela signifie que nous observons statistiquement une évolution des réponses concernant ces items allant dans le même sens : une augmentation de la TMS est corrélée à une augmentation des CDA. Ceci est de bon augure compte tenu des hypothèses faites au départ de l'étude. En revanche, les réponses des étudiants n'ont pas fait émerger de liens entre RSC et TMS, résultat surprenant et en décalage avec le rôle des artefacts supports aux transactions inter-personnelles relevées dans la littérature. Une analyse plus détaillée des composantes des 3 facteurs permet de distinguer ce qui fonde ces corrélations (cf. tableau 2.1). Le premier concerne les CDA et le TMS. On constate que la CDA est principalement portée

	<i>TMS</i>	<i>Coord</i>	<i>Credib</i>	<i>Spec</i>	<i>CDA</i>	<i>GS</i>	<i>EI</i>	<i>DM</i>
<i>TMS</i>								
<i>Coord</i>	,913**							
<i>Credib</i>	,900**	,714**						
<i>Spec</i>	,842**	,630**	,705**					
<i>CDA</i>	,633**	,629**	,447**	,600**				
<i>GS</i>	,385*	,319	,353	,370*	,807**			
<i>EI</i>	,370*	,417*	,142	,416*	,852**	,557**		
<i>DM</i>	,788**	,795**	,583**	,693**	,889**	,547**	,653**	
<i>RSC</i>	,361*	,421*	,238	,261	,801**	,779**	,635**	,646**

\*\* $p < 0,01$  \* $p < 0,05$

TABLE 2.1. – Détail des corrélations

par la *coordination* et la *spécialisation* coté TMS. La TMS est quant à elle fortement corrélée à la *prise de décision* (*DM*). Dans le détail, il s'avère que les corrélations les plus fortes sont liées au DM en relation avec la coordination et la spécialisation. Les réponses font donc apparaître un lien entre les phases de choix réalisés au cours du projet et la spécialisation que chacun reconnaît à ses partenaires. De même la coordination et la prise de décision affichent une relation de dépendance forte. Le faible niveau de corrélation avec le GS et l'EI interroge sur la perception que les étudiants peuvent avoir de ces activités. Loin d'être aussi emblématiques que les prises de décisions, le partage d'objectifs est vraisemblablement négligé par les étudiants car le cadre même des projets s'impose à chacun comme un objet unique et peu discutable. On peut également considérer que ces situations se prêtent peu aux jeux des intérêts personnels, surtout quand l'évaluation est commune au groupe. Les activités de partage d'objectifs peuvent donc passer au second plan des priorités. De même les étudiants, de par leur statut d'apprenant, sont réticents à se reconnaître une véritable expertise et, par conséquent, ne déclare pas un intérêt particulier pour l'intégration d'expertise. La faible corrélation entre la *spécialisation* et l'*intégration d'expertise* est assez éloquent.

En ce qui concerne les *ressources* (RSC), les corrélations sont très faibles avec les composantes du TMS. Les questions étaient pourtant explicites sur la perception d'une relation entre ces

8. variant de -1 à 1, dont la valeur absolue exprime le degré de corrélation entre les variables

éléments (ex : Our team used ressources to coordinate) et une définition du terme *ressources* était fournie pour chacune des questions. En revanche, on note une bonne corrélation, positive, des RSC avec l'ensemble des composantes de la CDA. Ces disparités dans la perception du rôle des ressources par les étudiants peuvent s'expliquer de la façon suivante : les activités sont facilement identifiables par les étudiants et la définition des ressources fournie dans le questionnaire renvoie à des éléments tangibles. La mise en relation par les répondants des activités avec les ressources paraît donc relativement évidente. En revanche, la mise en relation des ressources avec des concepts tels que la crédibilité ou la spécialisation des individus semble plus difficile. Le rôle de ces artefacts, sans être remis en cause, n'apparaît pas comme évident pour les étudiants. Ces résultats ont motivé la seconde phase, expérimentale, afin d'aller observer des indices de nature à conforter ou non ces résultats et dépasser le strict cadre déclaratif de ces enquêtes.

**La seconde phase** a ainsi conduit à la mise en place d'une expérimentation contrôlée. Elle visait à jauger de l'importance des RSC mobilisées et de quantifier les activités (CDA) pour les comparer aux niveaux de TMS mesurés auprès des acteurs. En guise de tâche collaborative, nous avons opté pour la mise en œuvre du jeu sérieux Delta Design présenté p. 20 comme situation de conception collaborative multimétier. Nous justifions le choix de ce *serious game* par la nécessité de proposer une situation de collaboration multimétier compatible avec les contingences d'expérimentation scientifique. L'une des principale difficulté dans l'organisation d'une expérimentation concerne le recrutement des participants. Le vivier des personnes correspondant au profil envisagé (concepteurs professionnels) est souvent faible, leur disponibilité limitée et leurs motivations pour ce type d'action de recherche aléatoires. La mobilisation de participants, pour des temps longs (typiquement plus d'une heure), rajoute à la difficulté d'enrôlement. Le Delta Design présente l'avantage de ne nécessiter qu'un temps d'apprentissage relativement court (comparativement à d'autres jeux de rôle) afin que les acteurs puissent efficacement faire preuve d'un certain niveau d'expertise. Cependant, à l'inverse des pratiques pédagogiques souvent mises en œuvre (lecture préalable des textes par les apprenants), nous avons conçu une phase d'apprentissage intégrée à l'expérimentation afin de ne mobiliser les participants que pour une unique session. Le second avantage du Delta Design est de permettre le recrutement de participants sur la base d'une formation scientifique, et non nécessairement une formation d'ingénieur, pour les mettre en situation de conception collaborative.

Cette étude a porté sur deux groupes expérimentaux. La configuration expérimentale impliquait la table tactile multiutilisateurs présentée p. 24. L'avantage de cette technologie, comparée à la version traditionnelle du jeu de plateau, était de faciliter la collecte des événements informatiques liés aux manipulations du plateau de jeu. Ces événements informatiques s'ajoutaient à l'observation directe des gestes effectués hors interface informatique.

Ce recensement de gestes venait en complément du corpus élaboré autour des captures vidéo et des enregistrements audio dont il a systématiquement été fait une transcription. Dans ce domaine, nous avons construit un véritable savoir faire que nous faisons évoluer au gré des améliorations techniques des outils d'observation et de capture (cf. section 2.4). L'observation

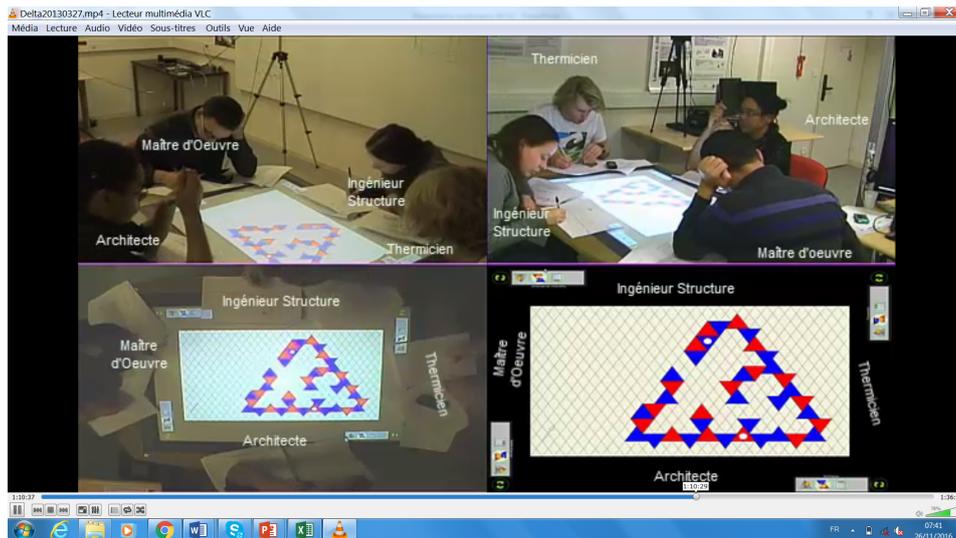


FIGURE 2.12. – Composition multivue des captures vidéo d'expérimentations

des objets et des activités a donné lieu à la construction de 2 grilles d'analyses distinctes : celle des gestes était essentiellement centrée sur les ressources dont nous n'avons retenu que les règles, les éléments du plateau de jeu et une catégorie *autre*. L'autre grille a détaillé les éléments de discours constitutifs des trois catégories de CDA. Les gestes et les activités ont été codés distinctement après une vérification de la fiabilité des méthodes de codage par un index d'*intercoder reliability*. Enfin, le questionnaire de la première phase a été proposé aux participants afin d'obtenir leur évaluation du TMS.

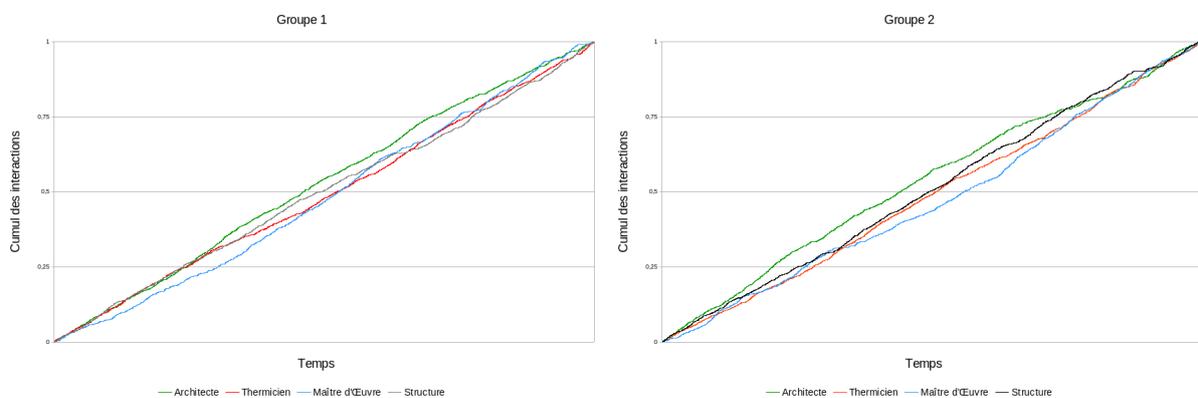


FIGURE 2.13. – Profil des sessions

Une analyse préalable a porté sur le profil des sessions observées (cf. figure 2.13). Les courbes représentent le cumul de l'ensemble des interactions (CDA et objets) pour chacun des métiers. Les deux groupes affichent des profils similaires, dont les courbes sont relativement linéaires, traduisant une activité continue des groupes. Les quelques inflexions et écarts entre courbes métiers dévoilent de légères fluctuations entre les métiers, principalement explicables par les

différences entre les métiers : certains, plus calculatoires, imposent des temps de réflexion et de calculs qui ne donnent pas lieu à des activités observables. Ce décalage se constate également dans le positionnement des courbes. L'architecte est plus actif en début de partie, car il a un rôle prépondérant dans la définition de l'allure globale du bâtiment. Les autres métiers n'interviennent que plus tardivement car ils ont besoin d'accéder à une architecture stabilisée pour pouvoir développer leur expertise calculatoire d'évaluation et proposer ensuite des améliorations souvent incrémentales. Ces données sont conformes aux observations régulièrement faites sur ce jeu.

Les scores de TMS issus des questionnaires sont très homogènes entre les deux groupes et on note néanmoins un meilleur score global pour le groupe 2. Par ailleurs, une évaluation critériée des solutions produites par les groupes a révélé un résultat plus proche des exigences pour le groupe 2, en corrélation donc avec le score de la TMS. La manipulation des ressources, toujours selon le questionnaire, est également homogène mais présente un taux moyen inférieur aux résultats de l'enquête de phase 1. Néanmoins, le volume des artefacts manipulés et leur diversité étaient sans commune mesure avec les situations de projets ciblées dans la première phase. Aussi, nous nous sommes abstenus de faire une quelconque comparaison entre les valeurs absolues de ces indicateurs. L'analyse des interactions verbales montre une répartition équitable entre les rôles et entre les groupes (cf. figure 2.14).

Aucune monopolisation de la parole n'a été observée, ce que nous interprétons par une absence de leadership fort au sein des groupes.

Les objets ont été régulièrement mobilisés durant la partie : les règles et éléments du plateau dès le départ, tandis que d'autres objets faisaient leur apparition un peu plus tardivement. Ainsi nous avons observé des téléphones portables, blocs-notes et stylo, et même l'usage du tableau blanc de la salle. Ces objets ont joué un rôle important dans la création et le stockage d'un corpus de connaissances partagées et les transactions dont elles ont fait l'objet entre acteurs. La recherche de relations entre le TMS et les ressources est parfois délicate car de mêmes objets peuvent jouer plusieurs rôles. Les règles, par exemple, ont été utilisées pour parfaire la compréhension du métier, c'est-à-dire développer sa *spécialisation*. Elles ont également été utilisées pour faire connaître des valeurs limites propres à chaque métier en montrant aux autres ce que stipulaient ces règles, ce que l'on peut associer à du *partage d'objectifs*. Plus intéressant, ces documents sont parfois venus en renfort de leur propriétaire pour affirmer la véracité de sa démarche et, partant, renforcer sa *crédibilité* auprès des autres. En effet, les règles informent sur

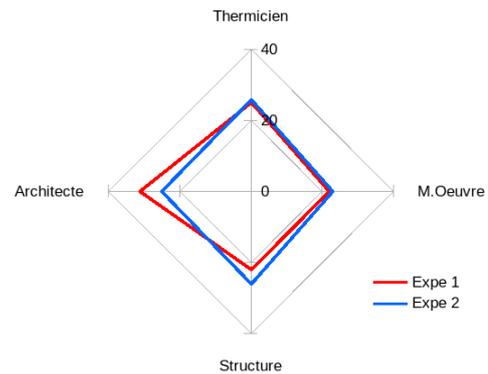


FIGURE 2.14. – Répartition des interactions verbales

les valeurs des contraintes propres à chaque métier, mais également sur les moyens d'évaluer les solutions ou d'agencer avantageusement les triangles. De cette crédibilité découle la confiance qui permet à chacun d'installer les transactions au sein du collectif.

L'étude n'a pas permis d'identifier précisément les recoupements entre les RSC et le TMS dont les corrélations étaient faibles dans la première phase. Toutefois, elle a mis en lumière des corrélations entre les activités et les objets utilisés au cours de ces activités. Ce que nous retenons globalement de cette étude, ce sont les corrélations fortes, déclarées et observées, entre les activités et leurs ressources support, ainsi que celles entre ces activités et la mise en place d'un système de mémoire transactive. Nous constatons cependant que les acteurs ont peu conscience du rôle des ressources dans la construction d'une TMS. En tout cas, les réponses aux questionnaires (d'étudiants!) ne manifestent pas cette conscience et nous pouvons nous interroger sur la méthodologie adoptée. Il nous paraît primordial de maintenir nos efforts de recherche sur la compréhension des mécanismes d'implication des objets dans la construction de TMS et plus globalement de conscience de groupe.

Au delà de la notion d'objets évoquée jusqu'à présent, nous nous sommes particulièrement intéressés au concept de représentations. La section suivante aborde les études menées autour de la notion de représentations externes produites et exploitées dans les différents contextes de collaboration multimétier.

## **2.2. Les représentations externes comme support à la collaboration multimétier**

Les concepteurs manipulent de nombreuses représentations pour des finalités diverses : modélisation des produits, des exigences, coordination au sein des groupes de travail, modélisation des processus... Nos premiers travaux sur la collaboration inter-métier ont débutés en 2005 dans le cadre de la thèse de M. MUSEAU. Ils visaient à étudier l'intégration métier dans le cas de la conception de micro-produits tels que des Micro Electro Mechanical Systems (MEMS). Bien que ces produits intègrent des fonctions mécaniques, les matériaux employés (industrie du silicium), les techniques de fabrications, les phénomènes d'échelle, pour ne citer que certains facteurs, influent sur l'activité du concepteur. Les couplages multiphysiques relatifs à la définition géométrique de systèmes à l'échelle micro ou nanométrique nécessitent un partage d'information entre les acteurs de la conception qui peuvent être nombreux. Ils donnent lieu à la naissance d'expertise couplée dont la paternité ne peut être associée à une seule discipline ou métier. L'expertise couplée peut prendre la forme de règles, de recommandations, de contraintes [A9], selon leur nature et leur degré d'impériosité. Suivant la fonction miniaturisée, des mécaniciens (solide, fluide...), acousticiens, spécialistes des Fréquences Radio (RF), sont impliqués dans la définition de l'architecture du  $\mu$ -produit en sus des métiers incontournables comme l'électronicien ou l'expert packaging. Une proposition d'adaptation d'un modèle-produit issu de recherches sur la conception de macro-produit a été conduite. Ce modèle s'appuie sur une logique multivue,

afin que chaque métier puisse y manipuler ses propres représentations métiers, et y intègre une classe *couplage* propre à la conception de systèmes micro et nanométriques. Les couplages y sont souvent représentés par une formulation mathématique car cette formalisation autorise une sémantique commune. Ces paramètres peuvent avoir, ou non, une déclinaison dans le modèle géométrique. Le modèle produit n'a pas vocation à modéliser un flux de travaux<sup>9</sup>, mais plutôt de représenter le produit en cours de conception et de supporter l'agrégation des connaissances et données le définissant.

Cette notion de modèle produit a également été exploitée dans le cadre des travaux de thèse de M. LIAO grâce à une collaboration multidisciplinaire entre les laboratoires G-SCOP, SPECTRO<sup>10</sup> et CAD Lab<sup>11</sup>. Nous nous sommes intéressés à l'assistance informatique au concepteur dans le cadre de la préparation et la simulation de la fabrication de micro-composants par polymérisation à deux photons (TPP). Les objets fabriqués, grands de quelques dizaines de nanomètres, investissent des domaines aussi divers que la micro-biologie, les matériaux nano-structurés, la nano-optique pour n'en citer que quelques-uns. Deux éléments centraux ont été développés durant cette thèse : la préparation de modèles de pièces non-manifold et un processus de découpage bi-dimensionnel du modèle associé à une stratégie de parcours du faisceau

pour optimiser la fabrication de l'objet. Contrairement au travail de M. MUSEAU, ce modèle produit a été développé pour intégrer *initialement* les connaissances liées au phénomène de TPP et ainsi diminuer des défauts liés à la surexposition au faisceau laser, prendre en compte des phénomènes de réflexion... La fabrication TPP est cependant réservée à des activités de recherche et développement, impliquant des acteurs ayant un haut niveau de compétence, pas nécessairement dans le domaine de la physique optique ou la conception de produit. L'activité étant essentiellement consacrée à la production de prototype, les usagers ne bénéficient pas d'un environnement de production complet permettant, par exemple, la manipulation nanométrique à des fins d'assemblage dans des systèmes plus complexes. Le procédé doit donc permettre la réalisation de produits finis en une seule étape, ce qui constitue une spécificité de ce type de production[A10].

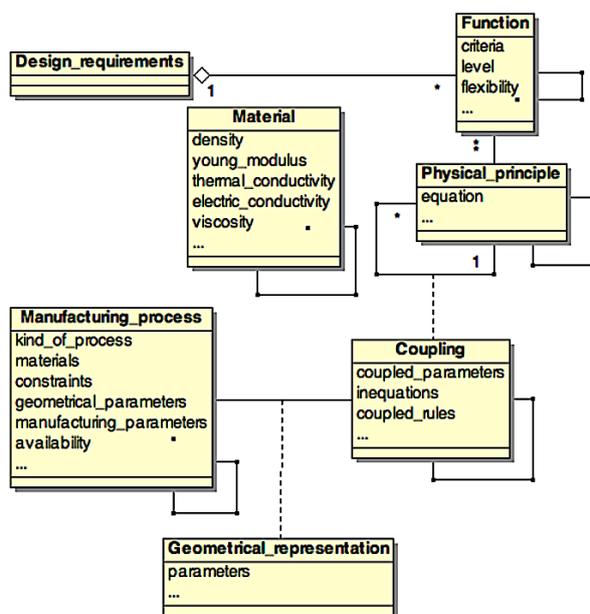


FIGURE 2.15. – Modèle produit de MEMS selon [A9]

9. Plus communément nommé flux opérationnel ou workflow.

10. Laboratoire de Spectrométrie Physique (SPECTRO, UJF, CNRS)

11. Computer-Aided Design Laboratory (CAD Lab, National Taiwan University)

Les résultats produits par ce travail ont permis le développement d'une start-up<sup>12</sup> valorisant ce savoir faire en matière de fabrication TPP. Toutefois, nous abordons une nouvelle étape de ce projet consécutive à un constat : les utilisateurs sont encore confrontés à une démarche itérative, parfois longue et coûteuse, pour aboutir à des résultats satisfaisants. Comme tout procédé de fabrication en pleine expansion commerciale, la pratique régulière et variée génère de la compréhension des phénomènes tels que le rétrécissement du monomère, les déformations causées par les effets de bord liés au faisceau, etc. Apparaissent ainsi de nouvelles connaissances qu'il convient d'intégrer pour faciliter la mise en œuvre du processus de conception-réalisation de ces micro-produits. Nous poursuivons donc notre activité avec la start-up pour développer une base de connaissance. Celle-ci sera opérationnalisée comme une boîte à outil à implémenter dans le logiciel de conception et de fabrication existant, augmentant ainsi de facto le modèle produit actuel. L'objectif principal sera d'améliorer la prédictibilité du résultat obtenu en assistant le concepteur dans ses choix de paramètres lors de la préparation de la fabrication (projet ANR déposé).

