



**HAL**  
open science

## Contribution à l'intégration d'un environnement collaboratif en conception amont de produits.

Frederic Segonds

► **To cite this version:**

Frederic Segonds. Contribution à l'intégration d'un environnement collaboratif en conception amont de produits.. Mécanique [physics.med-ph]. Arts et Métiers ParisTech, 2011. Français. NNT : 2011ENAM0037 . pastel-00656769

**HAL Id: pastel-00656769**

**<https://pastel.hal.science/pastel-00656769>**

Submitted on 5 Jan 2012

**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.

École doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur

## Doctorat ParisTech

# THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

**l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers**

**Spécialité "Génie Industriel"**

*présentée et soutenue publiquement par*

**Frédéric SEGONDS**

le 6 décembre 2011

**Contribution à l'intégration d'un environnement collaboratif en  
conception amont de produits.**

Directeur de thèse : **Améziane AOUSSAT**

Co-directeur de thèse : **Philippe VERON**

### Jury

<b>M. Louis RIVEST</b> , Professeur, Département Génie de la Production Automatisée, ETS Montréal	Président
<b>M. Abdelaziz BOURAS</b> , Professeur, DISP, Université Lumière, Lyon	Rapporteur
<b>M. Pierre LAGARRIGUE</b> , Professeur, ICA, Université Champollion, Albi	Rapporteur
<b>M. Christian PERE</b> , Maître de Conférences, LE2I, Arts et Métiers ParisTech, CER Cluny	Examineur
<b>M. Améziane AOUSSAT</b> , Professeur, LCPI, Arts et Métiers ParisTech, CER Paris	Directeur
<b>M. Philippe VERON</b> , Professeur, LSIS, Arts et Métiers ParisTech, CER Aix-en-Provence	Co-directeur

## REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont, en premier lieu, vers Messieurs Abdelaziz BOURAS et Pierre LAGARRIGUE, pour avoir accepté d'être rapporteurs de mes travaux. Merci pour vos remarques éclairantes et éclairées qui s'appuient sur des années d'expérience de recherche. Celles-ci m'ont permis de progresser et de finaliser ce manuscrit.

Je remercie grandement Monsieur Louis RIVEST, qui a su adapter son emploi du temps aux contraintes administratives françaises, et qui a consacré un temps précieux à diriger ce jury de thèse avec un entrain manifeste. Notre rencontre à PLM'11 a marqué le début d'une collaboration entre nos deux établissements que j'espère fructueuse et pérenne.

Je remercie également Monsieur Christian PERE d'être examinateur de ma thèse. Les débuts de mes travaux, en lien avec l'aéronautique, m'ont orienté vers son expertise et, même si les données qui nous auraient été nécessaires n'ont pas pu être capitalisées, je garde un excellent souvenir des réunions à Cluny et à Toulouse, chez un célèbre avionneur. C'est également la découverte de ses qualités lors du montage des cours d'Ingénierie Collaborative de l'ENSAM (qui s'appelait à l'époque ainsi) qui m'a donné l'envie de partager cette expérience avec lui.

La qualité des travaux présentés est également le fruit d'une collaboration efficace entre mon Directeur de thèse, Monsieur Améziane AOUSSAT et mon co-directeur Monsieur Philippe VERON. Merci à vous d'avoir défini des voies de recherche communes afin de me permettre de présenter ce travail. Merci également pour votre encadrement et vos conseils avisés tout au long de ces trois années. J'espère que ce travail de thèse, soutenu par le département CIRD d'Arts et Métiers ParisTech, aura répondu à vos attentes, tant scientifiques qu'humaines. Je tiens également à remercier Messieurs Jean-Paul HAUTIER, Directeur Général d'Arts et Métiers ParisTech et Alex REMY, Directeur du centre de Paris, qui ont tout de suite été favorables au montage de ce projet. Ces quelques mots restent encore présents à mon esprit quand, à l'évocation d'un projet de thèse complémentaire entre deux laboratoires de l'Ecole, M. Le Directeur Général a dit : "Ce genre de projet de recherche, il faut les soutenir, je signe quand vous voulez". Merci encore et continuez à promouvoir ce type d'initiative qui, à mon humble avis, favorise la collaboration entre les équipes de recherche de notre Grand Etablissement.

Merci aussi à Messieurs Josquin PEYCERE et Stéphane GAILLARD pour leur accueil chez Verallia et Devanlay. Mes pensées vont tout particulièrement vers Josquin. Le temps passé à m'expliquer ton métier et celui de tes collègues a été pour moi une aide précieuse, de même que ta présence lors de ma soutenance. Je te remercie grandement de m'avoir ouvert les portes, à l'époque, de Saint-Gobain Emballage et, par la même occasion, de Chalon-sur-Saône.

Je remercie également toute ma famille pour m'avoir soutenu dans des moments parfois difficiles ; et tout particulièrement Fanny. Les derniers mois ont été assez chargés et j'espère ne pas avoir été trop "thésocentré". Merci à toi de tout mon cœur pour les moments de détente que nous avons su préserver au milieu de ce périple de trois ans en territoire sudiste.

Enfin, merci à toutes les personnes qui, par leur joie, leur bonne humeur, leurs compétences m'ont aidé à réaliser ces travaux. Mes pensées vont plus particulièrement à Stéphanie (l'affordance n'a plus de secrets pour moi...), Céline, Anne, Minica, Nathalie, Julien (dit l'Amiral), Frédéric 1, Fabrice (dit Ben), Claude (dit "RIF"), Nicolas (dit Nut's), Pascal, Ronan (dit Ronald), Imade (dit M. Modèle), Lionel, Ruding, Mehdi, Marino, Loïc, Guillaume. J'en oublie sûrement mais je vous remercie tous pour votre soutien sans faille.



# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	1
SOMMAIRE .....	3
INTRODUCTION GENERALE .....	5
OBJECTIF ET PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE.....	7
ORIGINALITE ET APPORTS DE LA THESE.....	8
STRUCTURATION DU MANUSCRIT .....	9
1    POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE ET VEROUS .....	13
1.1    INTRODUCTION.....	15
1.2    POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE .....	15
1.3    VERROUS SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE LIES A LA THEMATIQUE DE RECHERCHE .....	24
2    ETAT DE L'ART SCIENTIFIQUE ET DES PRATIQUES INDUSTRIELLES EN CONCEPTION COLLABORATIVE DE PRODUIT .....	27
2.1    INTRODUCTION A L'ETAT DE L'ART.....	29
2.2    ETAT DE L'ART SCIENTIFIQUE DES PROCESSUS DE CONCEPTION, DE LEURS EVOLUTIONS EN VUE DU DEVELOPPEMENT D'UN ENVIRONNEMENT COLLABORATIF FONDE SUR LES RI DU PRODUIT.....	37
2.3    PRATIQUES INDUSTRIELLES .....	79
3    PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE MODELISATION .....	115
3.1    PROBLEMATIQUE : DEFINIR UN ENVIRONNEMENT COLLABORATIF MULTI-CONSTRAINTES .....	117
3.2    HYPOTHESES DE MODELISATION.....	119
3.3    RESUME DE LA PROBLEMATIQUE ET DES HYPOTHESES .....	121
3.4    DEMARCHES SUIVIES AU NIVEAU MODELE ET OUTILS.....	122
4    EXPERIMENTATIONS.....	125
4.1    CADRE DES EXPERIMENTATIONS ET STRATEGIE EXPERIMENTALE.....	127
4.2    OBJECTIFS DES EXPERIMENTATIONS .....	128
4.3    TYPOLOGIE DE REPRESENTATIONS INTERMEDIAIRES ECHANGEES LORS DE LA CONCEPTION D'UN PRODUIT (EXP. 1 ET 2).....	129
4.4    VERS UN DEVELOPPEMENT PRESCRIPTIF D'UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL COLLABORATIF CENTRE SUR LES RI PRENANT EN COMPTE LES CONTRAINTES METIERS (EXP. 3) .....	168
4.5    SYNTHESE DES EXPERIMENTATIONS.....	194
5    APPORTS .....	199
5.1    PRESENTATION DES APPORTS .....	201
5.2    SPECIFICATION D'UNE METHODE AGILE DE DEVELOPPEMENT PRESCRIPTIF D'UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL COLLABORATIF AMONT CENTRE SUR LES RI PRENANT EN COMPTE LES CONTRAINTES METIERS .....	202

6	CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES .....	213
	APPORTS DE RECHERCHE .....	214
	PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA DEMARCHE NIVEAU MODELE .....	214
	PERSPECTIVES DE RECHERCHE .....	216
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	221
	INDEX DES FIGURES .....	232
	INDEX DES TABLEAUX .....	236
	PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....	238
	Revue Internationale.....	238
	Brevets Internationaux.....	238
	Brevet Européen .....	238
	Conférences Internationales avec comité de sélection et actes.....	238
	ANNEXES.....	239

***"Le monde dans lequel chacun vit dépend de la façon de le concevoir"***

**Arthur Schopenhauer**

## **INTRODUCTION GENERALE**





## OBJECTIF ET PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE

Quelle différence peut-on faire entre un concepteur en 2011 et Léonard de Vinci? La comparaison semble osée mais ces personnes ont toutes les deux à cœur de développer un produit. La principale différence, outre le génie reconnu de Léonard de Vinci que tous les concepteurs n'ont peut-être pas, est que celui-ci était à la fois l'inventeur, le concepteur, le fabricant et l'utilisateur de ses produits. De nos jours, l'activité de conception est devenue largement collaborative et les personnes couvrant autant de phases du cycle de vie d'un produit sont plutôt rares!

La conception de produit est, à l'heure de la mondialisation, une activité de plus en plus contrainte et dispersée géographiquement. Ainsi, il est fréquent d'impliquer plusieurs continents dans le cycle de développement d'un produit. Afin de répondre à ces nouveaux besoins en collaboration, des outils facilitateurs ont émergé. On peut citer les Systèmes de Gestion des Données Techniques ou, plus récemment, les outils supports du Product Lifecycle Management. Cependant, il apparaît que ces outils sont majoritairement destinés à la phase de conception détaillée du produit. Or, comme le montrent (Michaels et al. 1989), près de 80% du coût d'un projet de conception sont figés dès les phases amont, alors que seulement 5% du coût sont effectivement payés.

Actuellement, les processus de conception amont sont relativement peu formalisés, et outillés (Mougenot 2008). Ceci est principalement dû à la multitude d'acteurs et de métiers en présence. Cette pluridisciplinarité exacerbée de la conception amont amène à gérer de multiples représentations intermédiaires du produit (c'est-à-dire la formalisation au travers, par exemple, d'une esquisse ou d'un plan, du futur produit) qui ne sont pas forcément partagées (par exemple, une mise en plan avec une partie de cotation fonctionnelle est assez peu parlante pour le métier de commercial...). Dans le même temps, près de 80% des projets industriels de conception sont des projets de conception routinière (Prasad 1997; Jauregui Becker et al. 2011). Ces projets représentent donc la grande majorité du chiffre d'affaires de nos industries. Dans ce cadre, les acteurs de la conception sont connus, et le processus de développement de produit est, lui aussi, routinier. Il n'est cependant pas toujours formalisé.

Avec l'évolution récente des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication, le travail à distance tend vers de plus en plus de collaboration. Si, il y a quelques décennies, l'essentiel de ces collaborations étaient effectuées au téléphone et au travers de documents papier, la conception est maintenant de plus en plus distribuée et asynchrone. Dans un même temps, les besoins du marché évoluant vers un raccourcissement des temps de vente et donc de développement de ces produits, et le nombre de versions d'un produit explosant, les processus de conception ont évolué d'une conception séquentielle vers une conception concourante, permettant de raccourcir les délais. Sur le plan de la recherche, ces évolutions ont été soutenues dès la fin des années 1980 par le développement d'outils supports au "Collaborative Distributed Design" (Johansen 1988), ou conception collaborative distribuée. Cependant, la partie amont du processus de conception a, encore une fois, fait l'objet de moins de développement d'outils collaboratifs que la phase de conception détaillée.

Ainsi, la définition d'environnements de travail collaboratif, et en particulier à destination des phases amont de la conception, est à l'heure actuelle au cœur des préoccupations de nombreux industriels. Les outils supports, trop rares, sont souvent des extensions d'outils dédiés à la conception détaillée mais qui ne

prennent pas suffisamment en compte les habitudes de travail de chaque métier. Certains grands éditeurs de solutions CAO en sont même réduits à commercialiser des modules, par exemple à destination des designers, qui ont été qualifiés lors de nos expérimentations "d'inutilisables". Certes, il convient de nuancer ces remarques, cependant le constat est là : il n'existe que très peu d'environnements de conception collaborative dédiés aux phases amont de conception et, ce qui en est sûrement la cause, il n'existe à notre connaissance aucun modèle support à la définition de ce type d'environnement de travail.

Ainsi, l'objectif principal de cette thèse est de montrer le rôle prépondérant des Représentations Intermédiaaires (RI) du produit dans la conception amont, afin de proposer une démarche scientifique permettant de définir un environnement collaboratif adapté aux besoins des utilisateurs. Cette démarche scientifique (appelée niveau "Modèle") est soutenue par un protocole expérimental (appelé niveau "Outils") afin de mettre en place sur le terrain les actions nécessaires. Ces démarches sont éprouvées sur deux études de cas industriels, menées en collaboration avec Verallia et Devanlay. La synthèse de nos expérimentations et de l'état de l'art nous amène, en fin de manuscrit, à proposer un modèle d'aide à la définition d'un environnement collaboratif amont, à destination des chefs de projets.

## ORIGINALITE ET APPORTS DE LA THESE

Notre recherche est originale par deux principaux aspects : tout d'abord par son positionnement thématique, ensuite par sa démarche de recherche action (Järvinen 2007) sur un sujet qui implique les phases amont de conception et l'ancrage dans le monde industriel. Les apports sont multiples, et induits par cette originalité.

Tout d'abord, le positionnement thématique de cette thèse est à la croisée des chemins entre l' "industrial design" (design industriel, *i.e.* ce que nous appelons classiquement le design), l' "engineering design" (la conception, au sens de l'ingénieur) et l' "engineering technology" (méthodes et fabrication). Ceci est représenté par (Pahl et al. 2007) sur la Figure 1 ci-dessous. Il s'agit donc d'une thématique centrale des sciences de la conception, dont les apports seront transverses. Les compétences que nous avons mises en œuvre sont également liées à la conception agile de maquettes dynamiques d'outils logiciels, à des fins d'optimisation.

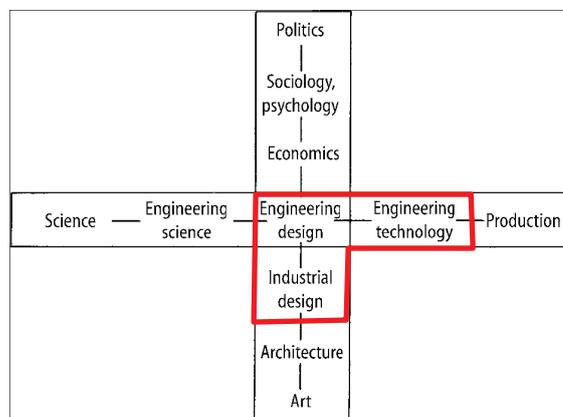


Figure 1 : la conception, une activité centrale, extrait de (Pahl et al. 2007).

Ensuite, nous mettons en œuvre une démarche de recherche action avec différentes entreprises afin d'optimiser la collaboration dans les phases amont du processus. Nous proposons enfin un modèle prescriptif à destination des entreprises afin de développer un environnement collaboratif amont conçu de manière agile.

Les apports de nos travaux de thèse peuvent, au même titre que notre démarche scientifique, se décliner sur deux niveaux.

Au niveau "Outils" (proche des études de terrain), nos principaux apports sont :

- le développement effectif de prototypes dynamiques à destination d'entreprises industrielles, basé sur les RI du produit.
- la validation de cet outil par des tests utilisateurs.
- la validation de notre protocole expérimental, qui peut être adapté à tout type d'entreprise afin de déterminer un outil adapté aux besoins.

Au niveau "Modèle" (niveau d'abstraction plus élevé), nos principaux apports sont :

- la définition d'un modèle scientifique de conception d'un environnement collaboratif amont dans le cadre d'une recherche action.
- une contribution à la numérisation progressive du processus de conception

## STRUCTURATION DU MANUSCRIT

Ce manuscrit de thèse se divise en six parties : positionnement scientifique et verrous, état de l'art scientifique et des pratiques industrielles en conception collaborative de produit, problématique et hypothèses de modélisation, expérimentations, apports puis conclusion générale et perspectives.

### **1<sup>ÈRE</sup> PARTIE : POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE ET VERROUS**

L'objectif de cette partie est de positionner nos travaux par rapport au domaine des sciences de la conception et de mettre en évidence les verrous scientifique et technique liés à ceux-ci.

Pour cela, nous positionnons nos travaux sur le plan national et international au sein de la communauté de recherche en Génie Industriel, et plus particulièrement au sein des deux laboratoires d'accueil de cette thèse : le Laboratoire de Conception de Produits et Innovation (LCPI) du centre de Paris d'Arts et Métiers ParisTech et le Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes (LSIS) du centre d'Aix-en-Provence. Nous montrons que ces travaux s'inscrivent dans une continuité par rapport à ceux menés dans ces laboratoires.

## **2<sup>EME</sup> PARTIE : ETAT DE L'ART SCIENTIFIQUE ET DES PRATIQUES INDUSTRIELLES EN CONCEPTION**

### **COLLABORATIVE DE PRODUIT**

Dans cette partie, nous positionnons dans un premier temps les frontières de la conception amont de produit avant d'analyser les évolutions majeures du contexte industriel du XIX<sup>ème</sup> siècle à nos jours. Nous faisons l'étude des outils collaboratifs supports de la conception, ainsi que des méthodes de conception qui sont peu à peu passées de l'ingénierie séquentielle à l'ingénierie concourante, puis collaborative avant de nous intéresser à l'ensemble du cycle de vie du produit au travers du Product Lifecycle Management (PLM). Enfin, nous insistons sur le rôle des RI en conception de produit, et étudions les méthodes de développement d'environnement telles que, par exemple, les méthodes agiles de développement. Ensuite, nous enrichissons notre état de l'art scientifique par l'étude de pratiques industrielles *in situ* afin de confronter la science à la réalité du terrain.