Comme on le voit, la représentation des connaissances associées au produit et à son mode de fabrication est primordial dans le succès d'une conception. Cela suppose une intelligibilité, tant pour leurs concepteurs que pour leurs utilisateurs, qui impose une réflexion sur leur structuration et leur sémiotique. Toutefois, il existe certaines situations dans lesquelles l'incompréhension, ou plutôt le non partage d'une compréhension commune, peut être un élément moteur de la réflexion. Dans le cas de séances de créativité, nous avons mis en évidence les effets de représentations polysémiques dans des phases d'idéation collective. Lors de l'étude des outils socio-techniques de représentation utilisés en créativité (mind-map, croquis, post-it®...), la dynamique d'évolution des représentations a fait apparaître une tendance à préciser progressivement le sens des idées poussées par les participants. Ce que nous avons caractérisé par la proposition de fonction cognitive d'ambiguïté [D6] est inhérent au processus de conception. Elle permet à chacun d'explorer le domaine des possibles en empruntant des chemins à peine esquissés par des représentations équivoques. Si cette fonction peut être considérée comme un moteur de la créativité dans les phases de divergence, elle doit être progressivement modulée par la suite pour permettre la convergence vers des solutions explicites et partagées. Le choix des représentations, tout autant que des outils pour les réaliser, est alors crucial et relève de l'expertise de l'animateur.

Cette polysémie est également au cœur d'une classification que nous avons proposé en 2013 avec Mme DE VRIES [A7]. Nous avons successivement interrogé la perspective cognitive des représentations et la perspective sémiotique. La perspective cognitive conduit à une vision dyadique mettant en relation la représentation interne (ce que pense l'individu) et sa représentation externe (le signifiant et le signifié). Dans une volonté de faciliter la dimension communicative d'une collaboration, il est indispensable que les signifiants soient interprétés de la même façon par les collaborateurs, c'est-à-dire qu'ils forment la même idée au contact de ces représenta-

---

12. <https://www.microlight3d.com/>

tions externes. C'est pourquoi il est souvent fait appel à des conventions afin de partager un code commun. Le choix de la forme du signifiant revêt moins d'importance que le partage de la convention, ou de l'usage, dans la communauté. La perspective sémiotique élabore une vision triadique. L'objet de la communication, le *référent*, est une entité du monde auquel on se réfère. Le *representamen* est la forme matérielle de la représentation externe, tangible, qui peut prendre de multiples formes : texte, couleur, dessin, icône. . . Enfin, l'*interprétant* est l'image mentale que se forme l'individu lors de l'interaction avec le *representamen*. Cette distinction est importante car elle introduit la notion d'interprétation propre à chaque individu, dépendante d'un contexte, d'une époque. . .

Scope	Mode of attribution of meaning to inscriptions	
	Polysemic, multiple meanings	Monosemic, unique meaning
<b>Generic</b>	(GP) One-to-many associations between graphical and conceptual constituents that can be made by actors with the same broad cultural background, i.e., text, freehand drawing, photograph	(GM) Sets of one-to-one associations between graphical and conceptual constituents that are established amongst actors with the same broad cultural background, i.e., line graph, histogram, pie-chart, flowchart
<b>Domain-specific</b>	(DP) One-to-many associations between graphical and conceptual constituents that can be made by actors from a particular discipline, e.g., architectural sketch, floor plan, organizational chart	(DM) Sets of one-to-one associations between graphical and conceptual constituents that are established amongst actors from a particular discipline, e.g., molecular structure or electrical circuit diagrams
<b>Context-specific</b>	(CP) One-to-many associations between graphical and conceptual constituents that can be made by actors in a particular (task) situation, i.e., freehand diagram or schema	(CM) Sets of one-to-one associations between graphical and conceptual constituents that are established amongst actors in a particular situation, i.e., “on the fly” visualizations, (virtual) objects in a game

TABLE 2.2. – Typologie de représentations selon [A7]

De ces réflexions, nous en avons énoncé une typologie de représentations basée sur deux dimensions : le cadre d'usage de la représentation (Générique, Spécifique à un domaine ou spécifique à un contexte) et la dimension mono/polysémique du signifiant (cf. tableau 2.2). Cette typologie permet d'identifier les caractéristiques de ces représentations en fonction des situations dans lesquelles elles sont mobilisées. Comme nous l'avons vu précédemment, une session de créativité, dans sa phase divergente, aura tout intérêt à mobiliser des représentations polysémiques qui, pour un public hétérogène, relèveront avantageusement du registre générique. En revanche, les phases de développement du produit, à haute valeur scientifique et technique, tendront à promouvoir des représentations monosémiques, souvent spécifiques au domaine voire au contexte, tant l'auditoire cible est réputé restreint et spécialisé. Les outils de la collaboration doivent donc permettre l'usage de multiples types de représentations selon la nature de l'activité collaborative couverte. Des questions subsistent cependant comme la longévité des représentations construites au sein d'un collectif éphémère. Ce point nécessite d'aborder l'aspect dynamique de l'évolution de ces représentations, mais la temporalité de tels phénomènes n'est pas forcément congruente avec celle de la recherche.

Je ne voudrais pas conclure cette section sans évoquer le rôle des représentations dans la formation des ingénieurs en tant qu'outils sémiotiques. Un cas particulier a fait l'objet d'une expérimentation portant sur le schéma cinématique, représentatif d'une représentation externe spécifique à un domaine (l'ingénierie mécanique en l'occurrence). Ce formalisme fait l'objet d'une norme internationale qui préconise l'usage d'éléments graphiques bidimensionnels (plans) en noir et blanc. Nous sommes donc en présence de représentations portées fortement par des conventions que matérialise la norme. Par conséquent, elles doivent faire l'objet d'un partage qui a essentiellement lieu lors de la formation initiale des ingénieurs, et ce malgré l'apparente intelligibilité des éléments géométriques retenus comme symboles graphiques d'une liaison mécanique. Depuis la publication de cette norme, des variations ont été constatées dans la pratique, essentiellement motivées par des choix didactiques. Nous avons fait la raisonnable hypothèse que

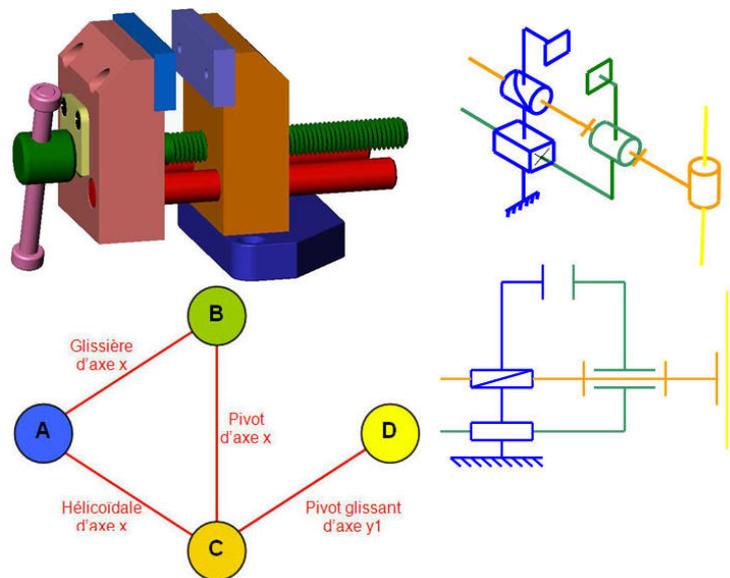


FIGURE 2.16. – Exemple de représentations associées à un schéma cinématique

ces motivations didactiques étaient le fruit d'une réflexion au sein du corps enseignant visant à faciliter la compréhension et l'opérationnalisation de la représentation. Ces modifications ont essentiellement consisté à introduire de la couleur dans les schémas, afin d'identifier les classes de solides cinématiquement équivalents, ainsi que la perspective (non qualifiée) pour représenter les mécanismes non plans. Il est intéressant de noter que ces évolutions vont à l'encontre du principe de la convention. En effet, les couleurs peuvent être choisies aléatoirement et ne correspondent que rarement à celles du mécanisme réel. Quant à la représentation en perspective, rien n'impose le type de perspective (isométrique, cavalière...) ni même son orientation. Ces évolutions visent uniquement à faciliter le passage d'une représentation –le schéma cinématique– à une autre représentation : le graphe des classes d'équivalence cinématique, par exemple, et la structure spatiale du mécanisme comme l'illustre la figure 2.16.

Les résultats de l'étude [A1] ont montré que l'intégration de la couleur et de la perspective

améliorait la compréhension des mécanismes, comme relevé par les études précédentes. Cependant, nous avons constaté que les participants à l'expérimentation bénéficiaient d'autant mieux de l'apport de couleur qu'ils n'avaient pas été exposés à ce type de représentation depuis longtemps. De plus, la congruence entre la dimensionnalité du mécanisme (2D/3D) et le choix de la projection (plane ou perspective) n'a pas été démontrée significativement. L'un des enseignements de cette étude est que la mémoire des conventions peut s'effacer progressivement et que la variabilité des représentations graphiques conventionnées peut compenser en partie le manque de pratique. Cette fois encore, nous constatons qu'il est important d'autoriser une certaine liberté dans le formalisme des représentations externes afin de faciliter la communication en ingénierie collaborative.

Les quelques travaux exposés précédemment ont essentiellement portés sur le rôle et les caractéristiques des représentations externes dans des situations de collaboration entre ingénieurs. La section suivante aborde un aspect plus contemporain de la collaboration, tant par les outils socio-techniques qu'elle intègre, que par la prise en compte d'acteur non professionnels de la conception.

### **2.3. Vers l'ouverture des communautés à la co-conception**

La section précédente a été l'occasion de démontrer une partie des enjeux des représentations externes dans un processus collaboratif multimétier. Ces représentations restent du domaine des spécialités et, pour reprendre la typologie des représentations, dépassent rarement le cadre du domaine ou de la spécialité. Ceci devient problématique lorsqu'on souhaite intégrer au processus de conception des acteurs non rompus à l'interprétation de ces représentations, ou tout simplement ne possédant pas la culture scientifique et technique facilitant le dialogue avec les ingénieurs. La question de l'association de ces acteurs au processus de co-conception se pose alors en terme d'objets intermédiaires.

Parmi les représentations externes, les prototypes physiques tiennent une place importante dans ce dialogue entre experts et non experts. Nous nous sommes intéressés à l'exploitation de ces prototypes dans le cadre d'une étude menée au sein du groupe SEB ([D7]). Celui-ci a initié le développement d'un Fab Lab d'entreprise pour venir en appui à son processus global d'innovation. Le SEBLab possède son propre processus basé sur la méthode du Design Thinking et peut être mobilisé à plusieurs étapes du processus global. Plusieurs caractéristiques différencient les Fab Lab relevant de la charte du MIT des Fab Lab d'entreprise. Les Fab Lab tels que le SEBLab ne sont pas ouverts aux publics ; il servent exclusivement l'intérêt de l'entreprise qui les héberge. Leur mode de fonctionnement est également différent. Contrairement au modèle dominant du DIY propre aux makers, ces entités tentent d'instaurer une logique de DIWO (Do It With Others). Le mélange des acteurs mobilisés lors de ce processus d'innovation s'appuie sur la participation de personnes extérieures au projet (mais interne à l'entreprise) que l'on souhaite mettre à contribution pour générer de nouveaux concepts et évaluer ces concepts une

fois matérialisés. Il est également sous-tendu une logique de rencontre et de partage entre des acteurs de services ou entités différentes. Le gain espéré de cette démarche est d'accélérer l'innovation en faisant l'hypothèse que des équipes multiexpertises aboutiront plus rapidement à des innovations, incrémentales ou de rupture selon l'étape du processus d'innovation visé, grâce à la capacité de matérialisation fournie par le Fab Lab. Cette matérialisation est donc vue comme une variété de prototypage physique. L'étude a montré que l'on retrouvait toutes les caractéristiques de l'objet intermédiaire dans ces matérialisations et a posé la question du devenir de ces objets une fois sortis de la séquence FabLab, soit à s'interroger sur leur éventuel statut d'objet frontière. Les prises de décisions résultant du processus SEBLab ont été plus rapides et plus riches. Le prototypage rapide a permis de tester un plus grand nombre de concepts et à modifier la nature des prises de décisions qui ne se faisaient plus sur l'interprétation de fiches concepts, mais sur la base d'interactions tangibles avec un artefact.

Les interactions avec les artefacts tangibles sont de plus en plus recherchées. Malgré l'accélération du développement des moyens de prototypage rapides, la production d'artefacts reste longue et parfois coûteuse. Des solutions ont vu le jour dans le domaine de la réalité augmentée afin de jouer sur les avantages des objets mixtes. La Réalité Augmentée Spatialisée ou Spatial Augmented Reality (**SAR**) est une technique qui présentait suffisamment d'avantages pour être au cœur du projet H2020 **SPARK**.

Ce projet visait à étudier l'intérêt d'une telle technologie dans un contexte de co-conception impliquant des designers et des clients. Les premières mises en usage de la Réalité Virtuelle et la Réalité Augmentée sont déjà anciennes mais ces techniques peinent encore à trouver toute leur place dans les environnements professionnels. De nombreuses expérimentations sont en cours, notamment en bureaux d'études, sur le plan applicatif et sur le plan de la recherche.

## Système de Réalité Augmentée Spatialisée

*Pour introduire rapidement la technologie RAS, nous la décrirons comme un dispositif vidéographique permettant de projeter sur un objet physique des contenus numériques : textes, graphiques, textures, trompe-l'œil... Cela se traduit par un système composé d'un ou plusieurs vidéo-projecteur, jumelé à des caméras infrarouges (tracking), disposés autour d'un espace restreint dans lequel peut évoluer un objet (l'artefact) qu'une constellation de réflecteurs permet de tracer en temps réel. Les utilisateurs disposent ainsi d'un objet tangible dont les attributs visuels (sauf la forme) peuvent être modifiés en temps réel par une interface informatique dédiée (en l'occurrence une tablette). La conjonction d'une forme physique tangible et d'une information numérique projetée lui confère la dimension d'objet mixte. La manipulation de cet artefact permet d'en explorer les différents angles et permet également à plusieurs utilisateurs d'avoir leur point de vue propre sur l'objet selon la configuration de l'espace de travail. Comparé à d'autres systèmes de réalité augmentée, la RAS dispense de l'usage de lunettes ou casques de RV, faisant le pari d'une interaction plus naturelle avec l'objet, c'est à dire sans équipement supplémentaire pouvant être considéré comme invasif ou restrictif de l'interaction.*

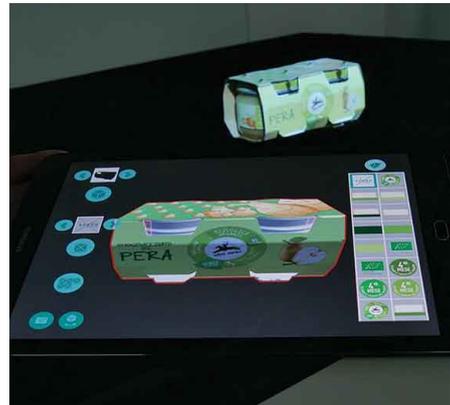


FIGURE 2.17. – Visualisation d'un objet mixte dans le SAR avec son interface graphique.

La situation de co-conception concernée par ce projet est une phase bien précise du développement de produit conduit par les bureaux de design partenaires. Elle implique des designers professionnels et des *clients* dans une phase de définition des propriétés essentiellement visuelles d'un produit ou d'un packaging : *color and finishes*. Cela signifie que le produit a déjà sa forme définitive (ce qui en facilite la matérialisation sous forme de prototype physique) et que les éléments visuels sont à discuter entre les parties : couleurs, logos, textures, informations contractuelles... mais aussi intégration d'un bouton, d'un dispositif lumineux ou d'un écran de contrôle par exemple. L'interaction avec le client porte autant sur des tâches de validation de propositions issues des designers que de collecte d'idées auprès des clients (co-créativité).

La notion de client couvre un large spectre : usager final, acheteur, fabricant du produit... Cette variété ajoute à la complexité d'intégration de ces points de vue dans des phases de co-créativité telles que celles ciblées dans le projet. Même si les éléments discutés sont cantonnés aux éléments visuels, la multiplicité des alternatives, combinaisons et variantes engendre un processus hautement itératif. Au nombre des questions que peut susciter l'intrusion de cette nouvelle technologie dans une séance de co-conception, nous identifions un certain nombre d'interroga-

tions relatives aux interactions et à l'effet de la médiation par le SAR. Ainsi, nous nous sommes interrogés sur l'évolution du taux d'interactions entre designer et client. La co-conception étant une activité multimodale associant le geste à la parole et aux activités cognitives, nous avons également souhaité évaluer l'influence de l'objet mixte sur la part de gestuelle dans les interactions.

Dans le cadre de la thèse de doctorat de Mme Poulin, nous avons adopté une approche basée sur une analyse multimodale de l'activité cognitive[C3]. Les interactions ont été codées sur la base d'une interaction verbale audible, éventuellement associée à un geste. Ces gestes ont été catégorisés afin de distinguer la nature des artefacts utilisés lors des interactions. En effet, deux types de sessions ont été observées.

- Les sessions dites standard (Std) correspondent aux situations traditionnelles de co-conception que les designers ont l'habitude de conduire. Elles peuvent impliquer des représentations graphiques (croquis, photos, textes...), des représentations physiques (maquettes, composants du produit...), des représentations numériques (modèle 3D, animation ou vidéo sur PC...) que nous avons qualifiées de *tangibles* et de *digital*. Ces artefacts représentent le produit, son contexte d'usage, ou bien des ambiances et concepts dans lesquels s'inscrit l'usage du produit.
- Les sessions SAR correspondent à la nouvelle configuration dans laquelle l'objet mixte est central. Toutefois, malgré des conditions d'éclairage peu favorables à l'usage de représentations traditionnelles, ces dernières ont pu être mobilisées. Nous avons donc distingué l'objet mixte des représentations tangibles et digitales.

A ces catégories de gestes déictiques ou manipulateurs, donc associés à des artefacts, nous avons également ajouté les catégories usuelles à savoir les gestes iconiques, métaphoriques et rythmiques. Bien sûr, les interactions verbales peuvent ne pas s'accompagner de geste, ce qui conduit à ne coder *aucun* geste pour cette interaction. Enfin, l'analyse du discours a permis de déterminer l'activité cognitive à laquelle se rattachait l'interaction verbale. Ces activités ont été sélectionnées sur la base d'une étude bibliographique et ont conduit à une grille comprenant des items tels que la génération d'idée, l'évaluation, la simulation ou encore la compréhension. Ce choix a été fait en cohérence avec les objectifs des sessions de co-conception. Dans le discours nous avons également distingué la nature des arguments invoqués. Ce dernier point est important car il caractérise ce qui est en cours de discussion. On recense dans la catégorie arguments des éléments tels que les caractéristiques du produit, ses fonctions, son mode opératoire, ses composants, etc. Autant d'éléments qui doivent nous permettre de quantifier ce sur quoi portent les interactions lorsque l'objet mixte est présent ou non dans la session, et plus généralement si nous observons des corrélations entre certains types d'artefacts et certains types d'arguments. Pour simplifier ce découpage, nous pourrions dire que l'activité cognitive nous informe sur le *pourquoi* de cette interaction verbale tandis que l'argument nous informe sur le *quoi*.

Une première comparaison entre le codage d'interactions observées en situations professionnelles réelles et les sessions de laboratoire a montré une forte similitude des profils d'activités

cognitives (cf. figure 2.18). Ceci indique que les activités des sessions menées par les designers professionnels en contexte réel et en laboratoire ne diffèrent que très peu, rassurant ainsi sur l'authenticité des sessions expérimentales.

Sans être exhaustif sur les résultats (très riches) obtenus dans cette étude, je souhaite partager ici quelques éléments marquants faisant l'objet d'une publication en cours. Tout d'abord, l'étude quantitative des interactions a révélé que la part des interventions clients étaient plus importante dans la situation SAR tout en préservant une répartition des activités cognitives équivalentes entre les 2 types de session (Std et SAR). Ce changement d'équilibre dans les interactions semble confirmé par une plus forte proportion d'interaction des clients avec l'objet mixte comparativement à leurs interactions avec les artefacts tangibles en configuration Std.

Les conclusions que nous pouvons tirer de ces résultats sont multiples. Tout d'abord, l'introduction d'une nouvelle technologie de médiation ne semble pas modifier l'équilibre global des activités cognitives. Sans aller jusqu'à contredire certains travaux antérieurs énonçant une modification des activités de conception par l'introduction de nouveaux outils ou modes de travail, nous pouvons au moins affirmer que le SAR est suffisamment proche des modes de représentations usuels pour ne pas bouleverser l'activité du groupe. On peut également avancer que les acteurs font preuve de résilience face à la modification de leur contexte de travail. Notons toutefois que la situation SAR voit une augmentation significative des idées générées dans la séance (à l'inverse des activités d'Évaluation mieux représentées dans la situation standard). La capacité du système à matérialiser rapidement les propositions émergentes peut expliquer cet accroissement des interactions de génération d'idées, notamment par un effet de rebond de l'idéation grâce aux fonctions cognitives de communication et d'objectivation<sup>13</sup> de la représentation renouvelée par l'objet mixte. La moindre intensité des activités d'Évaluation peut également se justifier par l'accélération des cycles de proposition/validation : la matérialisation permet de visualiser quasi instantanément les idées proposées et peut donc, dans une certaine mesure, dispenser de fournir oralement les informations objectivées. On notera au passage qu'une hypothèse échafaudée initialement concernant une baisse des gestes non centrés sur les artefacts dans le cas d'usage du SAR n'a pas été validée par les observations. Quel que soit la nature des artefacts proposés, les acteurs conservent dans les mêmes proportions les gestes couplés à leurs interactions verbales. On retrouve ainsi l'importance de la communication corporelle souvent citée dans la littérature et

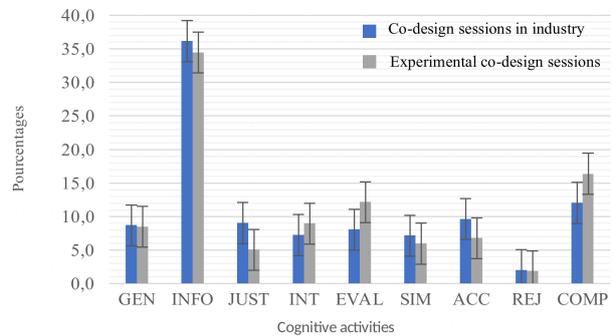


FIGURE 2.18. – Comparaison des profils d'activité entre sessions expérimentales et observations en situation réelle

13. telles que décrites par DUVAL in « Sémiosis et pensée humaine », Bern : Peter LANG, 1995

ce constat démontre également que les artefacts, bien qu’utiles aux interactions, ne peuvent en supporter l’intégralité. On peut donc se questionner sur le rôle précis de ces artefacts selon leur nature et poursuivre nos investigations sur ce que ces représentations permettent réellement de médier.

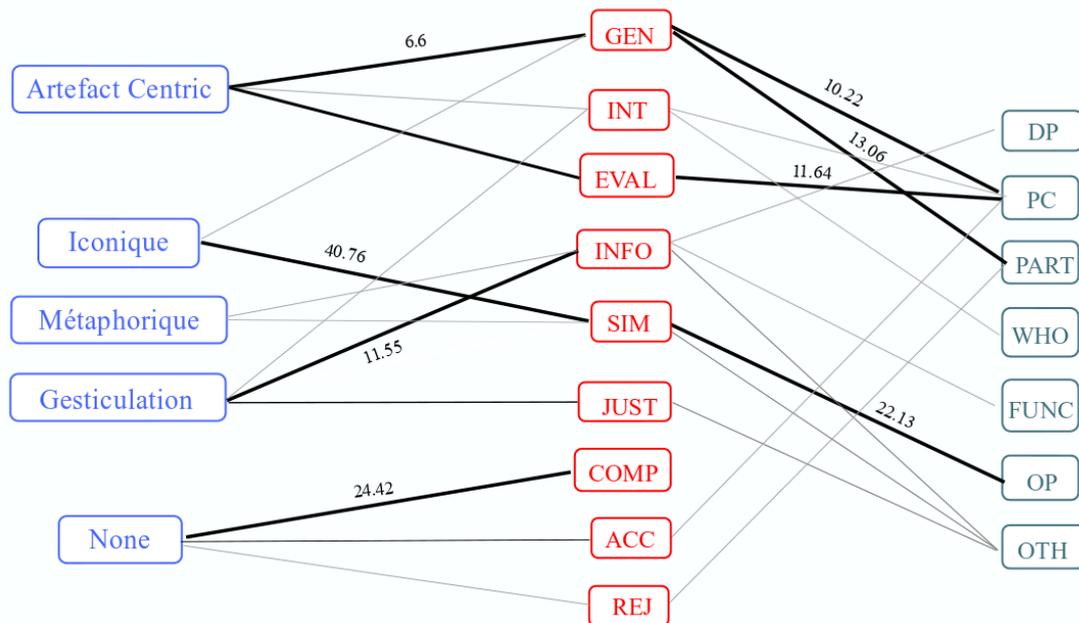


FIGURE 2.19. – Corrélations gestes/activité cognitives/arguments

Une analyse croisée des corrélations entre catégories a conduit à l’illustration (représentée figure 2.19) de liens significatifs entre catégories d’analyse des interactions. Les gestes centrés artefact ont été regroupés afin d’avoir une lecture globale de ces relations, sans distinguer la nature de l’artefact. On constate que certaines relations (densité du trait et valeurs numériques dépendantes du  $\chi^2$  de Pearson) sont fortes. Par exemple, l’activité de Simulation fait très souvent appel aux gestes iconiques, cette activité étant elle-même essentiellement liée aux arguments d’Opération (fonctionnement du produit). Alors que l’objet mixte, voire une maquette physique, autoriserait virtuellement tout type de manipulations, donc a fortiori celles visant à simuler l’usage du produit, on constate que les acteurs préfèrent user de gestes iconiques. En revanche, les artefacts sont bien mobilisés pour les activités de Génération d’Idées et d’Évaluation des solutions, confirmant l’importance du visuel et du tangible dans ces activités. Ces dernières, sans réelles surprises, concernent majoritairement les caractéristiques du produit (PC) et ses composants (PART), catégories regroupant les attributs ciblés par la phase spécifique du processus, à savoir *color and finishes*.

La réflexion que nous tirons de ces travaux est la suivante. L’intégration d’acteurs non professionnels de la conception oblige à repenser les processus et les représentations externes. Le prototypage, qu’il soit physique, virtuel ou mixte, permet d’approcher le monde de l’usager afin d’établir le dialogue le plus constructif possible entre les tenants de l’ingénierie, représentants

du monde industriel ayant vocation à matérialiser la réponse à un besoin, et les tenants du monde réel, les *clients*, qui détiennent la représentation (interne !) du besoin et sont les porteurs du monde du problème vu par le prisme de l'usage. La place du non professionnel dans ces processus évolue. Initialement cantonné à un rôle d'évaluateur dans les phases aval ou de sujet d'étude dans les phases amont, il pourrait également jouer un rôle dans les phases plus techniques de la conception. Cependant, ces compétences et ses capacités d'interaction avec le monde de l'ingénierie restent limitées. Nous l'avons constaté dans le projet SPatial Augmented Reality as a Key for co-creativity (**SPARK**), l'idée de permettre au client d'interagir directement avec la représentation du produit pour lui permettre de matérialiser lui-même ses idées se heurte rapidement à des difficultés réelles : quelle interface fournir pour limiter le temps d'apprentissage de sa manipulation ? Quelle organisation mettre en place pour garantir le bon déroulement de la session ? Qui sera garant du résultat de la collaboration ? Comment assurer l'intelligibilité des contraintes techniques ?

Nous avons constaté à travers ces études que les représentations externes restent encore essentiellement centrées sur la solution, i.e. le produit. Peu de représentations sont consacrées au problème, que l'on ne peut réduire au simple contexte d'usage. La capacité à faire participer tous les acteurs du cycle de vie à la conception est plus que jamais nécessaire, et des environnements suffisamment versatiles et inclusifs restent à penser. Cela peut notamment répondre à des enjeux de consommation éthique, de sobriété comportementale... et plus généralement à une volonté de conception participative que nous discuterons dans le chapitre 3.

## 2.4. L'analyse de l'activité par l'instrumentation des situations collaboratives.

Les terrains de jeu du scientifique en Génie Industriel sont multiples. Qu'il s'agisse d'observer des professionnels en situation de travail, d'introduire des modifications dans les activités (par le biais de nouveaux outils ou de nouveaux processus), de tester de nouvelles interfaces de collaboration auprès de publics cibles, ou de créer des situations de validation de concept, nos démarches scientifiques doivent constamment intégrer de nombreux paramètres tels que la taille des populations, la représentativité des échantillons, l'unicité des conditions de captage des données, etc. Nos questions de recherches touchent des populations d'ingénieurs/concepteurs professionnels dont le nombre et la disponibilité sont faibles, surtout lorsqu'on se restreint à une expertise ou un métier en particulier. Cela ferme la porte à des méthodes d'investigation d'envergure comme des enquêtes à grande échelle ou des expérimentations massives. Toutefois des approches récentes telles que la QCA et ses multiples évolutions<sup>14</sup> méritent notre attention.

Les recherches menées jusqu'à présent ont croisé le chemin de disciplines que je considère connexes au génie industriel car liées aux sujets traités : la technologie à l'œuvre dans une activité

---

14. Rihoux, B., Marx, A., & Álamos-Concha, P. (2014). 25 années de QCA (Qualitative Comparative Analysis) : Quel chemin parcouru? *Revue internationale de politique comparée*, 21(2), 61-79. <https://doi.org/10.3917/ripc.212.0061>

humaine de création collective. La figure 2.20 illustre la diversité des disciplines rencontrées dans les différentes collaborations passées. Ces collaborations ont enrichi le panel de nos démarches d'investigation.

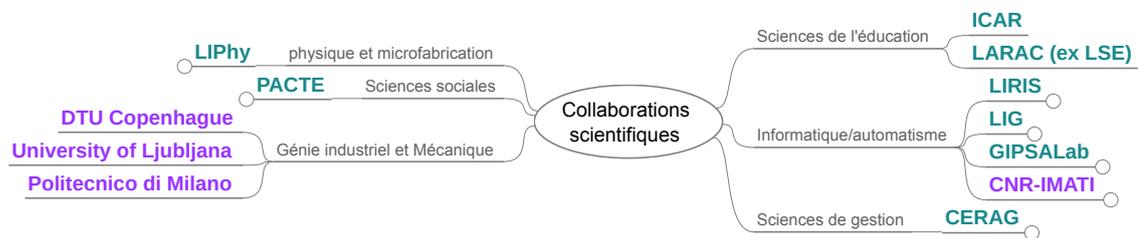


FIGURE 2.20. – Relation avec des disciplines autres

#### 2.4.1. Le design observatory comme base instrumentale.

Au fil des années, nous avons développé des méthodologies de recherche, humblement empruntées à l'ethnographie, que nous avons adaptées à chacun des projets menés. Ces travaux portent sur des problématiques en liens forts avec des pratiques professionnelles. Aussi, nous nous appuyons sur des méthodes d'observation issues du *Design Observatory* et sur des approches expérimentales.

Selon la genèse du projet de recherche, nous exploitons l'une ou l'autre de ces classes de méthodes, voire une combinaison des deux. Prenons le cas d'une problématique directement associée à un partenaire (souvent industriel). Ce dernier ouvre ses portes aux chercheurs afin de pouvoir pratiquer des observations initiales. Ce fut le cas dans des projets avec les partenaires industriels SEB ou Renault-Volvo par exemple. Lorsque la collaboration est encore plus étroite, nous pouvons envisager de la recherche-action comme ce fut le cas pour les travaux de Mme TRIVÉRY avec le SEB Lab. Au delà des problématiques liées à la confidentialité des données récoltées, se pose la question du choix de la situation et de l'instrumentation de l'observation. L'objectif de ces observations est essentiellement de collecter des données qui seront analysées a posteriori. La qualité des données récoltées doit être irréprochable car les situations observées sont, par essence, éphémères. L'enjeu consiste donc à nous assurer que la captation se fera dans les meilleures conditions, tout en minimisant l'intrusivité qui pourrait compromettre l'authenticité de la situation. Ainsi, le choix des angles de vue, des dispositifs d'enregistrement sonores et vidéo, des éclairages, des artefacts mobilisés dans la situation... sont autant de paramètres à définir avant la captation. Rappelons qu'il est très rarement possible de procéder à un galop d'essai dans ce type de situation. La redondance est alors la meilleure garantie pour faire face à la panne, la coupure d'alimentation, la saturation du support de stockage, etc.

L'observation est souvent la première étape pour prendre connaissance d'un terrain (i.e. une situation prototypique d'une activité professionnelle réelle) en observant de la façon la plus neutre les tâches, activités, rôles de ses acteurs. Nous tâchons ainsi d'en extraire les phénomènes et caractéristiques de la situation qui peuvent constituer les paramètres de notre problématique. Ces observations sont également un bon moyen de caractériser la situation *as is* avant de penser la situation *to be*, c'est-à-dire telle qu'elle devrait être à l'issue des modifications envisagées. Ces observations se doivent d'être les plus objectives possibles et la captation vidéo, comme ce fut le cas dans les projets COSMOCE ou **SPARK**, est un bon moyen de collecter de l'information « discrètement » à des fins d'analyses ultérieures. L'observation peut également être mise à contribution à la fin d'un cycle. Toujours dans le cadre du projet **SPARK**, des observations ont été répliquées en fin de projet pour mesurer les effets de l'implémentation de l'outil collaboratif **SAR** en environnement réel professionnel. Confrontée aux éventuelles observations initiales, elles dévoilent alors les évolutions des situations, selon les grilles d'analyses définies préalablement.

La prise d'information peut également prendre la forme d'enquêtes à base de questionnaires (cf. thèse de M. KOBENAN par exemple). L'observation est alors un moyen de recouper les éléments déclaratifs avec des éléments plus objectifs. La volonté d'allier des données objectives et subjectives répond à des enjeux différents. Dans le cas de la thèse de Mme SADEGHI, les questionnaires mêlant échelles de Likert et cadre d'expression libre, ont favorisé l'émergence d'attentes insatisfaites ou de suggestion d'amélioration de la part des utilisateurs, éléments auxquels nous n'aurions pu accéder par la simple capture des traces d'interaction. Ces dernières, comme d'autres indicateurs tels que les temps de manipulations, sont utiles pour mesurer la performance des individus ou du groupe, mais peuvent également permettre d'identifier des écarts entre la perception des participants et la caractérisation de leurs agissements. Ceci nous semble primordial pour relativiser le discours du participant et éventuellement faire apparaître des discordances entre ce discours et la pratique, discordances qu'il convient alors d'investiguer plus avant. Les données quantitatives, bien qu'appuyées sur un échantillon souvent faible de participants, nous permettent de dégager des tendances globales relatives à l'acceptation ou la satisfaction des usagers vis à vis des concepts et prototypes proposés. Cela permet une première évaluation du dispositif collaboratif et la validation d'hypothèses de recherche. Et parce qu'il ne s'agit que de prototypes, à un stade intermédiaire entre la recherche et le développement, il est également important de collecter de la donnée qualitative afin d'ouvrir des perspectives de poursuite d'études plus riches tout autant que de récolter des suggestions d'améliorations de la solution. Ce point est illustré dans l'étude décrite p.22.

Cette expérience acquise au cours des années s'est traduite par une contribution aux divers projets d'acquisition d'équipements de captage régie mobile, micro-cravates VHF et enregistreur numérique, caméras numériques, ainsi que l'organisation de séminaires d'été IDON<sup>15</sup> dédiés à la diffusion des bonnes pratiques en matière d'approches expérimentales dans les domaines de la conception. Nous y avons notamment mis en exergue l'importance du travail préparatoire

---

15. International Design Observatory Network

et de la conduite d'une expérimentation *pilote* afin de maximiser les chances de réussite de la véritable expérimentation. C'est également cette partie que nous avons pérennisé dans le cours *Knowledge Integration and Collaboration in Design* du master Génie Industriel.

#### 2.4.2. Les outils scientifiques logiciels.

La production d'outils occupe une place importante dans nos activités de recherche et constitue une dimension essentielle du scientifique. Que ces outils fassent l'objet de l'action de recherche ou en soient ses accessoires, une grande rigueur est nécessaire dans leur conception et leur validation.

Les développements logiciels peuvent servir à matérialiser un scénario que l'on souhaite imposer à des participants. Ce fut le cas des développements informatiques menés autour du jeu sérieux Delta Design qui conduisirent à 2 versions numériques du jeu : une version multiposte mettant en œuvre des espaces intermédiaires de collaboration nommée e-mediate [C23] ainsi qu'une version en table interactive multiutilisateur utilisée dans le cadre de la thèse de M. KOBENAN. L'élaboration de tels outils est parfois longue et exigeante en investissement humain (cf. liste des stagiaires impliqués sur le développement d'e-mediate p.55).

Nous sommes également appelés à développer nos propres outils de collecte et de traitement de données. Les développements récents en audio-visuel numérique ont changé la donne du chercheur en rendant obsolète l'enregistrement et le visionnage laborieux de dizaines d'heures de cassettes VHS. Néanmoins, l'ambition aidante, la quantité de données produites (discours, captage vidéo sous de multiples points de vue, traces écrites...) n'a pas diminué et les outils permettant la numérisation tels que l'OCR ou la transcription automatique (voire parfois la traduction) restent imparfaits. Le développement d'outils maison devient alors incontournable, à l'instar d'autres disciplines. Ce fut le cas du logiciel Observer [A3] développé lors du projet SPARK (cf. p. 42). La présence d'observateur dans les sessions contrôlées de mise en œuvre du SAR était indispensable car la méthodologie adoptée impliquait de pouvoir interroger les participants à l'issue de la session en pratiquant des entretiens d'auto-confrontation. Pour cela, il était indispensable d'identifier en temps réel les interactions et de les coder afin d'en avoir une visualisation quasi immédiate à l'issue de la session et retrouver dans les vidéos les moments susceptibles d'être montrés aux participants. Nous ne pouvions en effet exiger des participants qu'ils reviennent procéder à cet entretien après une analyse post-expérimentale traditionnelle. La phase de construction de la grille de codage du Design Protocol aboutissait à une combinatoire importante d'éléments à observer. La variété des artefacts mobilisables par les 5 participants produisait une somme d'items qui, combinée à la rapidité des interactions observées dans de telles sessions, rendait impossible la retranscription par écrit à la volée. Précisons que nous voulions limiter la présence de personnes dans la salle pour ne pas perturber les débats. J'ai donc développé une petite application pour mobile (tablette ou smartphone) permettant à un observateur de coder discrètement en temps réel les événements capturés par ailleurs en audio et vidéo (figure 2.21). Des choix ont été faits pour alléger la charge cognitive de l'observateur et un double codage a permis de démontrer la validité du codage à la volée, comparativement à ce

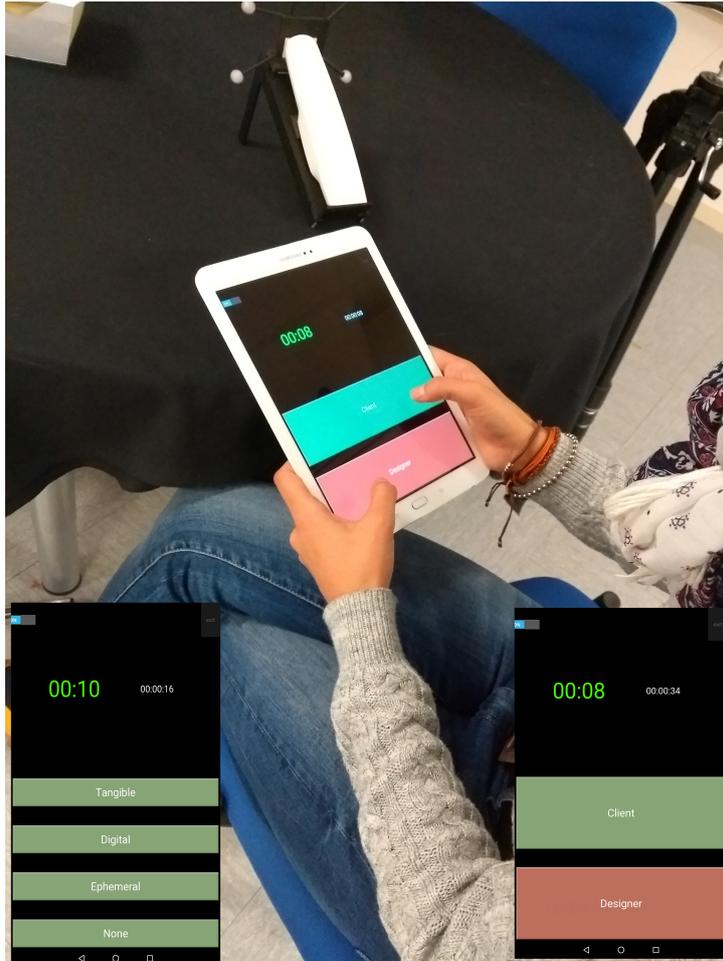


FIGURE 2.21. – Codage en temps réel à l’aide de l’application Observer

qui pouvait être fait lors d’un codage post-session sur la base des captures audiovisuelles. Nous avons également mené une réflexion sur la mise en forme des données brutes afin de faciliter l’analyse de ces données quantitatives. Cela a abouti, dans ce cas, à la production automatique de diagrammes temporels (figure 2.22) permettant de visualiser la distribution des événements codés ainsi que d’en apprécier la densité.