## **3<sup>EME</sup> PARTIE : PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE MODELISATION**

A la lumière de l'état de l'art scientifique et de la synthèse des pratiques industrielles réalisée, nous présentons dans cette partie la problématique de nos travaux de thèse ainsi que les hypothèses que nous émettons afin d'y répondre. L'état de l'art montre la nécessité de définir des environnements collaboratifs, et ce dès les phases amont du processus de conception. En effet, dans la perspective d'intégration des différents acteurs de la conception, et étant donné que c'est dans ces phases de conception que la majorité des coûts liés au futur produit sont engagés (Michaels et al. 1989), on comprend la nécessité de leur prise en compte. Cependant, il existe des freins à cette intégration : le processus de conception amont est peu formalisé, la multitude des acteurs, de métiers différents rend une intégration totale délicate, et les outils supports de la conception amont sont extrêmement diversifiés. Il est donc nécessaire de définir un environnement collaboratif multi-contraintes visant à favoriser le travail collectif dans le cadre de la conception amont. Pour cela, il est important d'identifier les RI manipulées par les concepteurs et de trouver lesquelles sont essentielles au travail collectif des phases amont. Afin de définir un environnement collaboratif, nous formulons l'hypothèse qu'il est nécessaire d'avoir des RI identifiées et numérisées, et de les définir au préalable. D'autre part, nous proposons la prise en compte, grâce aux RI, des contraintes métiers dans l'environnement amont : nous pensons que ces informations, pour la plupart visuelles, peuvent servir de vecteur de communication et favoriser la collaboration entre les acteurs de la conception.

## **4<sup>EME</sup> PARTIE : EXPERIMENTATIONS**

Cette partie présente nos expérimentations, menées au travers de projets industriels. Ces projets, tous en relation avec la création d'un environnement collaboratif amont, nous permettent de recueillir des données précieuses sur les modes de collaboration des acteurs, dans le but de proposer un environnement adéquat. Les entreprises avec lesquelles nous avons mené des développements significatifs sont :

- Une entreprise concevant des contenants en verre, Verallia, anciennement Saint-Gobain Emballage.
- Une entreprise concevant des produits textile, Devanlay, qui est chargée de la conception/fabrication/vente des produits licenciés Lacoste.

Ces deux entreprises, dont nous aurons préalablement présenté l'activité dans la deuxième partie, nous ont ouvert leurs portes afin de définir, ensemble, un environnement collaboratif répondant à leurs besoins. Ce travail a été l'occasion de mettre en pratique les démarches niveau "Outils" et "Modèle" que nous

défendons. Dans le but de répondre à la problématique énoncée plus haut, l'objectif des expérimentations est de formaliser dans un premier temps de manière descriptive (expérimentations 1 et 2) le processus de conception des produits concernés, tout au long du cycle de vie du produit. En effet, la compréhension détaillée de la conception du produit nous permet par la suite d'identifier les RI utiles à la collaboration, ainsi que les acteurs qui participent à cet environnement. La première expérimentation, faite dans l'entreprise Verallia, porte sur un panel d'une dizaine de personnes concernées par la conception d'un produit verrier. Elle est ensuite complétée par la deuxième expérimentation, chez Devanlay, avec un produit plus complexe et environ trois cents concepteurs impactés par le processus de développement du produit textile. Dans un second temps (expérimentation 3), le but de l'expérimentation est de proposer (prescriptif) un environnement collaboratif centré sur les RI, applicable à la conception amont, dans le cadre de notre collaboration avec Devanlay.

### **5<sup>EME</sup> PARTIE : APPORTS**

Cette partie synthétise dans une première partie nos apports liés à l'état de l'art scientifique et aux études industrielles. Dans une seconde partie, nous présentons un modèle spécifiant une méthode agile de développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif amont centré sur les représentations intermédiaires (RI) et prenant en compte les contraintes métiers. Ce modèle en sept phases est positionné par rapport à l'existant et sa valeur ajoutée à l'optimisation du processus de conception est présentée.

Enfin ce manuscrit se termine par une conclusion générale ainsi que des perspectives de recherche.



# 1 POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE ET VERROUS





## 1.1 INTRODUCTION

A l'heure actuelle, la conception de produit industriel est une activité pluridisciplinaire et transverse. Les acteurs, souvent répartis dans des lieux différents, collaborent afin de faire émerger ensemble une idée, puis un concept de solution, et enfin un produit. Ces tâches doivent être, dans le contexte du développement des nouvelles technologies, supportées par des environnements de travail adéquats, permettant de faciliter le travail quotidien des acteurs. Ainsi, depuis plusieurs décennies, des systèmes dédiés ont été développés, tels que les Systèmes de Gestion des Données Techniques (SGDT) ou, plus récemment, les outils de Product Lifecycle Management (PLM). Cependant, le constat actuel est qu'il existe peu d'outils dédiés aux phases amont de la conception (Mougenot 2008). L'objectif scientifique de nos travaux est donc, dans le contexte de la communauté du Génie Industriel, de proposer une méthode de développement d'un environnement de travail collaboratif dédié aux phases amont de conception. Celle-ci est fondée sur un état de l'art scientifique ainsi que sur des cas industriels, qui permettent de la valider sur le terrain.

Dans ce chapitre, nous situons nos travaux de recherche par rapport à la communauté scientifique du Génie Industriel d'une part, puis par rapport aux axes de recherche des deux laboratoires à l'initiative de cette thèse, sous l'angle particulier de la conception de produits. Ensuite, nous positionnons nos travaux par rapport aux entités de recherche nationales et internationales en lien avec le développement d'environnement collaboratif. Enfin, nous concluons cette introduction par une synthèse qui reprend les verrous scientifique et technique liés à notre recherche.

## 1.2 POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE

### 1.2.1 LA COMMUNAUTE DU GENIE INDUSTRIEL ET DES SCIENCES DE LA CONCEPTION

Au sens étymologique du terme, la communauté du Génie Industriel regroupe l'ensemble des activités productrices de richesses. En effet, le nom "industrie" est issu du latin *industria*, l'activité. Au sens large, l'industrie regroupe donc l'ensemble des activités qui ont pour objet de fabriquer des produits à partir de matières premières, d'exploiter les mines et les sources d'énergie (Larousse 1988). Le terme d'industriel, ou *industrialis* en latin, est apparu en 1770 et fait référence à cette acception.

Selon, l'American Institute of Industrial Engineers : "Le Génie Industriel englobe la conception, l'amélioration et l'installation de systèmes intégrés. Il utilise les connaissances provenant des sciences mathématiques, physiques et sociales, ainsi que les principes et méthodes propres au "génie" ou à l'art de l'ingénieur, dans le but de spécifier, prédire et évaluer les résultats découlant de ces systèmes." On mesure bien, grâce à cette définition, les aspects collaboratifs et multi-métiers de la communauté du Génie Industriel. Cette multitude d'acteurs, concernés par le processus de conception (que l'on nomme

"stakeholders" en anglais), mettent en place des synergies en vue de proposer des produits nouveaux répondant aux besoins des utilisateurs. Afin de supporter les échanges collaboratifs entre eux, des structures se sont développées. Avec l'essor récent des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC), les outils présents dans ces structures sont principalement accessibles "en ligne", via internet.

Au sein de la communauté du Génie Industriel, nous ancrons notre recherche dans le domaine des Théories et Méthodologies de Conception, nommées en anglais DTM pour Design Theory and Methodology. Dans ce cadre, nous proposons une méthodologie de définition d'un environnement collaboratif amont, appliqué à la conception de produit, et présentons les résultats de sa mise en œuvre. Selon (Tomiyama et al. 2009), les théories de la conception sont aujourd'hui enseignées dans les écoles d'ingénieurs et sont appliquées industriellement. La situation actuelle est contrastée en comparaison de celle des années 1970 ou antérieures, lorsque la conception était considérée comme plus proche de l'art que de l'ingénierie. Ceci était dû, en particulier, à l'insuffisance des connaissances sur les DTM.

Notre positionnement, à l'image de celui de (Tomiyama et al. 2009) est d'essayer de réduire au maximum les écarts entre nos propositions et le contexte industriel dans lequel celles-ci doivent s'insérer. C'est pourquoi nous avons choisi de faire, en complément de l'état de l'art scientifique, un état des lieux des pratiques industrielles en terme de collaboration avant de proposer un quelconque environnement collaboratif. L'enrichissement réciproque fourni par ces deux approches est bénéfique. En effet, comme le soulignent (Tomiyama et al. 2009) , le point de vue industriel sur la conception de produits et de systèmes est le résultat de la conception en lui-même. Pour l'industrie, il est très fréquent de concevoir des produits basés sur une version antérieure, et on ne trouve que très peu de cas de développement de nouveaux produits. En conséquence, les entreprises peuvent avoir mis au point un "manuel interne de la conception et du développement de produits" qui peut s'appuyer sur des méthodologies diverses.