Enfin, nous ne négligeons pas l’importance d’hybrider les fonctionnalités de ces deux catégories d’outil. En effet, la production d’une maquette logicielle visant à satisfaire les objectifs de supporter une activité collaborative n’empêche pas d’y intégrer des éléments de la seconde catégorie. Ainsi, la capture et la matérialisation des traces produites par les participants à une expérimentation mettant en œuvre un outil de collaboration (par exemple) facilite la collecte de données et autorise même des développements ultérieurs du logiciel qui pourraient mettre à profit ces données pour adapter la réponse à l’activité en cours. Ces techniques sont bien connues des chercheurs en IHM et nous en avons extrait quelques principes que nous avons implémentés dans plusieurs projets.

Dans le cadre de la thèse de Mme SADEGHI, le logiciel MT-DT avait pour objectif de mettre

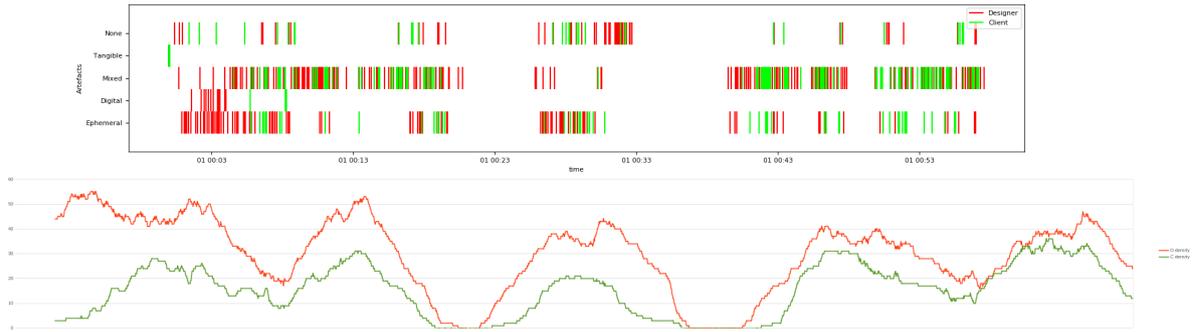


FIGURE 2.22. – Mise en forme des données quantitatives issues du codage à la volée : densité d’interaction (en haut) et occurrences d’interaction (en bas)

des participants en situation de collaboration au développement d’un nouveau produit. Un scénario, dispensé sous forme de briefs, établissait les responsabilités (métiers) pour chacun des participants à la manière d’un jeu de rôle. Ces derniers devaient échanger à partir de documents et représentations 2D/3D autour de la table interactive afin de sélectionner parmi les solutions concurrentes proposées celle qui optimisait au mieux les objectifs métiers de chacun. Là encore, le scénario n’était qu’un prétexte à la mise en activité des participants. Nous avons un intérêt scientifique à matérialiser les espaces atteints par les participants dans la manipulation collaborative des artefacts 2D et 3D (cf. figure 2.23). Dans le cadre du Delta Design présenté plus haut, les traces concernaient les événements engendrés par les interactions des usagers avec l’interface.

Pour aller plus loin dans la démarche, nous avons souhaité gagner en généralité et pouvoir collecter de l’information quel que soit l’environnement ou logiciel utilisé. Les concepteurs utilisent souvent des logiciels propriétaires auxquels il est impossible d’ajouter une couche de traçage puisque leurs codes sources ne sont généralement pas accessibles. Nous avons donc récemment, en collaboration avec le LIG, complètement redéveloppé une API en python pour la table DiamondTouch. Cette API nous permet d’intégrer une couche de traçage des événements spécifiques à la table DiamondTouch. Ainsi, nous sommes en mesure de tracer tout types d’interactions quel que soit le logiciel tournant sur le système d’exploitation de la table (Windows ou Linux).

En résumé, la production d’outils informatiques n’est pas seulement contrainte par le contexte de nos recherches sur les environnements numériques. Elle participe de la constitution d’un environnement de travail que l’on adapte en fonction de la singularité des études menées. Même si cette activité ne revêt qu’une place mineure dans l’ensemble de mes activités de recherche, elle présente l’avantage de questionner la finalité des travaux en cours et l’adéquation des moyens dont nous nous dotons pour y parvenir.

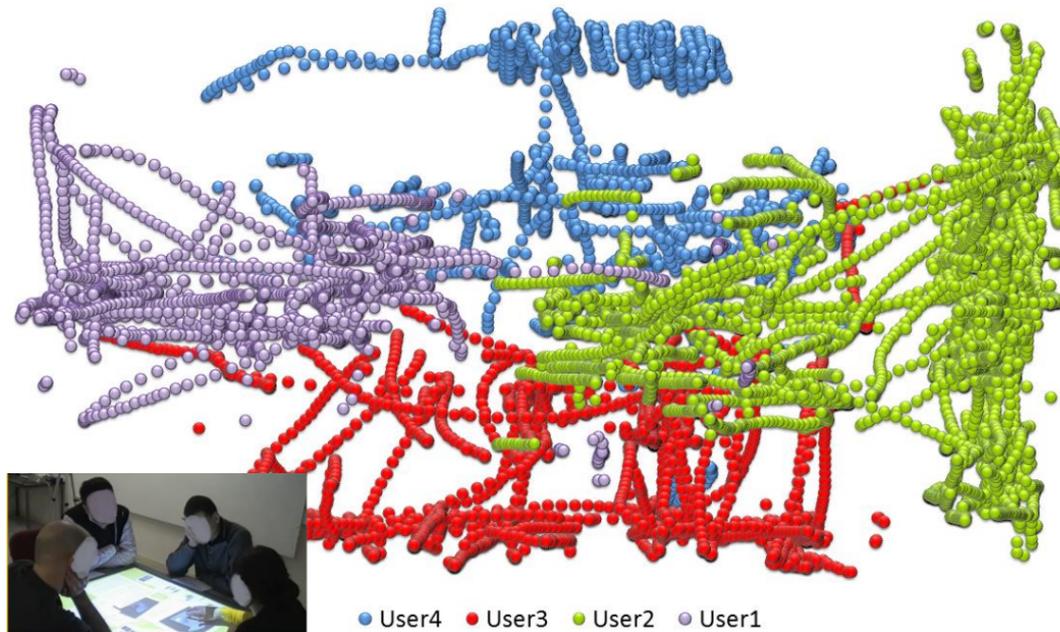


FIGURE 2.23. – Traces produites par le logiciel MT-DT des manipulations d'artefacts dans l'espace de collaboration.

## 2.5. Projets et encadrements

- 7 thèses co-encadrées et 6 soutenues (total d'encadrement 225 %)
- 2 thèses en cours (encadrement 70 %)
- 20 masters encadrés ou co-encadrés
- 7 stagiaires (ingénieurs et techniciens) ou internship sur des développements logiciels relatifs aux activités de recherche.

### 2.5.1. Thèses encadrées (7)

- (2008) M. Matthieu MUSEAU septembre 2005 – 2 décembre 2008. sous la direction du Pr. H. PARIS 50 %, C. MASCLLET 50 %. « Un modèle pour l'intégration des couplages multiphysiques et la prise en compte de la fabricabilité au cours du processus de conception des microproduits ». Le doctorant est actuellement enseignant-chercheur à l'Université GRENOBLE ALPES.
- (2008) M. Chao-Yaug LIAO. Aout 2005- 29 février 2008. Cotutelle avec la National Taiwan University. Sous la direction du Pr. J.-C. LEON 30%, Pr. T. T. CHUNG 30%, Pr. P. BALDECK 30%, C. MASCLLET 10 %. « Création et simulation de modèles de produits pour leur micro-fabrication par polymérisation à deux-photons ». Actuellement enseignant-chercheur à National Central University, Taiwan.
- (2015) Mme Samira SADEGHI septembre 2010 – 19 novembre 2015. sous la direction du Pr. F. NOËL 60 %, C. MASCLLET 40 %. « The proposition of structured models and process

- for development of synchronous collaborative environments : Application for design review meeting ». Actuellement consultante et enseignante à l'université Sharif de Téhéran.
- (2016) M. Jean-Moïse KOBENAN : septembre 2009 – 9 décembre 2016. sous la direction du Pr. J.-F. BOUJUT 50 %, Cédric MASCLET 50 %. « Contribution à l'évaluation de la qualité de la collaboration en conception de produits ». Actuellement directeur des études à l'Institut National Polytechnique HOUPHOUËT-BOIGNY (Côte d'Ivoire).
  - Mme Cécile TRIVERY : février 2014 - Abandon en septembre 2016. Sous la direction du Pr. J.-F. BOUJUT 50 %, Cédric MASCLET 50 %. « Accompagner l'innovation de rupture par des dispositifs d'exploration basés sur le prototypage rapide et la co-conception ».
  - (2018) Mme Olga KASATKINA. Sous la direction de Pr. E. DE VRIES (Sciences de l'éducation CNU 70, 50%), Pr. J.-F. BOUJUT (25%) et C. MASCLET (25%). « Appropriation et utilisation des outils sémiotiques pour l'activité de conception innovante et la formation des ingénieurs. »
  - (2021) Mme Maud POULIN. Sous la direction de Pr. J.-F. BOUJUT (50 %), C. MASCLET (50 %) « Approche méthodologique de l'analyse des transformations de l'activité de co-conception de produits dans un environnement de réalité augmentée ». Actuellement adjointe scientifique à l'HES Neuchâtel (CH).

### 2.5.2. Thèses en cours (2)

- (2022→) M. Alexandre GAULTIER. Sous la direction de Pr. J.-F. BOUJUT (50 %), C. MASCLET (50 %) « Proposition d'un outillage méthodologique pour une ingénierie low tech et résiliente centrée utilisateur »
- (2022→) Mme Marion BERNARD. Sous la direction de Pr. J.-F. BOUJUT, C. CHOLEZ, C. MASCLET (20 %) « Modèles de co-conception des usages et de la technologie pour une transition socio-économique des territoires »

### 2.5.3. Masters et DEA (21)

- 2004 S. H. ROUSHDY, (co-encadrement Pr. F. VILLENEUVE). « An Investigation into the Relationship between the Design and Manufacturing of Airframe Monolithic Metal Parts »
- 2005 M. MUSEAU, (co-encadrement Pr. D. BRISSAUD). « Assistance à la conception de Micro-produits : cas des MEMS », [C35]
- 2008 F. HSU (co-encadrement Pr. J.-C. LÉON, Pr. P. BALDECK, LSP) « amélioration qualitative des caractéristiques mécaniques des microstructures obtenues par TPP ». Collaboration avec National Taiwan University.
- 2009 A. JAMASHI, « Analyse des caractéristiques d'une plateforme collaborative par les théories de la conception », projet ASPIC.
- 2010 S. SADEGHI, (co-encadrement Pr. F. NOËL) « Improvement in Process of Realizing VR-Scenario » [C20]

- 2010 J.-M. KOBENAN, (co-encadrement Pr. J.-F. BOUJUT) « Influence des espaces publics/privés dans la conception à distance »
- 2010 K. L. DAM « Caractérisation de l’activité de conception dans la mise en œuvre d’une plate-forme de collaboration à distance »
- 2010 C. CHEVALIER (co-encadrement Pr. F. NOËL) « Définition d’un processus permettant d’implémenter rapidement une expérience collaborative sur une table holographique ».
- 2011 A. MOUTAOUKIL, « Confrontation des points de vue et interactions autour des contraintes-métier lors des réunions de projet ».
- 2012 H. KOREYTEM, (co-encadrement P. MARIN), « La configurabilité d’un logiciel support à la conception collaborative et son apport à l’utilisabilité globale ».
- 2013 T. VILLÉGIÉ, « Fabricants et concepteurs : étude de la démarche des utilisateurs novices des Fab Labs »
- 2014 F.-Z. ABOU EDDAHAB (co-encadrement G. PRUDHOMME), « Modélisation de la prise de décision en phase amont de conception collaborative », [C10, D4]
- 2014 S. CABOT, (co-encadrement C. COUTRIX, LIG) « Opportunités d’un Potentiomètre Linéaire en Main Non Dominante pour l’Interaction WIMP » dans le cadre du projet TAPIOCA (tableau 2.5.5 page 59).
- 2014, T. CHARBONNEL, (co-encadrement G. MANDIL). « Etude des représentations des résultats d’ACV dans les phases critiques d’interaction », [D5]
- 2015, A. BIN ABU TALIB (co-encadrement Pr. P. ZWOLINSKI). « List of Specifications for Representation of LCA Results in Design Phase »
- 2017, Manon LE MOAL-JOUBEL (co-encadrement G. PRUDHOMME). “Quelle organisation pour préserver la collaboration informelle dans une start-up en mutation ? Une étude exploratoire chez Giroptic.”
- 2019, Laetitia BALDACCHINO (co-encadrement J.-F. BOUJUT) “An analysis of socio-cognitive activities during co-creative design supported by Spatialized augmented reality”, [A2]
- 2021 Youssef MRAYEH (co-encadrement J.-F. BOUJUT), « Conception low Tech. Définition de guidelines pour le concepteur »
- 2022 Jasmine MAZUDIE, « Règles de conception pour la prise en compte de la réparabilité des produits dans une approche d’ingénierie frugale », [C1, D1]
- 2022 Melissa LÉVAI (S. CAROLY et A. CATEL - PACTE, J.-F. BOUJUT), « Comment les dynamiques de coopération dans des réseaux informels de makers participent-elles à la production d’innovation de produit rapide en réponse à une crise sanitaire majeure ? », Projet FabCovid (SFR INNOVACS)
- 2023 Joa SOUCIEUX (co-encadrement C. PÉRÉA, CERAG), « Concevoir des produits pour favoriser la sobriété des usagers : cas de la désadoption »

#### 2.5.4. Développements techniques et Internships

- (2011) E. MASS (Engineer internship), étudiant de l'Université de Twente (Pays-Bas) consécutivement aux travaux sur les environnements collaboratifs menés avec W. WITS.
- (2006–2010) Sur la plateforme e-mediate, stagiaires Diplôme Universitaire de Technologie (DUT) et M1 informatique (Y. HECTOR en 2006, B. SEVEZEN en 2007, A. CAPECCI en 2008, A. EDOUARD-ARMAND et S. FAURE en 2009 et F. MILLAT en 2010), projet ASPIC et suite.
- (2018) Développement d'un outil de traçage des interactions collaboratives sur surface multipoint, TER IM2AG, C. ALLARD (co-encadrement M. LAURILLAU, LIG)

#### 2.5.5. Projets institutionnels

Les principaux projets auxquels j'ai pris part sont récapitulés dans le tableau 2.3. Une brève description de mes participations les plus significatives est donnée ci-après.

TABLE 2.3. – Synthèse des projets

Intitulé	Partenaires	Budget	Rôle	Doctorant impliqué
COSMOCE (2003-2006) (Conception, Outils, Supports, Médias, Organisation pour la Collaboration des Entreprises)	Laboratoire 3S, Laboratoire LEG, Laboratoire GILCO, Laboratoire RIM, Laboratoire LIRIS, Laboratoire ICAR, Renault V.I., EADS	120k€ + 1 ADR Cluster Région R-A	Contributeur WP 1 et 2	
PAI Proteus (2005-2007) « Optimal design for micro product manufacturing with non-conventional technologies ».	Université de Ljubljana	88 jours d'échanges	Chef de projet	Matthieu MUSEAU
VRL-KCiP. (2004-2008) Virtual Research Lab-Knowledge Community in Production.	27 partenaires européens (liste sur <a href="#">Cordis</a> )	6,3M€ FP6	Définition des outils de collaboration de la communauté et mise en place des procédures associées.	

TABLE 2.3. – Synthèse des projets

Intitulé	Partenaires	Budget	Rôle	Doctorant impliqué
ASPIC (2006-2009) Analyse et Structuration des Pratiques en Ingénierie Collaborative	Laboratoires : CERAG G2ELAB ICAR LEPII LIG RIM	≈200k€ Cluster GOSPI	Contributeur SP2 : Outils Spécifiques pour la conception collaborative	
DISCO2 (2010) DISpositifs de CONception Collaborative.	interne	15 k€ Cluster Région R-A	Porteur du projet	
VISIONAIR (2011-2015) VISION Advanced Infrastructure for Research	25 partenaires européens (liste sur <a href="#">Cordis</a> )	8 M€ (FP7- NMP) Infrastruc- ture	Workpackage leader « Augmented Reality and Holography »	Samira SADEGHI
TAPIOCA (2013-2014) TAngibilité Physiologique Instrumentée : Outil mixte redimensionnable pour la Conception d'Artefact).	Laboratoire LIG Laboratoire GIPSA Laboratoire LJK	20k€ LABEX Persyval	Responsable <b>G-SCOP</b> . Conception de l'interface redimension- nable et analyse des cas d'usage.	
MIHRIAD (2013) Murs d'Images Haute Résolution pour l'Ingénierie Augmentée et le Design.	interne	130k€ GRENoble INP sur appel à projet.	Co-porteur du projet avec F. NOËL. Définition des usages potentiels.	
Janus (2014)	Laboratoire ICAR Groupe SEB	9k€ Labex ASLAN	Co-porteur du projet avec K. LUND	

TABLE 2.3. – Synthèse des projets

Intitulé	Partenaires	Budget	Rôle	Doctorant impliqué
SPARK (2016-2019) Spatial Augmented Reality as a Key for co-creativity	POLIMI U. Bath Viseo AMS Stimulo Artefice	3,2M€ H2020	Task leader. Responsable des protocoles expérimentaux d'analyse des interactions.	Maud POULIN
FabCovid(2022)	PACTE	IRGA	Dynamique de coopération chez les makers	
FrugiTerre (2022-2023)	PACTE	20k€ IRGA		Marion BERNARD

## COSMOCE et ASPIC

Les projets COSMOCE et ASPIC, financés par la région Rhone-Alpes, ont réunis des laboratoires de Génie Industriel, d'informatique des sciences du langage, d'économie ainsi que des groupes industriels sur le thème de l'entreprise virtuelle. La production scientifique a été consacrée à la collaboration de tous les acteurs de la chaîne de valeur par les outils numériques. Ma contribution à l'état des lieux des solutions d'ingénierie collaborative s'est faite dans le prolongement de mes travaux de thèse en focalisant sur la dimension synchrone. Dans le cadre d'ASPIC, un travail plus poussé sur des prototypes logiciels développés en laboratoire (annotation, argumentation, tableau blanc partagé, analyse de traces...) visait à construire une offre complète en matière d'outils de collaboration numérique aux entreprises. Ceci a conduit au développement de la plateforme e-mediatE (cf. p. 21).

Ces projets ont été une très belle opportunité de découvrir l'écosystème scientifique régional dès mon arrivée au laboratoire 3S, de nouer des partenariats pour les projets suivants et de nous approprier une partie des outils de la communauté que nous avons réinvestis dans nos travaux ultérieurs.