De plus, les spécificités liées au contexte de chaque pays influent sur le processus de conception employé. Ainsi, (Hubka et al. 1987) notent que l'unité des opinions à propos de la conception entre de nombreux pays participant à la première conférence internationale sur l'Engineering Design (ICED 1981) n'est pas aussi évidente que cela. Ils définissent les sciences de la conception (design science) comme une collection (un système) de connaissances connectées logiquement issues du domaine de la conception, et contenant des concepts d'informations techniques et de méthodologies de conception. On voit donc ici clairement apparaître les deux volets classiques de la conception de produit : le côté gestion et génération des données techniques et le côté méthodologique. Les informations techniques des sciences de la conception se décomposent en quatre groupes, comme indiqué sur la Figure 2 , adaptée de (Hubka et al. 1987) :

1. Les connaissances issues des sciences naturelles et humaines, appliquées (la science, l'analyse heuristique et du savoir-faire), qui sont des informations techniques particulières.
2. La théorie des processus de conception.
3. La méthodologie de conception.
4. La théorie des systèmes techniques.

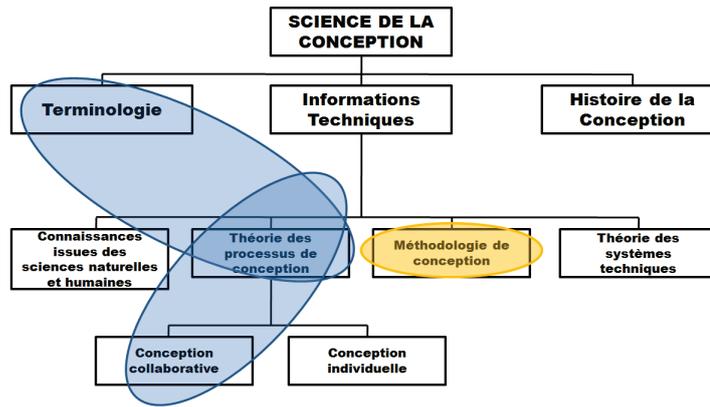


Figure 2 : les constituants des sciences de la conception, et positionnement de notre recherche, adapté de (Hubka et al. 1987).

Notre positionnement scientifique est synthétisé sur la Figure 2 : notre domaine de compétences préalable est indiqué en jaune, le domaine de compétences visé suite à nos travaux est représenté en bleu.

Ainsi, la conception d'un environnement collaboratif appliqué à la conception de produits doit prendre en compte plusieurs de ces constituants, en particulier :

- la terminologie qui est un facteur prépondérant dans la collaboration entre acteurs de la conception. Nous y reviendrons dans la 2<sup>ème</sup> partie de ce manuscrit.
- l'étude du processus de conception, et en particulier de la conception collaborative, qui est un élément indispensable afin de bien cerner les attentes des utilisateurs.
- la connaissance préalable des méthodologies de conception nous servira à analyser de manière formalisée les processus mis en jeu.

Ces travaux de thèse sont dirigés par deux laboratoires. Nous allons, dans le chapitre suivant, présenter notre positionnement par rapport à chacun d'eux.

## 1.2.2 POSITIONNEMENT PAR RAPPORT AUX TRAVAUX DES LABORATOIRES PARTENAIRES

Le projet de cette thèse est né d'une volonté forte de créer des liens autour de thématiques de recherche communes, au sein des départements d'Arts et Métiers ParisTech. A ce titre, pour le département Conception, Industrialisation, Risques et Décision (CIRD), le LCPI du Centre de Paris (75) et le LSIS du Centre d'Aix-en-Provence (13) ont défini une thématique commune liée à l'ingénierie collaborative appliquée aux phases amont de la conception.

### 1.2.2.1 L'OPTIMISATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION

Les recherches au LCPI portent sur la thématique de l'optimisation du processus de conception et d'innovation. Depuis sa fondation en 1978, le LCPI fait partie du groupe "Génie Industriel" d'Arts et Métiers ParisTech Centre de Paris. Pour atteindre cet objectif, deux champs d'investigation complémentaires ont été identifiés et sont en forte interaction :

- le premier est relatif à l'enrichissement du processus de conception par l'intégration de nouveaux métiers (thème Métier).
- le second est relatif à la formalisation globale du processus de conception afin de mieux le comprendre et de pouvoir l'optimiser (thème Processus).

Dans le thème Métier l'objectif est d'extraire, formaliser et modéliser les spécificités des différents métiers (règles, connaissances, pratiques et outils) contribuant à l'évolution du processus de conception. L'objectif du thème Processus est de formaliser les divers processus individuels et collectifs qui interagissent au sein des projets de conception. La modélisation de ces processus contribue à la maîtrise des phases de divergence et de convergence du processus transverse, en intégrant les différents points de vue métiers dans une approche collaborative. Ces deux thèmes de recherche s'enrichissent des nouvelles technologies support des activités de conception. Ces technologies constituent à la fois une base de réflexion et un champ d'action. Leurs propriétés actuelles et leur potentiel d'optimisation pour la conception de produits permettent de mettre au point de nouvelles méthodes et outils. La Figure 3 ci-dessous présente la synthèse de ces thèmes.



Figure 3 : illustration des deux thèmes, Métier et Processus, développés au LCPI.

C'est plus particulièrement l'approche collaborative intégrant les différents points de vue métiers du thème Processus que nous allons développer dans nos travaux de thèse. En effet, nous verrons que les représentations intermédiaires (RI) sont un vecteur de communication qu'il convient d'analyser afin de proposer un environnement collaboratif optimisé et prenant en compte les spécificités des acteurs de la conception.

### 1.2.2.2 LA MAQUETTE NUMERIQUE ET SON UTILISATION

La mission du projet Ingénierie Numérique des Systèmes Mécaniques (INSM) du LSIS dans lequel mes travaux s'intègrent est de contribuer à la maîtrise des processus de développement de produits et des informations associées tout au long de leurs cycles de vie ; ceci pour améliorer *in fine* les performances et la compétitivité des produits mécaniques eux-mêmes.

Le point focal de ces recherches est alors de proposer de nouveaux paradigmes d'utilisation de la maquette numérique dans les phases amont pour réellement supporter l'émergence au juste besoin des multi-intentions (multi-acteurs) de conception et les processus de décision collaboratifs.

Les activités de recherche du projet INSM s'appuient sur une équipe maîtrisant plusieurs domaines de compétences. Les travaux de recherche seront menés à trois niveaux complémentaires :

- Niveau "expertises métiers" afin d'augmenter le capital de connaissances métiers issues des activités clés du cycle de vie du produit pouvant être intégrées dans la phase de conception du produit et avoir ainsi une approche proactive de la conception et non plus uniquement réactive.
- Niveau "prototypage virtuel et maquette numérique" pour être capable de gérer l'ensemble des informations relatives au cycle de vie du produit et de fournir une ou plusieurs représentations adaptées de la maquette numérique, utilisables dans les processus de prise de décisions.
- Niveau "prototypage physique" pour pouvoir identifier et valider des modèles ainsi que des méthodes d'analyse et de contrôle.

Notre positionnement se situe au niveau des expertises métiers pouvant être intégrées en conception. Nous verrons également qu'au niveau "maquette numérique", les simplifications de celle-ci peuvent améliorer les performances de nos propositions.

### 1.2.2.3 SYNTHÈSE DU POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE

La Figure 4 ci-dessous illustre la synthèse des travaux scientifiques réalisés par les laboratoires partenaires, en lien avec nos objectifs scientifiques de recherche.

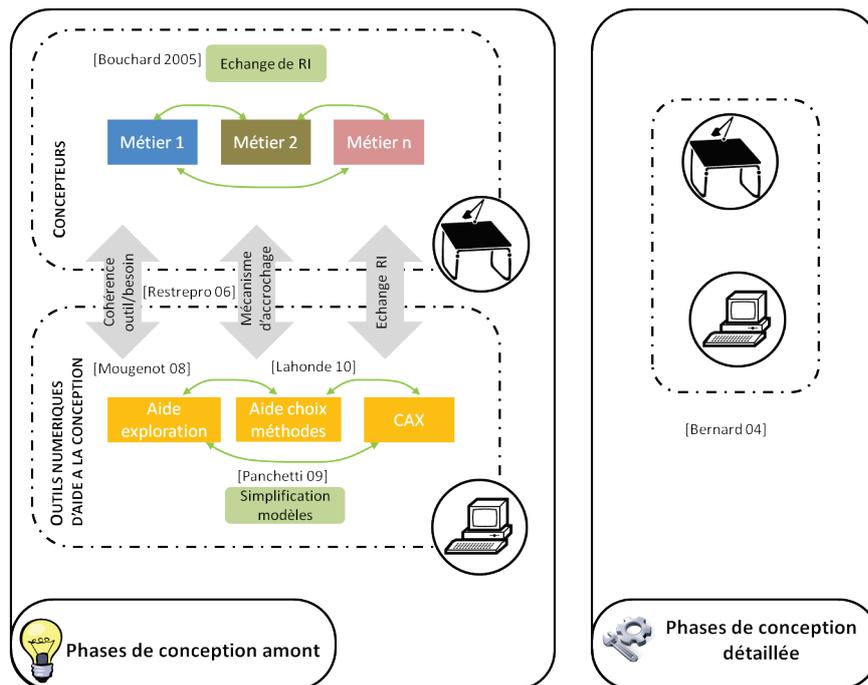


Figure 4 : synthèse des travaux des laboratoires partenaires, en lien avec nos objectifs scientifiques de recherche.

Tout d'abord, au sein du LCPI, les travaux de (Bouchard et al. 2005) insistent sur le rôle fondamental des RI du produit dans le processus de conception. En effet, l'activité de conception nécessite, lors de sa réalisation, l'utilisation de plusieurs représentations du produit, avec différents niveaux de complexité. Ces représentations générées au cours de la conception du produit sont appelées représentations intermédiaires (RI). Notre positionnement par rapport à ces travaux est que les RI générées au cours de la phase de conception amont peuvent servir de support efficace à la collaboration, et donc être un vecteur (le principal?) d'informations d'un environnement collaboratif amont.

Puis, les travaux de (Restrepo 2006), sont orientés sur le CSCW, ou travail coopératif assisté par ordinateur (Computer Supported Cooperative Work), qui est une approche scientifique qui étudie les interactions du travail coopératif avec les outils informatiques qui les supportent, aussi appelés "groupware". Dans ses travaux, il explore les causes d'échec de ces technologies tant du point de vue de la conception même des outils que du point de vue de leur intégration en entreprise. Pour y remédier, il propose deux mécanismes favorisant une appropriation réussie des "groupware" élaborés en entreprise. Le premier, nommé mécanisme d'explicitation participative des besoins collectifs se focalise sur la cohérence de l'outil avec les besoins collectifs et le second, mécanisme d'accrochage, sur l'obtention de l'utilisation effective de l'outil, à travers trois expérimentations menées au sein de l'entreprise Saint-Gobain Glass. Cependant, les mécanismes d'accrochages décrits dans ces travaux, visant à l'appropriation d'outils développés et mis en œuvre industriellement, nous semblent prématurés dans notre étude car les développements logiciels menés ne seront pas assez avancés pour une utilisation industrielle "clefs en main".

Ensuite, les travaux de (Mougenot 2008) ont pour but, dans le cadre du projet TRENDS, de proposer les spécifications d'un outil d'aide à l'exploration des designers. Le constat est qu'il existe peu d'outils numériques qui aident les concepteurs dans la phase d'exploration, au contraire de la phase de génération pour laquelle il existe depuis presque trente ans des outils supports comme la conception assistée par ordinateur (CAO). Pour définir les spécifications d'un tel outil, l'activité des concepteurs dans la phase d'exploration (activité cognitive et pratique professionnelle) a été modélisée et les liens entre la phase d'exploration et la phase de génération, qui lui fait suite dans le processus de conception ont été identifiés. Notre positionnement par rapport à ces travaux est que l'outil développé peut s'intégrer dans un environnement collaboratif support, afin de permettre de couvrir tout le cycle de développement du produit concerné. Ces travaux sont cependant en amont de ceux développés dans cette thèse (voir Figure 5).

Enfin, les travaux de (Lahonde 2010) ont pour objectif principal de développer un modèle de sélection des méthodes de conception. Le développement de ce modèle a été réalisé à l'aide de critères définis au préalable, qui entrent en considération lors de la prise de décision. Ces facteurs, internes et externes au processus, aiguillent vers un choix optimal de méthodes, c'est-à-dire qu'ils orientent vers la sélection de méthodes adaptées au projet particulier. Le lien existant entre l'espace problème du contexte projet et l'espace solution des méthodes de conception disponibles a par ailleurs été mis en lumière. De plus, ce modèle, qui contient des données descriptives et prescriptives supportant le choix des méthodes, est en constante évolution de par la nature dynamique et évolutive des connaissances théoriques et expérimentales qui y sont intégrées. Notre positionnement par rapport à ces travaux est que l'outil d'aide au choix de méthodes de conception peut être le préalable à la définition d'un environnement collaboratif amont. En effet, le choix d'une méthode de conception impose un arrangement des tâches et une implication des acteurs qui sont différents. Ce choix est donc un livrable d'entrée nécessaire à la définition de nos travaux.

En synthèse, la Figure 5 ci-dessous présente une articulation possible des travaux de recherche présentés. Chaque contribution constitue un module connectable (notion de *plug&play*) à une colonne vertébrale du processus de conception numérisé. Au début de ce processus, les travaux de (Restrepo 2006) permettent d'explicitier les besoins liés aux groupware, ensuite, ceux de (Lahonde 2010) permettent de choisir une méthode de conception adaptée au projet, ceux de (Mougenot 2008) permettent d'aider les designers dans la phase d'exploration. La méthodologie de développement d'environnement collaboratif amont que nous défendons s'intègre dans la continuité. Les outils logiciels développés dans le cadre de ces deux derniers travaux peuvent augmenter la portée des environnements de travail collaboratif qui sont proposés.

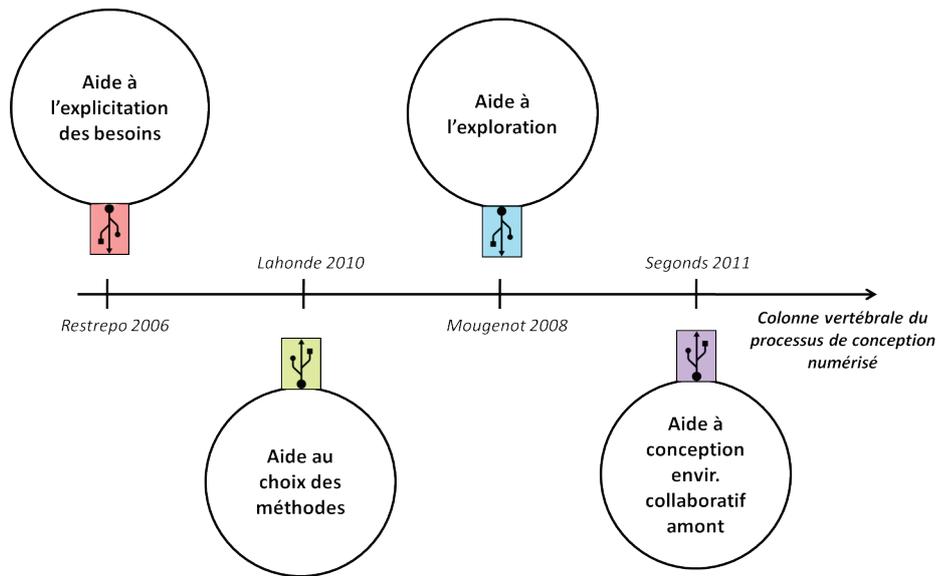


Figure 5 : agencement des travaux de thèse, vers une numérisation du processus de conception.

Ensuite, au sein du LSIS, les travaux de (Bernard 2004) se sont déroulés dans le cadre du projet aéronautique ENHANCE (ENHanced AeroNautical Concurrent Engineering, ou conception concurrente améliorée pour l'aéronautique) et plus particulièrement au sein de la tâche COSITE (COMmon multiSITE collaborative work methods, ou méthodes de travail communes multisite) en lien avec Eurocopter. Cette tâche a pour rôle de déterminer les méthodes et les outils associés qui permettent d'améliorer les collaborations entre les partenaires impliqués dans le développement d'un programme aéronautique. Cette thèse propose une approche de spécification d'un environnement d'Ingénierie Collaborative multisite et présente sa mise en œuvre dans le cadre du projet. La démarche initiée dans ces travaux sera analysée, dans l'objectif de fournir un prototype d'environnement collaboratif amont.

Enfin, les travaux de (Panchetti 2009) portent sur la simplification de modèles polyédriques en conception mécanique. Cette simplification permet la manipulation, le stockage et la transmission de modèles lourds qui sont utilisés au sein de maquettes numériques de produits. Ainsi, la simplification pertinente et adaptée des modèles polyédriques sous-jacents devient un véritable enjeu afin de permettre l'indexation, le stockage, la manipulation et la maintenance des informations. La simplification d'un modèle géométrique consiste à réduire le nombre de données (nombre de faces d'un modèle polyédrique) nécessaires pour représenter l'objet selon un ou plusieurs critères. Ces critères sont en général spécifiés par l'utilisateur et ils dépendent de l'activité qui va être menée ensuite. Le lien de ces méthodes avec les RI générées au cours du processus de conception amont, qui peuvent être sous forme de CAO 3D ou autre, permettrait un allègement des fichiers échangés via l'environnement collaboratif. Ainsi, la fluidité et la rapidité des échanges pourraient être grandement améliorées.

La Figure 6 ci-dessous reprend en synthèse le positionnement scientifique de nos travaux par rapport à ceux des laboratoires partenaires. Ainsi, les travaux de (Panchetti 2009) sont un support afin de faciliter les échanges de données liés à la maquette numérique. Les travaux de (Bernard 2004) présentent un environnement dédié à la phase de conception détaillée.