## PAI-Proteus.

Ayant déjà participé à un programme d'échange avec la Slovénie (MARIBOR) lors de ma thèse de doctorat, je connaissais le pays et la valeur de sa recherche. J'ai donc monté et conduit le projet de collaboration scientifique avec l'équipe du Pr. JUNKAR (Laboratory for Alternative

Technologies) de l'Université de Ljubljana, membre du réseau d'excellence européen 4M (FP6). Les travaux menés autour du développement d'une séquence originale de fabrication de micro-outillage par des procédés non-conventionnels pour la production par lots de microproduits ont contribué à des avancées significatives pour les 2 laboratoires. Un travail d'état de l'art sur la conception et la réalisation d'échangeurs thermiques miniatures a permis d'en définir les paramètres caractéristiques. Ces éléments ont été utilisés pour évaluer la pertinence d'une réalisation par l'un des procédés de fabrication développés au LAT (usinage par jet d'eau). L'analyse fine des limites de ce procédé (qualité géométrique, dimensions minimales réalisables...) ont révélé l'intérêt de combiner plusieurs procédés. C'est grâce à cette approche DFM que la séquence originale (usinage par jet d'eau puis micro-electro érosion) a vu le jour. L'extension à la réalisation d'outillages pour la fabrication de produits en micro-fluidique a permis de valider la démarche et d'affiner le paramétrage des procédés impliqués. Les résultats obtenus ont alimenté la réflexion sur un modèle de micro-produits intégrant les contraintes associées aux procédés de fabrication, conjointement aux développements de la thèse de doctorat de M. MUSEAU. Cette collaboration a conduit à des publications communes [A14, C31, C32], des participations réciproques à des congrès dont les laboratoires étaient organisateurs (MIT, International Conference on Management of Innovative technologies) et à une convention Erasmus (Socrates) entre l'UFR de mécanique de l'UJF et la faculté d'ingénierie mécanique de l'Université de Ljubljana.

#### **VRL-KCiP.**

Le FP6 VRL-KCiP visait à créer un réseau européen d'excellence rassemblant une communauté scientifique autour des enjeux de connaissances sur les systèmes de production. Il a abouti à la création de l'association européenne European Manufacturing and Innovation Research Association (**EMIRAcle**). Le niveau d'intégration attendu dans les activités de coordination et de coopération scientifique impliquaient de penser un dispositif de communication performant. Dans le cadre de l'I.A. « Share Common Tool : Communication networks and tools » et du J.R.A. « Develop new research tools and platforms for common use », j'ai contribué au recensement des solutions matérielles et logicielles de collaboration distantes dont la visio-conférence et ses multiples protocoles, à la définition d'indicateurs de performance, aux campagnes d'essais et aux présentations des solutions candidates. Cette activité m'a permis de développer des compétences dans le domaine de la collaboration distante et des conditions de sa réalisation. Bien que désormais obsolètes du point de vue technique, l'apprentissage des protocoles et structure de communication en visio-conférences a été une étape importante dans mon orientation vers les solutions collaboratives numériques.

#### **DISCO2.**

Dans la continuité des projets COSMOCE et ASPIC, le laboratoire **G-SCOP** a souhaité pousser plus avant sa recherche sur l'étude des bonnes pratiques industrielles en matière d'ingénierie collaborative. J'ai soumis un projet d'acquisition de matériel expérimental au cluster régional

GOSPI en 2010 qui a conduit à l'achat de la table DiamondTouch. Ce matériel a intégré notre plateforme expérimentale **MEXICO** et a servi de support à de nombreux développements dont les thèses de M. KOBENAN, Mme SADEGHI et des actions conjointes avec le LIG.

## **VISIONAIR**

La commission européenne, dans son 7ème programme cadre, a souhaité développer des plateformes européennes de visualisation scientifiques de classe mondiale. Le projet Visionair, coordonné par le laboratoire G-SCOP, a réuni vingt-cinq partenaires de onze pays différents sur une offre de service visualisation scientifique à l'ensemble de la communauté scientifique européenne. Plus de 120 TNA <sup>16</sup> ont été réalisés sur les plateformes. J'ai pris en charge le pilotage du module « Collaborative Environments including Holography » basé sur la plateforme ACE <sup>17</sup> formée des plateaux techniques de 7 partenaires dont la plateforme MEXICO de Grenoble. Ce module se distinguait des autres en ce sens qu'il proposait une approche fonctionnelle –les environnements de collaboration co-localisée ou distante– plutôt qu'une approche par la définition technique des équipements (Imagerie Ultra Haute Définition distribuée, Réalité Virtuelle ou Visualisation scientifique/calcul haute performance). Au total, 21 TNA ont été hébergés sur la plateforme ACE sur une période de 3 ans. Au delà de ces réalisations, le projet Visionair a renforcé nos compétences en matière de collaboration médiée par la visualisation, distante ou présente, et a illustré l'étendue des solutions techniques (mur d'images, tables et écrans holographiques, vision stéréoscopique 3D, Réalité Augmentée...) propices à la construction d'une compréhension partagée de données scientifiques sous de multiples formes. Il a également permis de nouer de nombreux partenariats, encore actifs aujourd'hui, entre les membres du consortium mais également avec les chercheurs hébergés. Les équipements de la plateforme, devenue Vision-R, sont désormais intégrés à l'Equipex Continuum du PIA4, comme d'autres partenaires français du projet Visionair.

## **TAngibilité Physiologique Instrumentée : Outil mixte redimensionnable pour la Conception d'Artefact (TAPIOCA).**

Le projet **TAPIOCA** était un projet exploratoire de l'axe Authoring Augmented Reality de l'IDEX Persyval (UGA) regroupant les laboratoires LJK, LIG, GIPSA et G-SCOP. Il visait à étudier la convergence des mondes physique et virtuels en définissant une nouvelle génération de systèmes interactifs basés sur la reconnaissance de geste. Le projet était centré sur les Outils Mixtes Redimensionnables en tant que proposition d'Interfaces Utilisateurs Tangibles, combinant représentations physiques et numériques et dotés de capacité de redimensionnement afin de s'adapter aux contextes d'interactions de l'utilisateur. Plus précisément, nous avons défini notre objectif sur la conception d'artefacts en environnement CAO pour la manipulation

---

16. TransNational Access : préparation et accueil financé des chercheurs pour la mise en œuvre de leur projet de visualisation.

17. Augmented Collaborative Environment

tangible d'artefacts 3D déformables. Le projet s'appuyait notamment sur de l'évaluation électromyographique pour modéliser les mouvements de l'avant-bras. J'ai assuré la coordination scientifique sur l'ensemble du projet pour le laboratoire G-SCOP et contribué à l'axe 3 « Outils Mixtes Redimensionnables pour l'activité de conception » avec Mme COUTRIX. Dans cet axe, nous avons étudié les besoins de redimensionnement d'utilisateurs, sédentaires ou nomades, pour définir un cahier des charges spécifique à ce type d'interaction. Un recensement des solutions techniques génériques de redimensionnement a conduit à la réalisation d'un prototype d'interface tactile redimensionnable permettant de valider le concept. En parallèle, le stage de master en sciences cognitives de M. CABOT a jeté les bases de l'expérimentation d'un potentiomètre linéaire en main non dominante pour des interactions en configuration Windows, Icons, Menus and Pointers (**WIMP**). À l'issue de ce travail, un second prototype a été réalisé, basé sur une métaphore de curseur linéaire, afin de vérifier l'utilisabilité et les performances de l'utilisateur en conditions expérimentales. Des tâches très simples de pointage et de suivi ont été soumises à des participants (conception intra-sujet) en prenant comme variables indépendantes la dimension de l'interface et le niveau de difficulté de la tâche. La rapidité et la précision ont été analysées et les résultats ont été jugés satisfaisants et conformes à la littérature. Des pistes ont été élaborées pour améliorer le dispositif. Les paramètres physiques de l'interface (dimensions, coefficient de friction) sont des éléments qui, sans remettre en cause le principe de l'interface, sont cruciaux pour la performance de l'utilisateur [C11].

### **Murs d'Images Haute Résolution pour l'Ingénierie Augmentée et le Design (MIHRIAD).**

Ce projet, co-porté par M. NOËL et moi-même, était basé sur un co-financement laboratoire/Grenoble INP (fond d'aide à l'investissement en recherche et enseignement). Il nous a permis de développer nos moyens de visualisation et d'interaction en faisant l'acquisition d'un mur d'image de type powerwall en UHD et d'un environnement immersif 3D (mini-cave) préfigurant ce que pourrait être le bureau de design de l'ingénierie du futur. En complément des systèmes déjà en notre possession mais limités en résolution (holographie) ou manipulation (bras haptique), ces systèmes comportant du tracking se sont parfaitement intégrés dans la dynamique de la plateforme MEXICO et du projet VISIONAIR.

### **Janus.**

Dans la continuité des projets menés avec le laboratoire ICAR, nous avons obtenu en 2014 un financement du Labex ASLAN de Lyon (co-responsable avec K. LUND). La visée à long terme du projet Janus est de créer des objets mixtes utiles à la prise de décisions dans les phases de co-construction de solution innovantes. Le partenaire industriel SEB était investi dans le consortium, par le biais de son anthropologue « maison », et a fourni la situation initiale d'analyse. Le projet a financé la transcription d'une dizaine d'heures de revue de projet issues de phase amont d'un développement de produit. Il a également contribué à la création d'un corpus audio/vidéo et au codage d'une sélection des moments les plus pertinents pour l'objectif

de recherche. Les travaux de master de Mme ABOU EDDAHAB se sont appuyés sur ce corpus [C10, D4]. Ils ont abouti à la mise en évidence d'un manque de formalisation des prises de décisions sur les sujets techniques dans ces phases amont de revue de projet.

## SPARK.

Le projet SPARK a été financé dans le cadre du programme européen H2020. Il avait pour objectif de proposer une plateforme de co-conception intuitive exploitant un dispositif SAR. Le consortium a réuni l'institut Polytechnique de MILAN, l'université de BATH, L'école de Management d'ANTWERP et trois entreprises dont deux cabinets de design situées en Italie et en Espagne. L'hypothèse principale était que la mise en usage de représentations mixtes lors de sessions de co-créativité entre designers et clients (ou usagers finaux) permettrait une meilleure interaction des parties. Le prototypage virtuel en temps réel devait raccourcir les boucles d'innovation en accélérant la matérialisation des modifications discutées et la prise de décision. Le travail s'est organisé autour d'une séquence de phases consistant à observer les pratiques courantes des partenaires industriels, le développement et la mise en usage du SAR en contexte contrôlé, puis la validation de la plateforme par les partenaires industriels. Le laboratoire G-SCOP a apporté son exercice en matière d'observation et d'analyse de pratiques collaboratives et a fourni l'environnement pour les expérimentations contrôlées du SAR. Ce projet a servi de terrain à 3 ingénieurs d'étude, dont Mme POULIN qui a ensuite poursuivi sa collaboration avec sa thèse de doctorat, ainsi qu'au stage de master de Mme BALDACCHINO [A2].

Mes contributions au projet ont été multiples. En sus de l'encadrement des ingénieurs d'étude et du stage de master, j'ai contribué à la plupart des lots :

- WP1 : organisation et conduite des observations in-situ chez les partenaires industriels. Conduite des études des gestes et de l'usage de artefacts dans ces sessions. Définition des besoins utilisateurs.
- WP2 : choix des solutions techniques. Définition des indicateurs de performance de la co-conception et de son protocole d'évaluation.
- WP4 : vérifications expérimentales de l'efficacité du dispositif et analyse comparée des sessions standard et SAR.
- WP5 : évaluation de l'usage du SAR en conditions réelles chez les partenaires industriels.

Les bénéfices personnels de cette expérience sont multiples. L'observation de praticiens du design, aussi bien dans le domaine du *packaging* que dans celui de la conception de produit, a affiné ma compréhension du métier et des interactions avec les autres acteurs du cycle de vie. La qualité des représentations, dans ces phases aval, est primordiale car les fonctions recherchées sont éminemment ergonomiques et communicatives. La mise en œuvre d'un dispositif tel que le SAR n'est pas une mince affaire. Elle requiert un support technique important, tant pour le développement que la maintenance, et la documentation du système et de son exploitation est un facteur clé de pérennité. Enfin, ces travaux ont conforté mon intérêt pour les approches multimodales dans la compréhension des activités de conception, tout en révélant les précautions

nécessaires à leur exécution.

## 2.6. Publications

- 17 publications en journal
- 35 communications en conférences internationales (dont un reviewers' favorite award)
- 7 communications en colloques nationaux
- **ORCID** : [0000-0002-3607-8243](https://orcid.org/0000-0002-3607-8243)

### Article dans des revues internationales à comité de lecture

- [A1] **Olga KASATKINA**, Cédric MASCLET, Jean-François BOUJUT et Erica de VRIES. “Format Effects in the Understanding of Motion from Kinematic Diagrams in Engineering Education”. In : *International Journal of Technology and Design Education* (29 mai 2020). ISSN : 0957-7572, 1573-1804. DOI : [10.1007/s10798-020-09591-0](https://doi.org/10.1007/s10798-020-09591-0).
- [A2] Cédric MASCLET, Jean-François BOUJUT, **Maud POULIN** et Laetitia BALDACCHINO. “A Socio-Cognitive Analysis of Evaluation and Idea Generation Activities during Co-Creative Design Sessions Supported by Spatial Augmented Reality”. In : *International Journal of Design Creativity and Innovation* (nov. 2020), p. 1-21. DOI : [10.1080/21650349.2020.1854122](https://doi.org/10.1080/21650349.2020.1854122).
- [A3] Cédric MASCLET, **Maud POULIN**, Jean-François BOUJUT et Niccolo BECATTINI. “Real-Time Coding Method and Tool for Artefact-Centric Interaction Analysis in Co-Design Situations Assisted by Augmented Reality”. In : *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 14 (août 2020), p. 1141-1157. DOI : [10.1007/s12008-020-00683-8](https://doi.org/10.1007/s12008-020-00683-8).
- [A4] Robert IACOB, Diana POPESCU, Frédéric NOËL et Cédric MASCLET. “Implementation and Evaluation of a Model Processing Pipeline for Assembly simulationImplementation and Evaluation of a Model Processing Pipeline for Assembly Simulation”. In : *Assembly Automation* 37.4 (mars 2017), p. 400-410. DOI : [10.1108/AA-11-2015-104](https://doi.org/10.1108/AA-11-2015-104).
- [A5] Ettore LANZARONE, Cédric MASCLET et Frédéric NOËL. “A Multi-User Tool for Enhancing the Daily Replanning and Control of Visits in Home Care Services.” In : *Production Planning and Control* 28 (nov. 2016), p. 202-219. DOI : [10.1080/09537287.2016.1248869](https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1248869).
- [A6] Diana POPESCU, Robert IACOB, Frédéric NOËL, Cédric MASCLET et Thibault LOUIS. “Evaluation of a Haptic Environment for Assembly Task Simulation”. In : *Studies in Informatics and Control* 24.3 (2015), p. 329-338.

- [A7] Erica de VRIES et Cédric MASCLET. “A Framework for the Study of External Representations in Collaborative Design Settings”. In : *International Journal of Human-Computer Studies* 71.1 (jan. 2013), p. 46-58. ISSN : 10715819. DOI : [10.1016/j.ijhcs.2012.07.005](https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2012.07.005).
- [A8] Andreas KOPECKI et al. “VISIONAIR - VISION Advanced Infrastructure for Research”. In : *SBC Journal on 3D Interactive Systems*. Special Issue - VR and HCI Labs 2.2 (nov. 2011), p. 40-43. ISSN : 2236-3297. DOI : [10.5753/jis.2011.576](https://doi.org/10.5753/jis.2011.576).
- [A9] **Matthieu MUSEAU**, Arnaud DE GRAVE, Cédric MASCLET et Henri PARIS. “A Product-Model Supporting Coupling’s Management during Microproduct Design”. In : *International Journal of Design Engineering* 2.4 (juin 2009), p. 398-413. DOI : [10.1504/IJDE.2009.030820](https://doi.org/10.1504/IJDE.2009.030820).
- [A10] Jean-Claude LÉON, **Chao-Yaug LIAO**, Cédric MASCLET, Michel BOURIAU, Patrice BALDECK et Tien-Tung CHUNG. “Product Model Preparation and Processing for Micro-manufacturing”. In : *JCISE* 8.2 (2008), p. 2-10.
- [A11] **Chao-Yaug LIAO**, Patrice L. BALDECK, Jean-Claude LÉON, Michel BOURIAU, Cédric MASCLET et Tien-Tung CHUNG. “Two-Dimensional Slicing Method to Speed up the Fabrication of Microobjects Based on Two-Photon Polymerization”. In : *Applied Physics Letters* 91.033108 (juill. 2007), p. 1-3.
- [A12] Philippe R. MARIN, L. GERBAUD, El-Hadi MECHEKOUR et Cédric MASCLET. “An Observational Study of Multi-Disciplinary Co-Design - Application to an Electromechanical Device”. In : *Journal of Design Research* 6.3 (2007), p. 311-332.
- [A13] **Matthieu MUSEAU**, Cédric MASCLET et Serge TICHKIEWITCH. “Integrated Design of MEMS : Aiming at Manufacturability”. In : *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 1.3 (août 2007), p. 127-134.
- [A14] Jožko VALENTINCIC et al. “An Alternative Strategy for Microtooling for Replication Processes”. In : *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 53.12 (déc. 2007), p. 806-818.
- [A15] **Matthieu MUSEAU** et Cédric MASCLET. “Integrated Design of Mycro-Electro-Mechanical Systems”. In : *Strojniški vestnik = Journal of Mechanical Engineering* 52(2006).7-8 (juill. 2006), p. 506-514.

## Article dans des revues nationales à comité de lecture

- [A’1] Maud CLAVEL, Alix GÉRONIMI et Cédric MASCLET. “Démarche Technologique : Conception d’objets Roulants En CP”. In : *Grand N, Revue de mathématiques, de sciences et technologie pour les maîtres de l’enseignement primaire* (2020).

## Ouvrages individuels et direction d'ouvrages collectifs

- [B1] Julie DUGDALE, Cédric MASCLET, Grasso ANTONIETTA, Jean-François BOUJUT et Parina HASSANALY. *From Research to Practice in the Design of Cooperative Systems*. Springer, mai 2012. 301 p. ISBN : 978-1-4471-4092-4.

## Communications dans des congrès internationaux à comité de lecture et actes publiés

- [C1] Cédric MASCLET, Jasmine MAZUDIE et Jean-François BOUJUT. "Barriers and Opportunities to Repair in Repair Cafes". In : ICED 2023. Bordeaux, France, 24-28 juill. 2023.
- [C2] Cédric MASCLET, Laetitia BALDACCHINO et Jean-François BOUJUT. "An Analysis of Socio-Cognitive Activities during Co-Creative Design Supported by Spatialized Augmented Reality". In : *The Sixth International Conference on Design Creativity (ICDC2020)*. Oulu, Finland, août 2020. DOI : [10.35199/ICDC.2020](https://doi.org/10.35199/ICDC.2020).
- [C3] Maud POULIN, Cédric MASCLET et Jean-François BOUJUT. "The Co-Design Cognitive Process : Impacts of a Spatial Augmented Reality Platform." In : *INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE -DESIGN 2020*. Dubrovnik, Croatia, 2020. DOI : [10.1017/dsd.2020.104](https://doi.org/10.1017/dsd.2020.104).
- [C4] Maud POULIN, Jean-François BOUJUT et Cédric MASCLET. "Analysis of the Co-Design Activity : Influence of a Mixed Artifact and Contribution of the Gestural Function in a Spatial Augmented Reality Environment". In : *INCOSE Conference on Human System Integration*. Biarritz, France, sept. 2019.
- [C5] Niccolò BECATTINI, Gaetano CASCINI, Jamie Alexander O'HARE et Cedric MASCLET. "CODING SCHEMES FOR THE ANALYSIS OF ICT SUPPORTED CO-CREATIVE DESIGN SESSIONS". In : 15th International Design Conference. 2018, p. 533-544. DOI : [10.21278/idc.2018.0532](https://doi.org/10.21278/idc.2018.0532).
- [C6] Fatma BEN GUEFRACHE, Cédric MASCLET, Guy PRUDHOMME, Gaetano CASCINI et Jamie Alexander O'HARE. "Real-Time Coding Method for Capture of Artefact-Centric Interactions in Co-Creative Design Sessions". In : *15th International Design Conference*. Dubrovnik, Croatia, mai 2018. DOI : [10.21278/idc.2018.0468](https://doi.org/10.21278/idc.2018.0468).
- [C7] Elies DEKONINCK, Jamie O'HARE, Lorenzo GIUNTA, Cédric MASCLET et Gaetano CASCINI. "EXPLORING WAYS TO SPEED UP THE APPLICATION OF METRICS TO ASSESS CO-CREATIVE DESIGN SESSIONS". In : *The Fifth International Conference on Design Creativity (ICDC2018)*. Bath, United Kingdom, jan. 2018.

- [C8] Niccolò BECATTINI, Cédric MASCLET, Fatma BEN GUEFRACHE, Guy PRUDHOMME, Gaetano CASCINI et Elies DEKONINCK. “Characterisation of a Co-Creative Design Session through the Analysis of Multi-Modal Interactions.” In : *21 ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, ICED17*. T. 8 : : Human Behaviour in Design. Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17). Vancouver, Canada, août 2017.
- [C9] **Olga KASATKINA**, Erica VRIES (DE), Jean-François BOUJUT et Cédric MASCLET. “Format Effects on the Comprehension of Movement from Static Graphics in Engineering Education”. In : *Biannual Conference of the European Association of Research on Learning and Instruction (EARLI)*. Tampere, Finland, 2017.
- [C10] Fatima ABOU EDDAHAB, Guy PRUDHOMME, Cédric MASCLET, Kristine LUND et Jean-François BOUJUT. “Argumentation Analysis in an Upstream Phase of an Innovation Project”. In : *20th Internationale Conference on Engineering Design ICED 15*. T. 3. Design Organisation and Management. Milano, Italy : Politecnico di Milano, Politecnico di Torino and the Design Society, juill. 2015, p. 407.
- [C11] Céline COUTRIX et Cédric MASCLET. “Shape-Change for Zoomable TUIs : Opportunities and Limits of a Resizable Slider”. In : *15th Human-Computer Interaction (INTERACT)*. Sous la dir. de Julio ABASCAL, Simone BARBOSA, Mirko FETTER, Tom GROSS, Philippe PALANQUE et Marco WINCKLER. T. LNCS-9296. Human-Computer Interaction – INTERACT 2015. Bamberg, Germany : Springer, sept. 2015, p. 349-366. DOI : [10.1007/978-3-319-22701-6\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22701-6_27).
- [C12] **Olga KASATKINA**, Erica DE VRIES, Cédric MASCLET et Jean-François BOUJUT. “Modulation of Ambiguity, a Cognitive Function of Representations during Idea Generation”. In : *20th Internationale Conference on Engineering Design ICED 15*. T. 8. Innovation and Creativity. Milano, Italy, août 2015, p. 339.
- [C13] Robert IACOB, Diana POPESCU, Frédéric NOËL, Thibault LOUIS, Cédric MASCLET et Patrick MAIGROT. “Haptic Devices Evaluation for Industrial Use”. In : *EURO-VR 2014*. Bremen, Germany : EURO-VR, déc. 2014.
- [C14] **Olga KASATKINA**, Erica VRIES (DE), Cédric MASCLET et Jean-François BOUJUT. “Identifying Dimensions of Socio-Technical Tools for Innovative Design and Engineering Education”. In : *EARLI SIG 2 Comprehension of Text and Graphics Meeting*. Rotterdam, Netherlands, 2014.
- [C15] Ettore LANZARONE, Cédric MASCLET et Frédéric NOËL. “Qualitative Assessment of a Collaborative Multi-User Tool for Enhancing the Daily Replanning and Control of Visits in Home Care Services”. In : *CogInfoCom*. Vittré, Italy, nov. 2014.
- [C16] Etorre LANZARONE, Cédric MASCLET et Frédéric NOËL. “Agility in Home-Care Replanning through Co-Operation with Graphical Metaphors.” In : *JVRC*. Paris, France, déc. 2013, p. 2.

- [C17] Etorre LANZARONE, Cédric MASCLET et Frédéric NOËL. “Collaboration Enhancement through Tangible Metaphores : Application to Home Care Rescheduling”. In : *CogInfoComm2013*. Budapest, Hungary, déc. 2013, p. 5.
- [C18] **Samira SADEGHI**, Cédric MASCLET et Frédéric NOËL. “Gathering Alternative Solutions for New Requirements in Manufacturing Company : Collaborative Process with Data Visualization and Interaction Support”. In : *45th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2012*. T. 3. Athens, Greece, 2012, p. 465-470. DOI : [10.1016/j.procir.2012.07.080](https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.080).
- [C19] **Samira SADEGHI**, Cédric MASCLET et Frédéric NOËL. “Visual and Interactive Tool for Product Development Process Enhancement : Towards Intuitive Support of Co-Located Project Review”. In : *9th International Conference on Product Lifecycle Management (PLM)*. Sous la dir. de Louis RIVEST, Abdelaziz BOURAS et Borhen LOUHICHI. T. AICT-388. Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises. Montreal, QC, Canada : Springer Berlin Heidelberg, juill. 2012, p. 213-225. DOI : [10.1007/978-3-642-35758-9\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35758-9_19).
- [C20] **Samira SADEGHI**, Frédéric NOËL et Cédric MASCLET. “A Procedure to Ease Usage of VR Technology for Enhancing Product Lifecycle Management Vision”. In : *8th International Conference on Product Lifecycle Management (PLM11)*. Eindhoven, Netherlands, juill. 2011, accepted.
- [C21] Wessel WITS, Frederic NOEL et Cédric MASCLET. “Exploring the Potential of 3D Visualization Techniques for Usage in Collaborative Design”. In : 21st CIRP Design Conference. Daejeon, Korea, mars 2011.
- [C22] Erica DE VRIES et Cédric MASCLET. “Shared Representations : Dyadic and Triadic Perspectives in Work and Training”. In : *Coop'10*. Sous la dir. de Gunnar STEVENS. T. 7. 1. Aix en Provence, France, mai 2010, p. 253-263.
- [C23] Cédric MASCLET et Jean-François BOUJUT. “Using Situated FBS to Model Design Interactions in a Distant Synchronous Collaborative Situation”. In : *11th Internationale Design Conference*. Sous la dir. de Marjanović D, Štorga M, Pavković N et Bojčetić N. Dubrovnik, Croatia, mai 2010, p. 1585-1594.
- [C24] Cédric MASCLET, Frédéric NOËL, Guillaume THOMANN et François VILLENEUVE. “An Instrumented Process to Support User-Centred Design”. In : *7th International Conference on Product Lifecycle Management*. Bremen, Germany, juill. 2010, p. xx.
- [C25] Guy PRUDHOMME, Philippe R. MARIN et Cédric MASCLET. “An Annotation Tool to Ease Interactions and Design Decisions Making Report in Project Review Context”. In : *Global Congress on Manufacturing and Management 2010*. Sous la dir. de Suthep BUTDEE, Tamsiri SAPSAMAN et Prasad KDV YARLAGADDA. Bangkok, Thailand, nov. 2010, p. 62-71.

- [C26] Jean-Claude LÉON, Hsu FAN, Chao-Yaug LIAO, Cédric MASCLÉ, Michel BOURIAU, Patrice L. BALDECK et Tien-Tung CHUNG. “2D/3D Spiral Hatching Generation and Surface Roughness Observation in TPP Micro-Fabrication”. In : *IDMME - Virtual Concept 2008*. Pékin, China, oct. 2008, CD-Rom.
- [C27] Jean-Claude LÉON, **Chao-Yaug LIAO**, Cédric MASCLÉ, Michel BOURIAU, Patrice L. BALDECK et Tien-Tung CHUNG. “Laser Beam Trajectory Generation for Micro-Manufacturing with a Two Photon Polymerisation Technique”. In : *ASME DETC Conference 2008*. New-York, United States, août 2008, CD-Rom.
- [C28] **Chao-Yaug LIAO**, Jean-Claude LÉON, Cédric MASCLÉ, Michel BOURIAU, Patrice L. BALDECK et Tien-Tung CHUNG. “Laser Beam Trajectory Generation for Micro-Manufacturing with a Two-Photon Polymerization Technique”. In : *International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*. New York, United States, août 2008, p. 1-10.
- [C29] Cédric MASCLÉ. “From Board to Screen : Initiation of Engineers into Collaborative Design”. In : *Learning with Games 2007*. Sous la dir. de Marco Taisch & Jacopo CASSINA. Cdrom. Nice, France, sept. 2007, p. 569-576.
- [C30] **Matthieu MUSEAU**, Arnaud DE GRAVE, Cédric MASCLÉ et Henri PARIS. “A Product-Model Suitable for Microproducts Specificities”. In : *9th International Conference on Management of Innovative Technologies, MIT' 2007*. Fiesca, Slovenia, oct. 2007, p. CD.
- [C31] Oki BLATNIK et al. “Characteristics of MEDM Electrodes Made with Water Jet Machining”. In : *The 4M 2006 Conference*. Grenoble, France, sept. 2006, CD-ROM.
- [C32] B. JURISEVIC et al. “Water Jet Based Tooling Strategies for Micro Production”. In : *4M Metal Processing and Metrology*. Sous la dir. de T. SZALAY. Budapest, Hungary, mars 2006, p. 27-33.
- [C33] Philippe R. MARIN, El-Hadi MECHEKOUR et Cédric MASCLÉ. “Which Tool to Better Support Collaborative Design ?” In : *IDMME*. Grenoble, France, mai 2006, CD-ROM.
- [C34] **Matthieu MUSEAU**, Cédric MASCLÉ et Serge TICHKIEWITCH. “MEMS Design Process : Aiming at Manufacturability”. In : *IDMME 2006*. Sous la dir. d'ed. S. TICHKIEWITCH & M. TOLLENAERE. Grenoble, France, 2006, ISBN : 2-9523979-1-.
- [C35] **Matthieu MUSEAU** et Cédric MASCLÉ. “Integrated Design of MEMS : Designing Manufacturable Products”. In : *MIT'05, 8th International Conference on Management of Innovative Technologies ; Org. Laboratory for Alternative Technologies*. Sous la dir. de M. JUNKAR et P. Levy ED. Fiesca, Slovenia, sept. 2005.

## Communications dans des congrès nationaux à comité de lecture et actes publiés

- [D1] Jasmine MAZUDIE, Cédric MASCLET et Jean-François BOUJUT. “Freins et Opportunités à La Réparation Dans Les Repair Cafés : Pour Une Transition Vers Des Produits plus Responsables”. In : Colloque National S.Mart. Carry Le Rouet / France, 4-6 avr. 2023.
- [D2] **Maud POULIN**, Jean-François BOUJUT et Cédric MASCLET. “Analyse de l’activité de Co-Conception : Influence d’un Artefact Mixte et Contribution de La Fonction Gestuelle Dans Un Environnement de Réalité Augmentée Spatiale”. In : *Doctoriales EPIQUE 2019*. Lyon, France, juin 2019.
- [D3] Fatma BEN GUEFRACHE, Niccolo BECATTINI, Cédric MASCLET et Guy PRUDHOMME. “Multi-Modal Interactions Analysis to Characterise Co-Creative Design Session”. In : *15e Colloque National AIP-Priméca*. La Plagne, France, avr. 2017.
- [D4] Fatima ABOU EDDAHAB, Guy PRUDHOMME, Cédric MASCLET, Kristine LUND et Jean-François BOUJUT. “Analysing the Argumentation in an Upstream Phase of an Innovation Project”. In : *Conférence Internationale à La 14ème Colloque National Produits, Procédés, Systèmes Intelligent et Durable*. La Plagne, France, mars 2015.
- [D5] Théo CHARBONNEL, Cédric MASCLET et Guillaume MANDIL. “Etude Des Représentations Des Résultats d’ACV Dans Les Phases Critiques d’interaction”. In : *14ème Colloque National AIP-Primeca*. 14ème Colloque National AIP-Primeca. La Plagne, France, mars 2015.
- [D6] **Olga KASATKINA**, Erica DE VRIES, Cédric MASCLET et Jean-François BOUJUT. “Fonctions Cognitives Des Représentations Mobilisées En Séance de Créativité”. In : *14ème Colloque National AIP-Primeca*. 14ème Colloque National AIP-Primeca. La Plagne, France, mars 2015.
- [D7] Cécile TRIVERY, Cédric MASCLET et Jean-François BOUJUT. “Analyse d’un Dispositif de Type Fab-Lab Dans Un Contexte Industriel”. In : *14e Colloque National AIP-Priméca*. La Plagne, France, mars 2015.
- [D8] **Matthieu MUSEAU**, Cédric MASCLET et Henri PARIS. “Vers Un Modèle Produit Pour La Conception Des MEMS”. In : *10ème Colloque National AIP PRIMECA*. La Plagne, France, avr. 2007, CD-ROM.

## Autres productions scientifiques : développements logiciels

- e-MediatE. Plateforme de collaboration multiutilisateurs distants basée sur le jeu sérieux DeltaDesign. Codé en Java, il fonctionne sur une architecture client serveur via le système RMI. L’outil est instrumenté pour conserver l’intégralité des traces générées par les utili-

- sateurs. Actuellement déployé en enseignement via la plateforme TRICHOLOME du centre System.Manufacturing.Academics.Ressources.Technologies ([S.mart](#)) GRENOBLE ALPES.
- DeltaDesign multitouch. Codé en TCL-TK sur la base du [toolkit GIL](#) du LIG, il implémente également le jeu DeltaDesign en mode multiutilisateurs co-localisés sur la Diamond-Touch.
  - Observer. Outils de capture d'évènements destiné au chercheur en situation d'observation in-vivo. Fonctionnant sur tablette et téléphone portable, il permet de coder en temps réel les observations selon une grille d'analyse pré-définie. L'application est codée en Python et tourne sur tous OS standard avec le framework [Kivy](#).

### 3. Perspectives de recherche

Les défis annoncés pour la prochaine décennie sont nombreux et immenses. Ils interrogent l'état de nos sociétés, à l'échelle mondiale, et mettent la communauté scientifique à l'épreuve. La France a intégré les objectifs de développement durable de l'ONU dans son Agenda 2030<sup>1</sup> auquel se conforme l'ANR. La commission européenne en a fait de même et consacre une partie de son budget R&I aux changements climatiques. Elle promeut la volonté d'une transition écologique et numérique sans négliger la capacité d'innovation et la compétitivité de ses entreprises [6]. Plus que jamais, nous sommes enjointes à innover pour répondre à un besoin de résilience de nos sociétés.

Après des années de confiance candide dans le progrès technique, ce dernier est désormais accusé des plus grands maux. Toute innovation, particulièrement dans le domaine des nouvelles technologies<sup>2</sup>, ne peut désormais échapper à une certaine défiance (une technocritique à laquelle souhaite répondre une forme de techno-discernement [14]). L'acceptabilité sociétale (des technologies), champs relativement récent des sciences humaines et sociales, est devenue un élément incontournable du développement de nouvelles solutions socio-techniques. De multiples initiatives telles que [4] appellent le citoyen à se réappropriier la technique et notamment ses outils de production dans une perspective écologique. Dans ce domaine, on voit émerger actuellement une tendance au développement d'une ingénierie frugale. L'inclusion du citoyen-usager dans le processus de conception semble pouvoir répondre aux deux objectifs. Mais de quelle inclusion parle-t-on ? La conception participative, en tant qu'avatar déjà ancien de la conception collaborative, se fonde notamment sur un processus d'apprentissage réciproque [10] devant aboutir à une meilleure compréhension mutuelle des situations d'usage et des moyens techniques pour satisfaire les besoins. Poussée par les sciences sociales, elle a été massivement mobilisée dans les domaines du numérique, de l'environnement et de l'aménagement du territoire, ou encore de la santé. Elle apparaît également en ingénierie de biens de consommation, dans une moindre mesure. Plus que toute autre méthode de conception collaborative, elle suggère l'implication *directe* de l'utilisateur à toutes les étapes du processus de conception, voire de la durée de vie du produit. Certaines caractéristiques du projet de conception (durée de vie du produit, risque associé, taille du public concerné, type de connaissances requises. . . ) ont été identifiées comme facteurs pouvant justifier cette forme de conception [8]. Si les auteurs concédaient dès 1996 que seuls certains projets, marqués par de gros investissements sur des durées de vie longues telles que l'aménagement urbain et l'architecture, présentaient une réelle opportunité pour la conception

---

1. <https://www.agenda-2030.fr/>

2. souvent assimilées aux NTIC

participative, les enjeux actuels méritent de réviser cette position. L'allongement de la durée de vie des produits, ainsi qu'une demande accrue d'acceptabilité plaident en faveur d'une plus large ouverture de la communauté de conception. Néanmoins, ces approches de conception, et plus généralement les approches d'open design, présentent des risques d'échec et ne peuvent prétendre devenir la panacée des approches en conception [2]. L'une des difficultés invoquée est le décalage épistémique entre les usagers et les concepteurs. Le manque de connaissances techniques est un frein à l'investissement des usagers, et cela peut remettre en cause l'aspiration à faire de l'utilisateur un *co-designer*. Par conséquent, les représentations externes et notamment les prototypes physiques peuvent jouer un rôle essentiel dans la capacité à associer l'utilisateur dans les diverses phases du processus en comblant ce fossé épistémique et en favorisant une certaine forme d'acculturation technologique.

L'exposé (chapitre 2) des travaux réalisés jusqu'à présent a montré un glissement progressif d'une problématique de conception collaborative entre professionnels, experts d'une discipline ou d'un domaine, à un élargissement du cercle des acteurs via des démarches de co-conception et co-créativité. Nous avons évoqué l'incidence de ces représentations sur les artefacts mobilisés et les interfaces de manipulation. La prochaine étape m'apparaît donc logiquement structurée autour des formes émergentes (notion toute relative, j'en conviens) de collaboration en conception que je souhaite aborder. Certaines de ces formes de collaboration existent et ont été documentées depuis plusieurs décennies. En revanche, leur montée en popularité est récente et les TIC ont donné un nouvel élan à ces modes de partenariat. J'entends donc développer mon activité autour de ces nouvelles formes de collaboration en (re)questionnant le rôle des représentations partagées de l'ingénierie dans un cercle d'acteurs élargi aux *profanes*.

Pour cela, j'identifie une structuration de mon travail que je présente selon deux axes complémentaires. Le premier axe s'intéresse aux conditions de la participation active de l'utilisateur (et citoyen) à la définition des systèmes techniques dont il use. Les initiatives *grassroot* de conception dont l'essor depuis quelques années est incontestable : crowd sourcing, open design, living labs... constituent un terrain d'étude pertinent. L'une des hypothèses serait que, au regard des choix de société, « la société et ses représentants [aient] la maîtrise du cadre d'interprétation du problème ». Un mouvement focalise particulièrement notre attention : le low tech<sup>3</sup>. En pleine croissance sur le plan de la pratique comme sur le plan de la recherche, le mouvement low tech constituera un terrain d'étude particulier dans une perspective à moyen terme. Le second axe sera dédié à la spécification d'environnements de collaboration adaptés aux représentations d'ingénieries destinées à une communauté élargie de concepteurs et supportant les interactions que ces représentations suscitent ou nécessitent. Je m'intéresserai particulièrement au rôle du prototype, virtuel ou tangible, dans les activités de collaboration synchrones.

---

3. J'adopterai par la suite cette orthographe, empruntée à l'ouvrage de P. Bihouix, en attente de stabilisation du terme.

### 3.1. La low tech comme laboratoire d'une conception participative.

L'avènement de nouvelles formes de processus de développement de produit conduit à se (re)poser la question du statut de concepteur. La réponse est forcément complexe, mais le rôle social que le concepteur joue dans l'objectif de produire des changements à grande échelle est remis en avant par les nouvelles formes de conception telles que le *transition design* [13].

On observe aujourd'hui un fort engouement pour les low tech, un arbre qui cache une forêt de courants relativement récents : slow tech (pour le moment cantonné aux TIC), mid tech, right tech, green tech, wild tech, toutes plus ou moins apparentées à la notion de technologie appropriée... Ces néologismes couvrent une large gamme de pensée qui s'étend de la simple réflexion sur la nature des technologies employées à une refonte complète de nos modèles de sociétés technicisées. Ces mouvements émergent dans des écosystèmes particuliers, motivés par une volonté d'émancipation vis-à-vis du modèle consumériste prédominant<sup>4</sup> et alimentés par une littérature souvent issue du domaine des SHS. La low tech porte une notion de valeurs qui tend à primer sur la notion de technicité. On constate d'ailleurs une dichotomie entre le discours porté sur le mouvement (technologue) et les réalisations concrètes (techniciennes). La low tech ne se définit pas tant sur des critères techniques, comme son nom pourrait le laisser penser, que sur un projet politique et sociétal qui justifierait les moyens et démarches mis en œuvre. Certains auteurs préfèrent d'ailleurs employer le vocable *lower tech* afin d'appuyer la toute relative des vertus de sa production au regard d'autres formes de productions techniques...