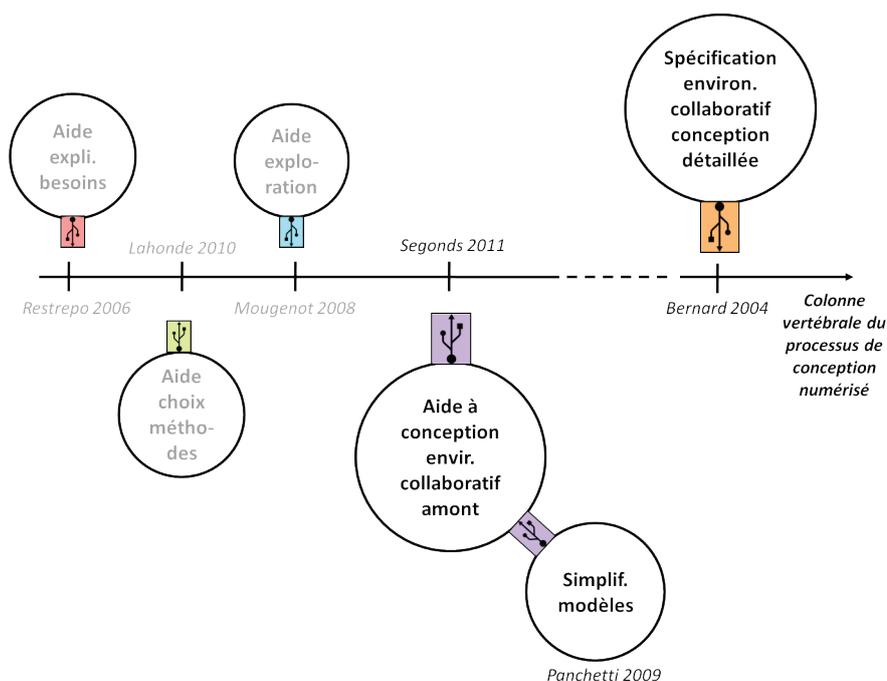


Figure 6 : positionnement scientifique par rapport aux travaux des laboratoires partenaires.

Notre positionnement par rapport aux laboratoires partenaires étant effectué, nous allons dans le chapitre suivant présenter notre positionnement par rapport aux autres entités de recherche françaises et internationales.

### 1.2.3 POSITIONNEMENT PAR RAPPORT AUX AUTRES ENTITES DE RECHERCHE

La définition d'un environnement collaboratif, adapté à la conception en entreprise, est une thématique de recherche internationale. Nous avons déjà cité les travaux des laboratoires partenaires de cette thèse. Sur le plan international, certains s'y intéressent par le nécessaire aspect de numérisation du processus, d'autres en étudiant l'intégration des connaissances dans les environnements de travail collaboratif, d'autres enfin en insistant sur le rôle majeur que peut jouer internet dans le développement de tels outils. En France, il convient de citer le projet IPPOP (Intégration Produit - Processus - Organisation pour l'amélioration de la Performance en ingénierie) lancé en 2001 et regroupant les laboratoires LAPS (Université Bordeaux 1), LMP (Université Bordeaux 1), CRAN (Université Henri Poincaré, Nancy), LASMIS (Université de Technologie de Troyes), GSCOP (INP Grenoble). Ce projet a pour objectif d'optimiser la conception et la performance dans un cadre collaboratif, de supporter les données utilisées dans le processus de prise de décision collaboratif, ainsi que de mettre en relation des représentations logicielles du produit et de ses données décrites par plusieurs vues produit. Ce projet s'inscrit dans une démarche d'intégration des dimensions Produit-Processus-Organisation et d'extension des logiciels de Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO) existants en prenant en compte les aspects technologiques liés à la conception et à l'emploi de solutions de gestion des données techniques. Les principaux objectifs de ce projet sont :

- d'intégrer les connaissances liées au produit et au processus pour contribuer à l'augmentation du patrimoine technologique de l'entreprise et à la maîtrise de la conduite de l'activité de conception.

- de faire évoluer les outils de représentation du produit et de processus afin de supporter la capitalisation des connaissances technologiques et leur exploitation lors de nouveaux projets.
- de développer et mettre en œuvre un environnement de travail adapté pour la conception coopérative.
- de permettre la gestion et la coordination de la conception concourante en vue de l'amélioration continue des performances de l'ingénierie.

Nous identifions clairement le rapport entre ces travaux et les nôtres, qui sont cependant ancrés dans des phases plus amont de la conception de produit. Néanmoins, certains aspects restent les mêmes, comme la gestion des données ou les outils de génération de RI qui doivent supporter les connaissances liées au projet.

En synthèse, les Figure 7 et Figure 8 ci-dessous ainsi que le Tableau 1 proposent une vue d'ensemble des laboratoires français, mais également internationaux, qui travaillent sur la thématique de définition d'environnement de conception collaborative. Ces résultats seront développés dans la partie "Etat de l'Art" de la 2<sup>ème</sup> partie.

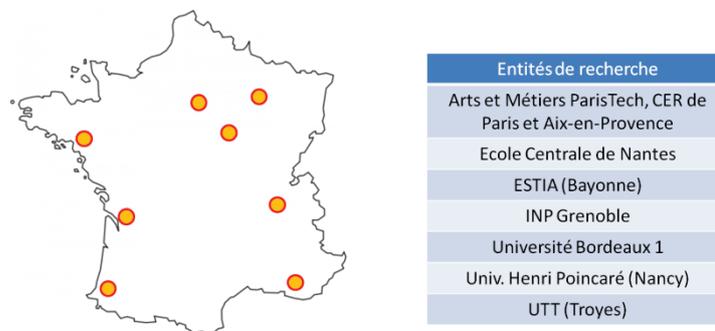


Figure 7 : positionnement français des travaux de recherche.



Figure 8 : positionnement international des travaux de recherche.

Pays	Entités de recherche
Corée du Sud	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Department of Computer Science.</li> <li>• Department of Industrial Information and Systems Engineering.</li> <li>• Department of Aerospace Information Engineering.</li> </ul>
Taiwan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Department of Vehicle Engineering.</li> </ul>
USA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Naval Surface Warfare Center.</li> <li>• Geometric and Intelligent Computing Laboratory.</li> <li>• MathWorks.</li> </ul>
Québec	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Department of Mechanical and Industrial Engineering.</li> </ul>
Canada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• National Research Council.</li> </ul>
Chine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Institute of Computer Integrated Manufacturing.</li> <li>• School of Mechanical Engineering and Automation.</li> <li>• School of Computer and Software.</li> <li>• School of Mechanical Engineering.</li> <li>• School of Mechanical and Vehicular Engineering.</li> <li>• University of Science and Technology.</li> <li>• Modern Education Technology Center.</li> </ul>
Hong-Kong	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nanyang Technological University.</li> </ul>
Singapour	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Singapore Institute of Manufacturing Technology.</li> </ul>
Allemagne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Department of Production Engineering.</li> </ul>
Royaume-Uni	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design and Manufacturing Research Group.</li> </ul>
Nouvelle Zélande	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Department of Mechanical Engineering.</li> </ul>

Tableau 1 : principaux pays et entités concernés par la thématique de définition d'environnement de conception collaborative.

La multitude des entités concernées est représentative de la transversalité de cette thématique de recherche. Ainsi, nous retrouvons des départements de conception, mais également d'informatique, d'aérospatiale ou de navale, répartis sur le globe.

Notre positionnement étant à présent défini, nous allons dans le chapitre suivant présenter les principaux verrous associés à cette recherche.

### 1.3 VERROUS SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE LIES A LA THEMATIQUE DE RECHERCHE

A l'heure actuelle, les outils d'ingénierie collaborative sont en plein essor. En effet, la mondialisation des activités, et en particulier de la conception de produit, génère un besoin en collaboration distante, synchrone ou asynchrone. Des outils ont été développés par les éditeurs de solutions logicielles. Cependant, ces outils ne couvrent pas les besoins de la phase amont de conception, mais plutôt ceux de la phase de conception détaillée. De plus, leur mise en application est parfois délicate. Ceci se traduit par le fait qu'un grand nombre de ces applications informatiques sont peu utilisées voire désinstallées après

quelque temps (Grudin 1988). Face à ces constats, la question de recherche posée est donc : comment définir un environnement collaboratif multi-contraintes visant à favoriser le travail collaboratif, adapté aux phases amont de conception ?

Le verrou scientifique associé est de travailler, en phase de génération de concepts, sur les pratiques de conception (méthodes et modèles) afin de déterminer comment les intégrer et les implémenter, dans un contexte collaboratif, à la chaîne numérique et limiter ainsi les pertes de données. Le verrou technologique est de comprendre, dans les phases situées en "aval" de la conception, les travaux déjà réalisés afin de voir s'ils sont applicables en amont. Les outils logiciels amont sont encore peu développés (Mougenot 2008), mais certains concepts sont déjà connus (SGDT ou PLM par exemple). La Figure 9 ci-dessous illustre le positionnement de ces verrous par rapport aux travaux des laboratoires partenaires.