Tout ceci nous amène à nous interroger sur l'évolution de nos systèmes de production de biens et particulièrement de la façon dont ils seront conçus. Je ne souhaite pas aborder les low tech comme objet de recherche en tant que tel, mais plutôt comme moyen de réappropriation des systèmes techniques par le citoyen. Parmi les valeurs en cours de stabilisation portées par la low tech, les notions d'accessibilité et d'autonomie m'intéressent particulièrement. De nombreuses hypothèses sont faites autour d'une meilleure gestion du cycle de vie de l'objet (ou du système) par le simple fait que l'utilisateur en serait également le concepteur, le fabricant, le mainteneur et finalement le recycleur. On évoque également la durabilité des savoirs liée à la trace laissée par les artefacts *et* incarnée par les acteurs, potentiel remède à la disparition des savoirs techniques si souvent constatée dans nos organisations industrielles.

Je propose donc un plan de travail en trois étapes afin de définir un cadre de référence du mouvement low tech, identifier les spécificités du processus de conception low tech et enfin interroger les conditions de la réparabilité amateur.

---

4. La découverte par le grand public de l'obsolescence programmée a probablement été un des éléments précurseurs de cette prise de conscience.

## Définition d'un cadre de référence.

Les réalisations low tech ne bénéficient pas encore de critères d'identification clairs. Un certain nombre d'acteurs craignent que ce terme ne vienne enrichir le discours d'une écologie de façade<sup>5</sup>. Il est donc essentiel de caractériser ce mouvement dans ce qu'il est et ce qu'il produit, en définissant un jeu d'indicateurs. Pour cela, nous avons déposé un projet recherche-action sur 2 ans<sup>6</sup>, en collaboration avec l'institut FAYOL de l'école des mines de ST ÉTIENNE et une association œuvrant pour les low tech. Nous emploierons une approche croisée qui alliera construction théorique et observation des pratiques. La partie théorique sera basée sur une analyse de la littérature afin d'extraire des principes de l'ensemble des valeurs reconnues par les divers auteurs. Cette approche théorique sera remise en perspective des courants écologistes (dans leur dimensions philosophiques et politiques) antérieurs dans le but d'en dégager les invariants. Cette dimension politique revient souvent dans le discours low tech, et elle me semble indispensable dès lors que l'on aborde les *transitions*. En effet, comment pourrait-on construire ces transitions, caractéristiques d'un passage d'un état à un autre, sans objectif ou horizon formalisé que se devrait de porter un projet politique ? Cette partie est en phase avec les travaux de doctorat de M. GAULTIER visant, dans un premier temps, à recenser et proposer une organisation des valeurs supposées de la low tech. En complément de cette caractérisation théorique, nous développerons une analyse de terrain auprès de tous les acteurs impliqués dans des projets concrets de développement de low tech. Cette approche pragmatique rendra compte des pratiques et motivations objectivées par les acteurs et de leur niveau de conscience des valeurs énoncées via le travail théorique. La mise en relation d'observables (du processus, de ses acteurs et du produit) et d'indicateurs relatifs aux principes aboutira à un corpus d'indicateurs dont l'échelonnement selon un cadre de référence contribuera à qualifier cette production. Le projet aboutira à la création d'un outil public évaluatif de démarches low tech qui sera mis à disposition de la communauté. Cet outil couvrira l'ensemble des critères du référentiel et devra s'adapter à tous les acteurs de la démarche : usager, artisan, organismes de certification... L'intérêt d'une telle démarche n'est pas seulement de formaliser les caractéristiques d'une démarche low tech, puisque le référentiel pourrait servir de cadre d'évaluation à n'importe quel type de démarche de production. Nous souhaitons également illustrer la complexité de ces projets en permettant aux acteurs de visualiser les relations entre les principes et l'adéquation des choix (techniques notamment) sur le respect de ces principes. Ceci constituera une première forme de représentations des systèmes techniques aux acteurs profanes.

## Le processus de conception low tech est-il si différent des processus traditionnels ?

La plupart des démarches traditionnelles de conception tendent à modéliser l'utilisateur (et/ou le client) d'un système technique afin d'en comprendre les besoins ou les désirs. L'intégration de ce dernier dans le processus de conception a pour objectif de profiter de l'incarnation de cette

---

5. ecoblanchiment ou greenwashing

6. [Appel à projets Science avec et pour la société - Ambitions innovantes](#)

information. Elle peut également s'appuyer sur le postulat que la participation de l'utilisateur à la conception et la réalisation de l'artefact faciliterait la genèse instrumentale. Cela ne choque plus personne d'avoir à assembler son meuble ou son outillage d'atelier une fois l'achat réalisé, c'est-à-dire en dehors de la transaction commerciale. Je fais l'hypothèse, comme d'autres auteurs avant moi, que la connaissance construite par une participation active aura une influence sur les modes d'usage de l'objet et sur la capacité de l'utilisateur à en optimiser la durée de vie voire anticiper sa désadoption<sup>7</sup>. L'autre motivation souvent évoquée à l'intégration de l'utilisateur dans la phase de conception est de jouer sur la dynamique de co-évolution problème-solution du système technique en cours de définition en basculant sur une organisation plus opportuniste.

Assimilée très régulièrement à du bricolage et du DIY, la conception de systèmes low tech répond néanmoins à des logiques similaires aux formes de conception plus conventionnelles : cadre aspiratif du besoin, prise en compte des ressources disponibles, compétences mobilisables et font parfois preuve d'ingéniosité... Le cadre normatif marque cependant une singularité par rapports aux productions manufacturières et la dimension réglementaire est peu abordée. Des exceptions existent toutefois, comme par exemple dans le cadre déclaratif de la construction amateur d'ULM ou l'assemblage et la maintenance d'aéronefs disposant d'un dossier technique. L'hypothèse implicite des pouvoirs publics est qu'une meilleure connaissance de l'objet en rend son usage plus sûr (et son exploitant responsable).

Il apparaît légitime de s'interroger sur le rôle que doit pouvoir jouer l'utilisateur dans un processus de conception et de réalisation pensé pour la low tech. Je formule donc un processus en 3 étapes.

La première étape vise à modéliser finement des processus authentiques de démarches low tech afin d'en extraire d'éventuels dénominateurs communs et de caractériser une ou plusieurs *méthodes* propres à ce milieu, voire des « chaînes opératoires » qu'évoquent les essais sur la *bricolologie* [9]. Cette étude devra se faire en immersion, par une démarche de recherche-action, dans des structures se revendiquant du low tech ou arborant tout ou partie de ses valeurs. Le low tech lab est un point d'entrée incontournable, mais des associations comme APALA, les Ateliers paysans ou une des nombreuses start-up française proposant des produits low tech dans le domaine des transports, de l'habitat ou de l'alimentation. Nous nous baserons sur les typologies d'activités existantes afin de décrire les processus mis en œuvre. Nous scruterons particulièrement le *rôle des acteurs* dans un processus de conception collaborative. En effet, la concentration de multiples métiers sur quelques individus<sup>8</sup> ouvre des perspectives intéressantes, notamment sur le plan cognitif et la construction d'une mémoire de groupe. Elle interroge également sur les stratégies de résolution des contraintes techniques dans le cas d'expertises singulières.

La seconde étape vise à identifier les systèmes de connaissances et compétences mobilisés dans les démarches low tech. Ce point est en effet un élément discriminant lorsqu'on évoque l'industrie low tech dont l'OCDE donne une définition [5] relativement vague en se concentrant essentiellement sur la part de R&D dans l'activité de l'entreprise, supposée faible dans celle du secteur low tech. Nous déterminerons si les limitations de savoir (connaissances scientifiques et

---

7. Étude en cours sur la désadoption dans le cadre du master de Mme SOUCIEUX (cf. p. 54)

8. J'écarte volontairement l'image mythique de l'inventeur solitaire peu représentatif du contexte actuel

techniques, ressources disponibles, savoir faire lacunaires) constituent des limites à la capacité d'innovation technique de ces mouvements. En partenariat avec les sciences de l'éducation, nous considérerons les curricula individuels comme variables indépendantes de notre problème. Une analyse de la constitution des artefacts, ainsi que celle des outils (au sens large) qui les ont produits constitueront les témoins de la matérialisation des compétences techniques des acteurs. Cette description sera complétée par un recensement des dépendances aux sources de savoir (institutionnalisés ou empiriques) externes aux communautés. Sans parler de capacité d'absorption de ces milieux, nous nous intéresserons toutefois aux modalités d'intégration de principes techniques ou physiques récents et/ou d'appropriation moins aisée, donc moins *accessibles*.

Nous pourrions alors aborder la troisième étape consistant à proposer un modèle de collaboration propre au mouvement low tech et respectueux des valeurs identifiées dans le cadre de référence. Ce modèle constituera une cartographie des relations profitables entre acteurs de statuts. Ainsi, nous serons capables de qualifier la compatibilité de ces pratiques de conception avec les systèmes de production plus conventionnels (de l'industrie lourde à l'entreprise artisanale) et émergents (fab lab, makerspace ou micro-usines). L'idée sera de rendre possible le dépassement des limites rencontrées par les acteurs du low tech en identifiant les hybridations potentielles de leur démarche avec des acteurs relevant d'autres modèles technico-économiques.

### **La réparation amateur comme levier de durabilité.**

La réparation, que l'on espère toujours facultative dans le cycle de vie d'un objet, est une phase cruciale car elle confronte les conséquences de l'intention (le design au sens du dessein) et de la trajectoire effective de l'objet, i.e. sa mise en usage. La multiplicité des acteurs dont l'intérêt converge dans cette phase rehausse la nécessité de collaborer. Le fabricant, le réparateur, l'utilisateur, lorsqu'ils ne sont pas une seule et même personne, détiennent chacun une partie de l'information nécessaire au succès de la réparation. De plus, elle questionne la connaissance de l'objet par l'utilisateur et sa capacité à diagnostiquer une panne, activité cognitive dont la charge devrait être proportionnelle à la complexité du produit. Un premier travail exploratoire mené par Mme MAZUDIE au cours de son master [C1, D1] a confirmé que les biens durables<sup>9</sup> conçus industriellement ne favorisaient pas la réparation par le réparateur amateur. Cette dernière dépend directement des connaissances du fonctionnement interne du système, généralement inaccessible à l'utilisateur lambda. C'est pourquoi, la documentation joue souvent un rôle primordial dans le succès de cette étape. L'objectif que je vise sur cette recherche est la compréhension des stratégies de réparation par les usagers afin de les anticiper dès la conception. Par réparation, nous engloberons indistinctement les opérations de jouvence de l'objet (hors maintenance régulière et prévue) et les opérations curatives. Le principe retenu sera une étude comparative des pratiques de réparateurs amateurs. Nous distinguerons les publics selon leur degré d'implication dans le processus de production de l'objet : concepteur, réalisateur ou simple usager. En filigrane, on devine la notion de genèse instrumentale ([7]) et l'influence qu'elle peut avoir sur

---

9. selon la nomenclature de l'INSEE, communément admis comme ayant une durée de vie supérieure à 3 ans

la capacité de l'utilisateur à prendre soin de l'artefact. Deux activités fortement liées seront scrutées : le démontage, et l'élaboration d'un diagnostic. Avec chacun des publics, nous mesurerons la prépondérance de la documentation dans l'élaboration des stratégies déployées. De ces documentations, nous analyserons les représentations de l'objet lui-même, comme représentation manifeste de sa constitution (organique) et de son fonctionnement. Il sera ainsi possible d'identifier les principes techniques qui favorisent le diagnostic et le démontage, comme la visibilité des composants, la sérigraphie, l'auto-diagnostic, les indices visuels ou olfactifs d'usure ou de détérioration... autant d'éléments souvent écartés par les concepteurs pour de multiples raisons esthétiques, économiques ou pratiques. Un partenariat avec des collègues ergonomes me semble indispensable à ce stade de définition du projet.

- Les simples usagers seront recrutés auprès du réseau des repair café et d'un dispositif universitaire en cours de création. En 2017, j'ai initié un projet d'ouverture d'un tiers lieu universitaire consacré à la réparation d'objets du quotidien (mis en suspens lors de la crise Covid). Fondé sur les préceptes des repair café et intégrant une dimension sociale d'entraide entre étudiants, ce dispositif a une visée hautement pédagogique et se revendique du *faire pour apprendre* en développant chez l'apprenant une analyse critique des dispositions constructives des systèmes réparés. Il doit permettre de nouvelles modalités d'accès à une culture technique aux étudiants de diverses disciplines techniques de la faculté des sciences de l'UGA.
- Les réalisateurs-usagers pourront être recrutés dans les mouvements low tech mais également auprès de fab lab. Parmi la communauté low tech, bon nombre d'acteurs relèvent d'une pratique du Do It Yourself. Au contact de sachants et/ou instruits par de la documentation, ils ne contribuent que marginalement à la conception en adaptant le système technique et sa réalisation à leurs propres contraintes (que je qualifierais de contingences « locales »). Ce que nous tenterons de comprendre dans ce volet, c'est l'impact que peut avoir le fait d'avoir fabriqué soi-même le système que l'on souhaite réparer. Il sera indispensable de définir une taxonomie des connaissances afférentes à la constitution et au fonctionnement du système technique afin d'identifier les compétences qui relèvent essentiellement de cette pratique de *fabricant*<sup>10</sup>. En effet, nous faisons l'hypothèse que les connaissances liées à la réalisation du système (structure du système, outillage, gamme d'assemblage...) devraient faciliter une conduite ordonnée et réfléchie du démontage. Quant au diagnostic, nous pouvons également faire l'hypothèse que ces mêmes connaissances, associées à l'expérience d'usage du système, aboutiront à des diagnostics plus rapides et plus sûrs que ceux des usagers non concepteurs.
- Les concepteurs-réalisateurs-usagers seront recrutés auprès d'associations low tech. Nous nous attendons à ce que les stratégies de démontage et de diagnostic soit plus directes et mieux structurées. L'initiateur du projet, que l'on pourrait abusivement qualifier de *concepteur zéro*, possède vraisemblablement une meilleure connaissance des principes de fonction-

---

10. cette expression englobe également les simples opérations d'assemblage ou de construction.

nement du système. Auprès de ce public très particulier (et finalement peu nombreux), nous nous attacherons à recenser les éventuelles dispositions prises lors de la conception pour anticiper les opérations de réparation.

La collecte des données sera faite à partir d'interviews menées auprès des publics, ainsi que l'observation de session de démontages conduites selon la modalité de la pensée à voix haute <sup>11</sup>. Bien que lourde à mettre en œuvre, cette méthode me semble être la seule à pouvoir retracer fidèlement les errements et bifurcation du processus de démontage et de diagnostique que nous tenterons de rattacher à des indices visuels, issus de l'objet ou de la documentation, ou à des réminiscences. Bien entendu, ces analyses seront complétées par une caractérisation technique des objets concernés. Ce dernier point est essentiel pour pouvoir catégoriser les stratégies que nous formaliserons.

L'ensemble de ces analyses devrait nous permettre de mieux comprendre l'influence de la participation de l'utilisateur au processus de production sur sa capacité à réparer un système technique. Ainsi, nous serons en mesure de formuler des préconisations, à l'adresse des collectifs de conception ouverte, sur la façon d'impliquer l'utilisateur dans la conception des systèmes (idéalement), mais aussi plus modestement sur l'intérêt de déléguer à l'utilisateur tout ou partie de la réalisation de ces systèmes. Sur ce dernier points, nous souhaitons mettre à l'épreuve ces préconisations avec un partenaire industriel en adaptant la conception d'un de ses produits pour favoriser la contribution de l'utilisateur à cette réalisation. D'autres questions seront alors soulevées telles que la responsabilité partagée de la réalisation qui nécessiteront d'associer d'autres disciplines afin d'élaborer de nouveaux modèles économiques et juridiques. Le choix du (ou des) système(s) technique(s) sera lié au partenaire industriel que j'impliquerai dans un programme de type Projet de Recherche Collaborative - Entreprise (PRCE).

## 3.2. Des environnements collaboratifs pour une conception ouverte.

L'offre d'environnements de travail collaboratifs à finalités professionnelles (CSCW) est conséquente et de nombreux facteurs ont poussé au développement de solutions à finalités professionnelles : multiplicité des expertises liée à la complexité des projets, travail distribué, entreprise étendue, mondialisation des marchés. . . Ils mobilisent des solutions techniques assurant des fonctions de communication, de coordination, de coopération, de documentation ou encore de prise de décisions. L'ergonomie de leurs interfaces et le choix des métaphores d'interactions, dans le cas d'environnements collaboratifs virtuels, ont fait l'objet de nombreux travaux. Les techniques de réalité virtuelle et de réalité augmentée sont souvent évoquées comme solution à l'inclusion d'utilisateurs finaux dans le processus de conception. Ne négligeons pas la réalité mixte qui, en quête de définition consensuelle [12], présente un intérêt pour notre problématique d'inclusion

---

11. Think aloud protocol

de l'utilisateur, de par ses caractéristiques d'alignement entre mondes virtuels et réels.

Les perspectives présentées ci-dessous s'intéressent aux techniques de visualisation et d'interaction aptes à satisfaire les besoins spécifiques d'une conception participative. Elles cadrent pleinement avec le Programme et Équipement Prioritaire de Recherche (**PEPR**) eNSEMBLE dédié au *futur de la collaboration numérique*. Nous abordons successivement la question du contrôle des objets mixtes par l'utilisateur puis l'intégration d'éléments du contexte d'usage dans une configuration SAR. Enfin, je présenterai deux pistes de travail autour de la plateforme e-mediate relatives aux représentations polymorphiques du produit en co-conception et à la divergence en co-créativité par la mémorisation des alternatives de conception.

### **Le prototype comme clé d'intégration de l'utilisateur.**

Les objets mixtes sont définis comme étant des artefacts physiques comportant une partie numérique. Le **SAR**, présenté p.42, exploité dans le projet **SPARK** est un exemple d'environnement de réalité augmentée instanciant ce concept d'objet mixte. À l'image de ce que procurent les environnements de réalité mixte ou augmentée, la tentation est grande de profiter de la complémentarité du virtuel et du réel pour couvrir respectivement les parts d'incertitude et de certitude du produit en cours de définition. Cette dualité virtuel/réel n'est pas sans rappeler la dualité *expected/structure* du modèle FBS, i.e. ce qui est attendu du produit, et ce qu'il est concrètement. Plus largement, tout produit en devenir est un artefact partiellement défini et devrait donc pouvoir s'accommoder d'une partie tangible et d'une partie versatile. Cette dernière, grâce à la rapidité du prototypage numérique, doit faciliter la dynamique créative et raccourcir les boucles de conception afin de converger plus rapidement vers des solutions acceptées. Il est fort probable que la mixité de ces objets soient à adapter, en fonction de la phase de développement du produit, selon le continuum réalité/virtualité de Milgram et Kishino ou de l'une de ses extensions [11].

La réalité virtuelle est mise à contribution pour impliquer l'utilisateur dans l'épreuve des produits en cours de développement, vérifier les modes d'interactions et éventuellement contribuer à orienter le design en faisant part de son expérience utilisateur. Cette implication reste limitée et ne satisfait pas aux attentes de la conception ouverte car elle cantonne l'utilisateur à un rôle d'évaluateur de la solution ou d'incarnation du besoin. Les capacités d'interaction actuelles de l'utilisateur avec l'objet sont du registre de la mise en usage, peu ou pas de la contribution à sa *définition*. On constate d'ailleurs que ces environnements ne sont pleinement efficaces que lorsque des représentations évoluées et réalistes du produit sont accessibles, soit dans des phases relativement avales du processus de conception. À l'opposé, les living labs favorisent l'immersion totale de l'ensemble des acteurs du projet dans un monde physique tangible, doté de prototypes plus ou moins fonctionnels qu'ils ont contribué à développer. La littérature leur associe trois grands principes [3] : l'ouverture, *l'empowerment* et le réalisme. Sans chercher l'exhaustivité dans le recensement des environnements de conception collaborative, nous pouvons néanmoins constater qu'il en existe une grande diversité répondant à des approches variées. J'ajouterais que

les représentations mobilisées dans de telles circonstances relèvent souvent du domaine de la solution, et peu du domaine du problème.

Mes projets sont donc les suivants.

1. Ce premier questionnement prolonge la question de la part que peut prendre l'utilisateur dans la conception active d'un système. Jusqu'à présent, le système SAR du projet SPARK était contrôlé par une tablette que le designer était seul à manipuler. Les modifications du modèle étaient le fruit d'un dialogue entre l'utilisateur et le designer, médié quasi-exclusivement par l'objet mixte. De ce fait, l'utilisateur n'avait pas le loisir de tester lui-même les alternatives ni même d'accéder visuellement à l'étendue des modifications possibles. Il émettait des souhaits et validait la matérialisation que le designer proposait selon sa propre interprétation. Fort des données collectées en situation d'usage du SAR, j'entamerai une nouvelle campagne d'observations à partir des scénarios déjà établis afin d'étudier l'intérêt d'une intervention directe de l'utilisateur dans le design de l'objet. Un travail d'adaptation de l'interface du logiciel de design (tablette) sera nécessaire afin d'adapter l'ergonomie à un non professionnel et par conséquent diminuer le temps d'apprentissage de l'interface. Le protocole d'observation sera identique, et nous concentrerons nos analyses sur le profil des activités cognitives afin d'évaluer la rapidité des prises de décision, l'évolution du volume des activités de justification et d'interprétation et leur poids chez chacun des acteurs, et l'éventuel renversement du ratio d'interventions client/designer. Le traçage des modifications au cours de la séance nous fournira les éléments nécessaires pour analyser la généalogie de la solution finale et évaluer le rôle de l'utilisateur dans cette genèse.
2. L'objet mixte représente la solution en cours de développement. Le contexte d'usage dispose de peu de possibilité de représentations et, lorsqu'elles sont proposées, elles sont relativement figées. Il serait pertinent de tester la mise en situation du produit dans un environnement plus ou moins fidèle au contexte réel d'usage. Nous souhaitons ainsi conserver les attraits de l'objet mixte déjà évoqués plus haut avec la souplesse d'une représentation des contextes d'usage rapidement interchangeable. Nous procéderons en combinant le SAR avec un mode de visualisation plus immersif offert par la plateforme Vision-R. Le mur d'images sera la technique la plus rapide à mettre en œuvre afin de matérialiser des contextes d'usages co-définis par l'utilisateur et le designer. Pour évaluer la pertinence d'une telle configuration, nous nous baserons sur une analyse du discours et des artefacts mobilisés. Nous pointerons particulièrement les références faites aux représentations du contexte d'usage pour comprendre dans quelles activités cognitives elles sont mobilisées. Nous souhaitons également savoir quel poids occupe le contexte d'usage dans ces phases avancées du processus de conception. À terme, j'envisage d'utiliser le cave nouvellement installé au laboratoire afin d'augmenter l'immersion des acteurs et en estimer les bénéfices sur la matérialisation du contexte d'usage.

## Approche expérimentale de collaboration multimétiers

La plateforme e-mediatE recèle encore un potentiel important en tant que support expérimental. Deux actions sont envisagées, que je présente ci-dessous, mais la première n'aura d'intérêt que si nous sommes à même d'intégrer un usager dans le jeu. Actuellement, ce rôle n'existe pas et la voix de l'utilisateur est portée par l'architecte. Le rôle de ce dernier est un peu à part des autres rôles car il ne présente pas (ou peu) de caractéristiques des métiers de l'ingénierie (aspects calculatoires en particulier). En tant que représentant des futurs usagers, il pèse essentiellement sur l'agencement des triangles afin de construire une maison présentant des espaces *fonctionnels* et une *esthétique* agréable. En revanche, en tant qu'acteur métier, il ne prête pas plus d'attention aux conséquences des autres métiers que ces derniers ne le font envers lui. Cette situation n'est pas satisfaisante car elle réduit le point de vue de l'utilisateur à la description des besoins qui en est faite à l'architecte, et à quelques paramètres techniques et physiques pour les autres métiers. Afin d'intégrer un acteur le plus fidèle possible au rôle de l'utilisateur, il est nécessaire de réviser préalablement à toute expérimentation les règles du jeu par un travail en collaboration avec des équipes telles que l'ILJ du laboratoire CÉDRIC, ou des collègues psychologues/sciences de l'éducation ainsi que des spécialistes de la maîtrise d'œuvre. Ces modifications auront pour but de nous assurer que l'utilisateur aura un intérêt à participer activement à la conception et aux inévitables arbitrages.

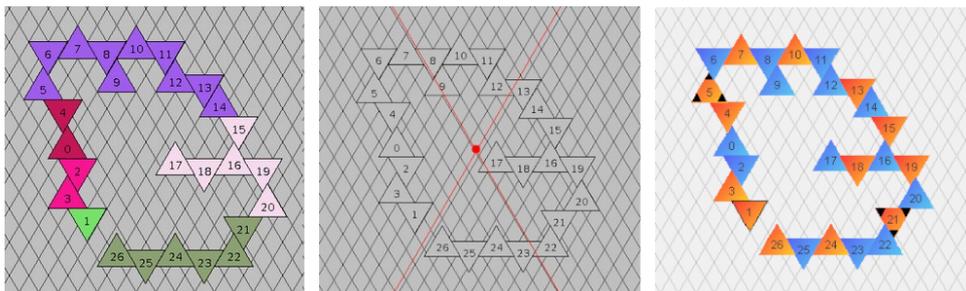


FIGURE 3.1. – différentes représentations métiers (représentation commune à droite)

1. La première étude portera donc sur la dynamique d'adaptation des représentations externes dans la recherche d'inclusion de l'utilisateur à l'activité de conception. Les objets manipulés par les *concepteurs* dans le jeu sont de simples triangles isocèles de couleur rouge ou bleue (cf. 20). Cependant, les concepteurs en déduisent bien plus d'information (longueur de contact, position du centre de gravité, groupements fonctionnels). L'information visuelle fournie est parfois inutile (la couleur pour l'ingénieur structure par exemple). La dualité entre la performance individuelle de chaque métier et la nécessité de partager les paramètres qui sont à la base des contraintes à partager entre les métiers est un moteur du jeu. Je souhaite introduire la capacité, pour chacun des acteurs, à faire évoluer ces représentations pour étudier leur utilisation. La figure 3.1 illustre deux représentations métiers possibles au côté de la représentation commune à tous les métiers (à droite). Il sera donc

nécessaire dans un premier temps de définir les métaphores visuelles susceptibles d'assurer au mieux, pour chacun des métiers, les fonctions cognitives d'objectivation et de computation (travail conjoint avec un ergonome). La mesure du temps d'usage et des moments de bascule d'une représentation sera tracée chronologiquement et corrélée avec les activités menées par les individus (analyse issue des échanges écrits via le chat). La fonctionnalité d'annotation fournira également de précieuses indications sur les parties de représentations mises en avant et nous informera sur d'éventuels manques dans la sémantique de la représentation. Nous recenserons également l'utilisation de ces représentations dans les phases d'échanges entre acteurs afin de savoir quelles types de représentations sont privilégiées dans la fonction cognitive de communication. À l'issue de cette phase, nous disposerons d'un ensemble d'associations entre les activités cognitives et les caractéristiques des formats de représentations privilégiés par les usagers. Nous nous interrogerons alors sur le degré de complexité des représentations qu'il convient de respecter afin d'établir un juste équilibre entre un dialogue argumenté entre experts et usagers, et le besoin de visualiser un maximum de paramètres lors de résolution de conflits.

2. La seconde étude, constitue une ouverture vers les phases créatives. Elle s'intéressera aux apports potentiels de la mémorisation des design alternatifs comme potentiel support à la divergence des processus créatifs. Pour être plus précis, je caractériserai l'emploi des capacités de sauvegarde (rendues possibles par la dimension numérique des contenus), sur les stratégies de conception de l'équipe. Cette question n'est pas spécifique à l'intégration de l'utilisateur dans une équipe plus experte, mais elle a du sens dans le cas d'équipes hétérogènes dont les acteurs ne progressent pas tous aussi vite dans leur expertise. Lors des séances de jeu, on constate que les équipes adoptent des stratégies hybrides entre le faire pour apprendre et l'apprentissage pour faire. Cela se traduit par une alternance de manipulations sur le plateau et de lecture des règles, ces dernières disparaissant progressivement au fur et à mesure que les acteurs progressent dans leur expertise. Dans ces phases d'apprentissage, la manipulation des deltas sert souvent à tester des design et à les évaluer, ou bien à communiquer visuellement les contraintes et agencements favorables à chacun des métiers. La lecture des règles vise à une intériorisation des outils, méthodes et configuration typiques de chacun des métiers. Au cours de la partie, les modifications du design s'amenuisent et on assiste à une forme d'innovation incrémentale. Le coût global d'une refonte totale du design est tel que les acteurs n'osent plus diverger au fur et à mesure que l'échéance approche. L'idée est donc de s'intéresser aux conséquences d'une fonctionnalité de sauvegarde des plateaux afin d'observer, sur un projet de complexité modeste, comment les acteurs en jouent. L'un des indicateurs clé de cette étude sera l'observation d'éventuelles réintroductions de solutions déjà présentées et discutées en groupe. La fonctionnalité de traçage des événements du logiciel nous permet dorénavant et déjà de suivre l'évolution du design, collectivement et par métier, et d'en rejouer l'action. Nous serons donc en mesure de repérer l'exploitation de la fonctionnalité sauvegarde/restitution. En sus, nous mesurerons

objectivement l'évolution du design grâce à une évaluation automatique (partiellement développée) du design par les différents critères métiers. Nous en tirerons des bonnes pratiques pour implémenter des mécanismes de sauvegarde totale ou partielle favorables à la divergence, synonyme d'une exploration plus riche de l'espace des solutions.

La collecte des données est fortement tributaire du nombre de parties potentiellement jouables en une année. Elle sera relativement limitée si nous nous contentons d'étudiants des formations grenobloises. Si cela ne pénalise pas la première étude qualitative, ce sera en revanche un obstacle pour développer une approche statistique dans le cadre de la seconde étude. Il est donc indispensable d'ouvrir plus largement la communauté de joueurs. C'est pourquoi, j'envisage une mise à disposition du logiciel à l'ensemble du milieu universitaire afin de collecter plus massivement les traces qui alimenteront notre étude. Le bon instrument pour pratiquer cette ouverture me semble être le GIS **S.mart** dont une partie de la communauté est déjà utilisatrice du Delta Design dans ses activités pédagogiques.

Le bilan de ces deux actions de recherche alimentera la connaissance sur les altérations utiles des représentations externes dans un cadre de conception ouverte. Il devrait également contribuer à révéler l'intérêt du numérique dans la facilitation d'une forme de divergence au cours du processus co-créatif.

### 3.3. Conclusion

Les perspectives énoncées précédemment combinent deux axes que j'estime complémentaires. Ils visent à redéfinir un cadre propre à intégrer au mieux l'utilisateur dans un processus participatif au sein duquel il doit pouvoir assumer une partie de la responsabilité sociale de sa production. Une proposition de rupture (voire provocatrice!) serait même de renverser le paradigme de l'intégration de l'utilisateur en proposant d'intégrer les acteurs traditionnels de la conception dans un processus piloté par l'utilisateur ou un collectif d'utilisateurs. La collaboration des expertises techniques (issues entre autres de l'ingénierie) seraient alors au service du projet porté par l'utilisateur. La problématique est vaste et les quelques projets décrits ici n'en couvrent qu'une modeste partie. L'une des motivations sous-tendue par ce projet est le pari d'un accroissement de la culture technique de l'utilisateur, non par une amplification de la formation initiale mais plutôt par une interaction plus intelligible avec les systèmes techniques du quotidien que ce soit dans leur conception ou dans la gestion de leur cycle d'usage. Une logique de formation continuée en quelque sorte, la seule capable de garder l'utilisateur au contact de la dynamique d'innovation technique et dans le débat sur ses conséquences. C'est une condition primordiale pour maîtriser les enjeux actuels d'impact des activités humaines sur nos environnements et nos sociétés.

Les travaux suggérés dans ce mémoire ont une visée à court et moyen termes. À plus longue échéance, j'ambitionne de définir des environnements collaboratifs appelés à dépasser le strict cadre de la conception pour supporter les grandes étapes du cycle de vie des systèmes techniques et contribuer à la vitalité d'un PLM étendu et ouvert. J'ai conscience que tous ces projets ne

pourront voir le jour immédiatement, et les opportunités de financement et de partenariat seront des facteurs importants dans la hiérarchisation des priorités. Cependant, les thématiques du génie industriel sont ancrées dans le réel et, par conséquent, certaines de leur composantes les rendent précaires : évolution technologique ou changement de contexte économique et industriel peuvent rapidement rendre caduques certains de nos questionnements. C'est pourquoi il est important de faire preuve d'agilité dans la gestion de nos thématiques de recherche et être à l'écoute des besoins sociétaux.

# Bibliographie

- [1] BIHOUIX PHILIPPE. *L'âge des low tech : vers une civilisation techniquement soutenable / Philippe Bihouix*. Anthropocène. Paris : Éditions du Seuil, 2014. 330 p. ISBN : 978-2-02-116072-7.
- [2] Leon CRUICKSHANK et Paul ATKINSON. "Closing in on Open Design". In : *The Design Journal* 17.3 (sept. 2014), p. 361-377. ISSN : 1460-6925, 1756-3062. DOI : [10.2752/175630614X13982745782920](https://doi.org/10.2752/175630614X13982745782920).
- [3] Mokter HOSSAIN, Seppo LEMINEN et Mika WESTERLUND. "A Systematic Review of Living Lab Literature". In : *Journal of Cleaner Production* 213 (10 mars 2019), p. 976-988. ISSN : 0959-6526. DOI : [10.1016/j.jclepro.2018.12.257](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.257).
- [4] Gilliane LAURENT. "Vers une réappropriation citoyenne de la technique dans le contexte de la transition écologique". In : *Cahiers de l'action* N° 47.1 (15 déc. 2016), p. 55-61. ISSN : 1772-2101.
- [5] OCDE et EUROSTAT. *Manuel d'Oslo 2018 : Lignes directrices pour le recueil, la communication et l'utilisation des données sur l'innovation, 4ème édition*. Mesurer les activités scientifiques, technologiques et d'innovation. OECD, 11 déc. 2019. ISBN : 978-92-64-64011-5. DOI : [10.1787/c76f1c7b-fr](https://doi.org/10.1787/c76f1c7b-fr).
- [6] "Presentation Outlining Horizon Europe".
- [7] Pierre RABARDEL. "Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains". In : ()
- [8] Yoram REICH, Suresh L. KONDA, Ira A. MONARCH, Sean N. LEVY et Eswaran SUBRAHMANIAN. "Varieties and Issues of Participation and Design". In : *Design Studies* 17.2 (1<sup>er</sup> avr. 1996), p. 165-180. ISSN : 0142-694X. DOI : [10.1016/0142-694X\(95\)00000-H](https://doi.org/10.1016/0142-694X(95)00000-H).
- [9] Patricia RIBAULT. "Comment faire ? La technique comme pouvoir". In : *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques* 64 (64 24 déc. 2015), p. 32-45. ISSN : 0248-6016. DOI : [10.4000/tc.7555](https://doi.org/10.4000/tc.7555).
- [10] Toni ROBERTSON et Jesper SIMONSEN. "Challenges and Opportunities in Contemporary Participatory Design". In : *Design Issues* 28.3 (juill. 2012), p. 3-9. ISSN : 0747-9360, 1531-4790. DOI : [10.1162/DESI\\_a\\_00157](https://doi.org/10.1162/DESI_a_00157).

- [11] Richard SKARBEZ, Missie SMITH et Mary C. WHITTON. “Revisiting Milgram and Kishino’s Reality-Virtuality Continuum”. In : *Frontiers in Virtual Reality 2* (2021). ISSN : 2673-4192.
- [12] Maximilian SPEICHER, Brian D. HALL et Michael NEBELING. “What Is Mixed Reality ?” In : *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI ’19 : CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Glasgow Scotland Uk : ACM, 2 mai 2019, p. 1-15. ISBN : 978-1-4503-5970-2. DOI : [10.1145/3290605.3300767](https://doi.org/10.1145/3290605.3300767).
- [13] Cameron TONKINWISE. “Design for Transitions - from and to What ?” In : *Design Philosophy Papers* 13.1 (2 jan. 2015), p. 85-92. ISSN : 1448-7136. DOI : [10.1080/14487136.2015.1085686](https://doi.org/10.1080/14487136.2015.1085686).
- [14] *Utile, accessible, durable : l’alternative low-tech*. ADEME Infos. URL : <https://infos.ademe.fr/magazine-avril-2022/dossier/utile-accessible-durable-lalternative-low-tech/> (visité le 10/04/2023).

## A. Direction, pilotage, montage de formations

Récapitulatif des responsabilités

- (2010–2013) Montage et pilotage du master **ECPSI** à l'UGA. Dans le cadre de la masterisation des formations d'enseignant, ce master visait à préparer les étudiants au concours du **CAPET** de technologie et à l'agrégation de mécanique et génie mécanique. Il a été remplacé en 2013 par le parcours SII du master MEEF (portage ESPE).
- (2012–2019) Montage et enseignement de l'UE « initiation au Génie Mécanique » pour le master Ingénierie Nucléaire de l'UGA (6 ECTS, 40 étudiants/an)
- (2013–2018) Montage du parcours SII du master MEEF pour l'ESPE de GRENOBLE (120h de formation disciplinaires, formation tripartite ESPE/Universités/Rectorat, coordination avec les établissements d'accueil des stagiaires. . . , effectif moyen 15 stagiaires). Responsable de la formation de 2013 à 2018 (PRP 10h)
- (2016 →) Création et enseignement/pilotage de l'UE « Innovation & Knowledge ». 3 ECTS, public international M1 et M2, 39 étudiants/an. Enseignements en anglais.
- (2018 →) responsable du parcours en alternance Génie Mécanique du master Mécanique de l'UFR PhITEM.

## B. Responsabilités collectives

- (2012–2015) Enseignant du master International Cognitive Visualization. 4 semestres en Allemagne (LANDAU), France (GRENOBLE) puis USA (CHICCO, CA). 20 étudiants internationaux sur 3 ans. Module enseigné en anglais : « Shared representations in industrial context ».
- (2008,2009,2010) Encadrant des équipes grenobloises participant <sup>1</sup> aux 24h de l'innovation. 2 fois lauréats du prix du prototype et un prix « coup de cœur esthétique ».
- (2004-2007) Responsable du département disciplinaire Technologie Gestion Économie et Société à l'IUFM de GRENOBLE. 25 enseignants universitaires et second degré, titulaires et détachés, 5 parcours de formation (CAPES, CAPET et Agrégation).
- (2007-2011) Responsable de l'Unité disciplinaire Sciences de l'Ingénieur et Technologie. 15 enseignants universitaires et second degré, 3 parcours de formation ( CAPET, CAPLP).
- (2007 →) Responsable de la communication (site web) pour l'équipe Conception Collaborative et Intégrée (11 permanents et environ 10 doctorants chaque année).
- (2010-2016) Membre de la Commission de Validation des Acquis de l'UJF pour l'UFR PhITEM au titre des formations en mécanique et génie civil.
- (2011-2013) Responsable du master Enseignement et Conception de Produit-Services Innovants (IUFM GRENOBLE).
- (2014 →) Chargé de mission "pédagogie numérique" pour l'UFR PhITEM et membre du groupe "numérique" de l'UJF représentant l'UFR (1800 étudiants, 250 enseignants et enseignants-chercheurs) pour la préparation du dossier d'accréditation 2015-2020 (vague A).
- (2013–2019) responsable du parcours Sciences Industrielles de l'Ingénieur du master MEEF de l'ESPE de GRENOBLE (18 stagiaires/an en moyenne).
- (2014–2017) Membre du Comité de sélection CDSN (Contrat doctoraux Spécifiques Normalien) de l'ENS Rennes. Sélection des dossiers pour attribution des contrats doctoraux aux élèves normaliens désirant poursuivre une thèse.
- (2016) Membre du comité d'organisation de la journée pédagogique de l'UFR PHITEM (50 participants)
- (2017) Co-organisateur de la préparation interne Rectorat/UGA à l'agrégation des Sciences Industrielles de l'Ingénieur (dispositif FlexiTLV).
- (2016–2020) Expertise pour le Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Hceres) : évaluation de formations de Licences Professionnelles pour

---

1. Première participation d'une équipe à distance!

les établissements des vagues B et E.

- (2017 →) Responsable du parcours M2 GM (master Mécanique), formation en alternance de 25 étudiants /an. • (2018→) Délégué Formation continue, alternance, reprise d'études pour l'UFR PhITEM
- (2020) Membre du groupe de travail UGA « Professionnalisation, organisation des blocs et démarche compétences »
- (2021 →) Membre élu du conseil de laboratoire G-SCOP
- (2022 →) Membre de la communauté de pratique « Pédagogie par le jeu » du centre des nouvelles pédagogies de l'UGA.
- (2023 →) Membre élu du conseil d'UFR PhITEM

A noter également des participations à des Comités de Sélection : recrutement MCF GI/G-SCOP 60-0697 (2018), recrutement MCF PhITEM/G-SCOP (2012), ATER INSPE (2020)