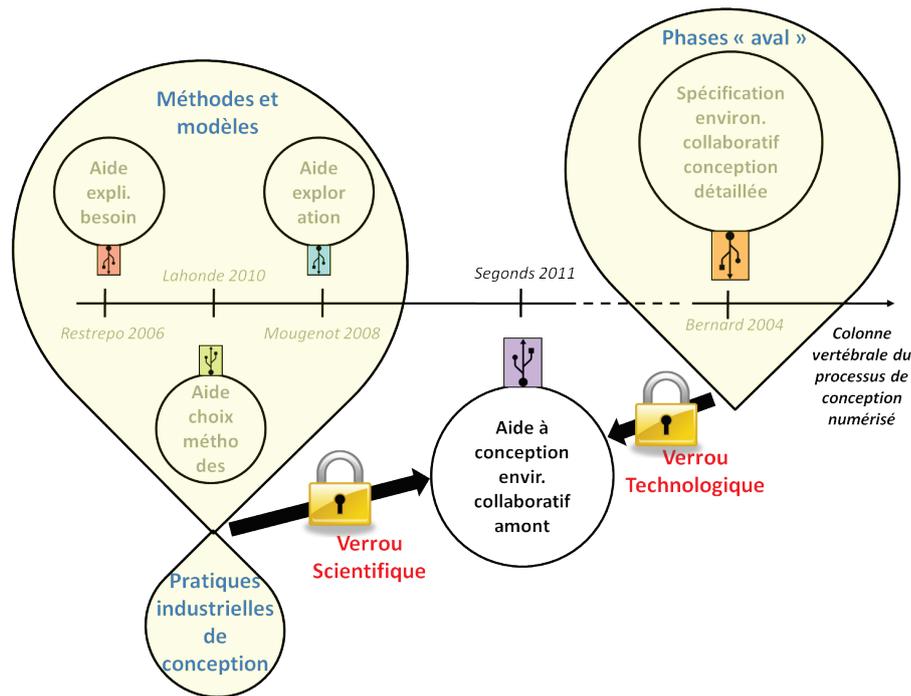


Figure 9 : positionnement des verrous scientifique et technologique par rapport aux travaux des laboratoires partenaires.

Notre positionnement scientifique ainsi que les verrous associés étant définis, nous allons réaliser un état de l'art, scientifique et fondé sur des pratiques industrielles, en vue de mieux comprendre le domaine de la conception amont de produits et celui des environnements collaboratifs supports.



## **2 ETAT DE L'ART SCIENTIFIQUE ET DES PRATIQUES INDUSTRIELLES EN CONCEPTION COLLABORATIVE DE PRODUIT**





## **2.1 INTRODUCTION A L'ETAT DE L'ART**

La spécification d'un environnement collaboratif amont implique, dans un premier temps, de définir les termes que nous employons pour décrire ces phases, ainsi que leurs différentes acceptions courantes. Dans le chapitre suivant, nous définissons tout d'abord ce qu'est un concept dans son application à la conception de produits, avant de préciser les notions de coordination, coopération et collaboration.

### **2.1.1 METHODOLOGIE DE REALISATION DE L'ETAT DE L'ART : UNE APPROCHE DUALE, SCIENTIFIQUE ET PRATIQUE**

La conception collaborative de produit est une activité complexe qui fait appel à de nombreuses compétences. Afin de procéder à son analyse préalable, nous menons un état de l'art en deux parties distinctes. La première partie consiste en un état de l'art scientifique des ouvrages et publications de référence dans le domaine de la conception collaborative. Nous étudions pour cela les processus de conception les plus répandus, puis analysons l'évolution des pratiques en conception de produit, avec l'avènement du Concurrent Engineering (CE) ou conception concurrente, puis de l'Ingénierie Collaborative (IC) et, plus récemment du PLM. Enfin, nous analysons la collaboration en conception fondée sur les RI du produit. Une deuxième partie consiste en l'étude, via des projets, des pratiques industrielles issues de différents secteurs afin d'en extraire des pratiques communes. Nous tirons, de ces études de cas, un état des lieux actuel des pratiques de collaboration, en particulier dans les phases amont du projet. Cet état de l'art complet permet par la suite de faire des propositions d'environnements collaboratifs argumentés et au plus près des spécifications voulues, par un enrichissement réciproque entre les recherches scientifiques et les études de pratiques industrielles. Ainsi, nous positionnons nos travaux dans le domaine de la recherche action, en lien direct avec l'industrie et les sciences de la conception. Recherche action et science de la conception sont d'ailleurs intimement liées, voire similaires comme le montre (Järvinen 2007) : après comparaison de sept aspects clefs de ces deux activités (résultats concrets de l'étude, connaissances produites, activités, intention et nature d'une étude, division du travail dans une étude et la production, utilisation des connaissances), la concordance entre les caractéristiques de la recherche-action, d'une part et des sciences de la conception d'autre part est très bonne. Ce constat nous encourage dans notre démarche. La Figure 10 ci-dessous résume notre approche de l'état de l'art.

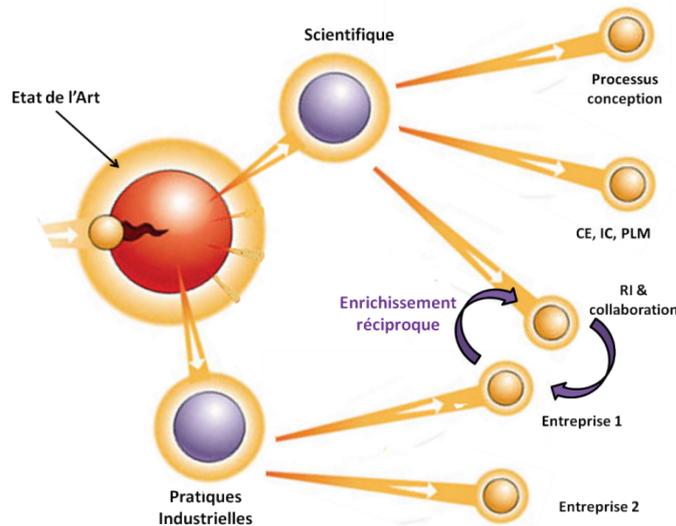


Figure 10 : méthodologie de réalisation de l'état de l'art, approche duale.

Nous allons maintenant, en préalable à notre travail d'état de l'art, définir les deux termes que l'on retrouve de manière courante lorsque l'on évoque la conception amont : la conception en elle-même ainsi qu'un de ses livrables, le concept. C'est l'objet du chapitre suivant.

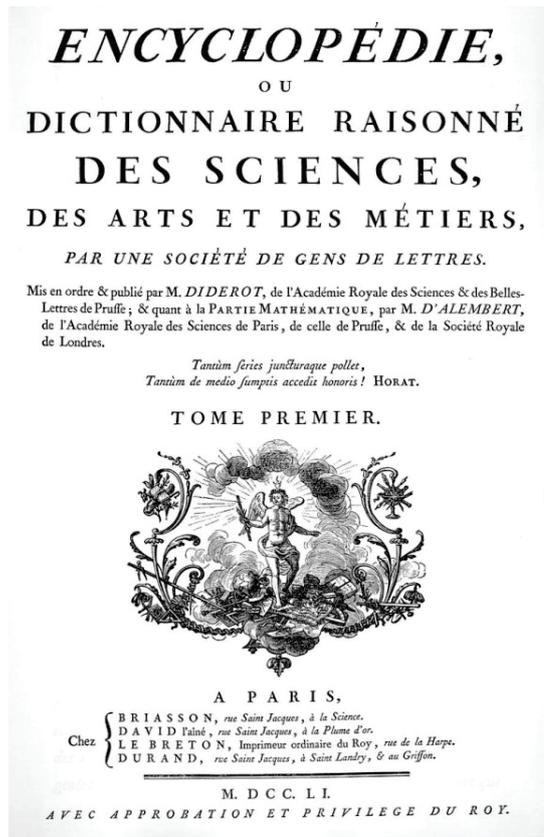
## 2.1.2 LA CONCEPTION ET LE CONCEPT

Notre positionnement est ancré dans les sciences de la conception. La conception est le cœur d'activité des deux laboratoires qui soutiennent cette thèse. Par conception, nous entendons conception de produit ou de service. Celle-ci a, dans ses premières phases, pour mission de concrétiser de manière progressive une idée en produit industrialisé. L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence le côté "multi-métiers" de la conception de produits, ainsi que le rôle prépondérant du concept, qui est largement présent dans la littérature lorsque l'on parle de conception amont. Nous analysons ensuite les différentes significations du terme concept, en fonction de la culture métier à l'origine de sa génération, dans le but de proposer une définition de ce terme que nous retiendrons tout au long de ce manuscrit.

### 2.1.2.1 LA CONCEPTION

L'une des premières définition de la conception est donnée par Denis Diderot dans sa célèbre Encyclopédie (Diderot et al. 1751) dont un extrait est présenté à la Figure 11 : "La conception...lorsqu'elle est active, elle donne l'industrie, mère de l'invention, si nécessaire dans les Arts, et si profitable à certains peuples...". On cerne ici la vocation première des sciences de la conception qui est d'inventer afin d'industrialiser des produits dont le but est d'améliorer la vie des peuples. Dans ce même article, on note déjà l'idée que la conception est un processus prospectif dont le résultat dépend largement de la perception des protagonistes. Diderot note qu'il arrive que "l'âme [soit] quelquefois entraînée de conception en conception par la liaison des idées qui cadrent avec son intérêt présent : alors, il se fait un enchaînement successif de proche en proche d'une étendue de compréhension à une autre [...] qui lui fournit les connaissances selon lesquelles elle se détermine". Ainsi, on comprend que la conception est une action qui

gagne à être pratiquée avec plusieurs compétences métiers qui travaillent ensemble afin de permettre un foisonnement d'idées lié à une multitude "d'intérêts présents".



**CONCEPTION**, f. f. (*Logiq.*) La *conception* ou la *compréhension*, est cette opération de l'entendement par laquelle il lie les idées des choses en les considérant sous certaines faces, en fait les différentes branches, les rapports, & l'enchaînement.

Il arrive encore que l'ame est quelquefois entraînée de *conception* en *conception* par la liaison des idées qui quadrent avec son intérêt présent : alors il se fait un enchaînement successif de proche en proche d'une étendue de compréhension à une autre, de-là encore à une autre, & toujours par le secours de l'intérêt, qui lui fournit des connoissances selon lesquelles elle se détermine plus ou moins convenablement.

La progression de la *conception* est plus ou moins étendue, selon le degré de perfection du *sensorium commune* : plus il est parfait, plus l'ame peut recevoir de perceptions distinctes à la fois. L'étendue & le degré de perfection de la *conception*, règle l'étendue & la promptitude du bon sens ; elle fournit même souvent le fond & la forme des raisonnemens, sans le secours de la raison ; mais quand elle est trop bornée, ou trop irrégulière, elle fait toujours naître des décisions vicieuses.

Il résulte de ce détail, qu'il est très-important de tâcher de concevoir les choses sous les idées qui leur sont propres, de se rendre la *conception* familière par l'attention, & de l'étendre par l'exercice : elle ne fait pas le génie, mais elle y contribue quand elle agit promptement ; & lorsqu'elle est active, elle donne l'industrie, mere de l'invention, si nécessaire dans les Arts, & si profitable à certains peuples. *Art.* de M. le Chevalier DE JAUCOURT.

Figure 11 : extrait du chapitre "Conception" de l'Encyclopédie de Diderot, (Diderot et al. 1751).

Plus récemment, le dictionnaire de l'Académie Française définit la conception comme "l'action de former le concept d'un objet et, par extension, d'appréhender un objet par la pensée ; action de former dans son esprit, d'imaginer, d'inventer [...]. Un projet au stade de la conception[...]. Les défauts de conception d'une machine. Un appareil de conception ancienne, récente". La conception a donc comme principal objectif de former, dans son esprit, un concept.

Ainsi, le concept est l'élément central de la conception de produit. Dans la littérature, on trouve plusieurs acceptions à ce terme, en fonction de la culture et des spécificités métiers rencontrées.

### 2.1.2.2 LE CONCEPT

L'une des principale phase de notre étude est la phase de "conceptual design" ou "conception conceptuelle" au sens de (Pahl et al. 2007). Dans cette phase, un livrable intermédiaire fourni est un concept de solution. L'état de l'art montre que la définition de ce terme varie considérablement d'un métier à l'autre. Or, le but d'un environnement collaboratif amont étant d'être transverse, une des premières étapes vise à clarifier ce que nous entendons par concept de solution.

Selon le dictionnaire (Larousse 2011), le concept est "une idée générale et abstraite que se fait l'esprit humain d'un objet de pensée concret ou abstrait, et qui lui permet de rattacher à ce même objet les diverses perceptions qu'il en a, et d'en organiser les connaissances". On retrouve, dans cette définition, toute l'étendue de signification du concept. On note que l'objectif principal d'un concept est de permettre

aux personnes à qui il est exposé de rattacher des perceptions et des connaissances. Le concept est donc un objet de perception et de connaissance.

Pour une première illustration d'un concept, nous nous référons au domaine de l'architecture. La Figure 12 présente le concept du musée à croissance illimitée, présenté en 1934 par Le Corbusier. Tout d'abord, le choix du mode de RI (Bouchard et al. 2005) est proche de celui de la conception de produits à dominante plus "mécanique". Il s'agit d'un croquis présentant l'analogie entre la forme d'un escargot et celle du musée. Réduisant le musée à sa seule fonction d'exposition (Nauze 2008), Le Corbusier imagine une construction résolvant les problèmes de flexibilité et d'extension qui préoccupent alors les professionnels. Construit en forme de spirale carrée, ce musée peut, grâce à sa structure modulaire, s'étendre de manière "illimitée". Chaque module, possédant le minimum d'équipement requis pour l'exposition, est en mesure de s'ajouter aux autres et former ensemble un espace continu.

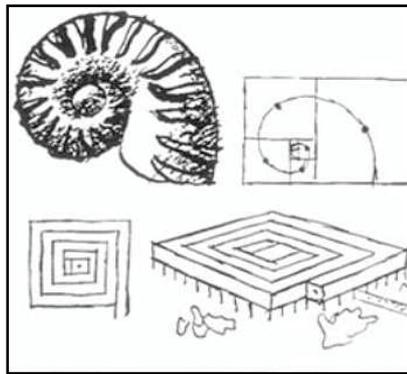


Figure 12 : concept du musée à croissance illimitée de Le Corbusier.

Dans le domaine de la conception industrielle, plusieurs auteurs ont défini ce qu'est un concept (Aoussat 1990; Hatchuel et al. 2002; Ullman et al. 2003; Pahl et al. 2007).

Selon (Aoussat 1990), un concept de produit est à la confluence de deux concepts qui permettent de mieux le définir : le concept d'usage et le concept de technologie. Le concept d'usage sert à valider l'esthétique, l'ergonomie et la convivialité du produit ; le concept de technologie permet quant à lui la validation du procédé et du matériau retenus. On retrouve, au long du développement du projet, trois classes de concepts en fonction du type de projet : court, moyen ou long-terme.

Selon (Hatchuel et al. 2002), un concept est "une notion ou une proposition sans statut logique[...] [qui] évoque une proposition inconnue relativement à la connaissance disponible". Cette définition est quelque peu en opposition avec celle de (Larousse 2011) car, ici, le concept ne permet pas un rattachement aux notions de perception et d'organisation des connaissances. (Hatchuel et al. 2002) font appel à la notion de connaissance disponible qui limite la définition d'un concept à une proposition inconnue (*i.e.* un concept de machine à café n'est pas viable). Un exemple est la définition du concept d'un bateau-volant qui ne soit pas un hydravion. Ce concept n'a pas de statut logique et il présente une nouvelle proposition vis-à-vis de la connaissance connue. La Figure 13 présente une évolution de ce concept, avec quelques voies de solutions technologiques.

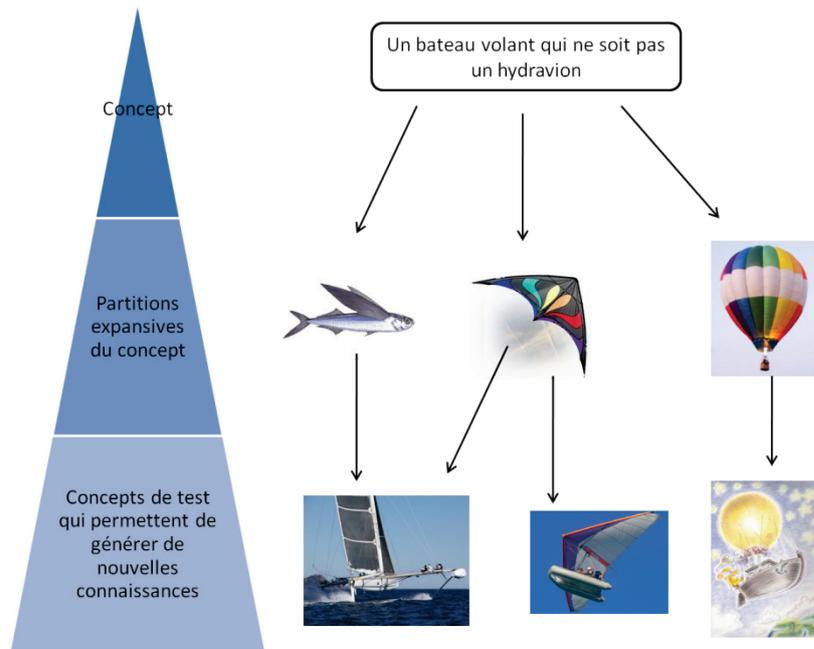


Figure 13 : évolution du concept de bateau volant.

Pour (Ullman et al. 2003; Pahl et al. 2007), la définition du concept est plus orientée vers le développement de produit industriel à dominante mécanique.

Pour (Ullman et al. 2003) un concept est une idée qui est suffisamment développée pour évaluer les principes physiques qui gouvernent son comportement. On voit ici que le concept est donc déjà plus étoffé que ceux présentés auparavant car on fait référence aux principes physiques mis en jeu.

Ensuite vient la définition de la conception systématique allemande ("systematic engineering design" en anglais) présentée en détail par (Pahl et al. 2007). Cette méthodologie est à l'origine destinée à la conception de machines complexes. Elle est définie par la décomposition de tout raisonnement de conception en quatre étapes principales : une étape d'identification des fonctions ; une étape de choix des modèles conceptuels ; une étape "d'embodiment" c'est-à-dire de déploiement de l'architecture physique du système, avant la phase de conception détaillée. La deuxième de ces étapes nécessite le choix d'un concept de solution qui est défini précisément. Ainsi, "il est en général nécessaire de considérer plusieurs sous-fonctions (sous-problèmes) quand on développe des nouveaux produits. Ces fonctions, ou les combinaisons de ces fonctions, amènent à des solutions partielles. Dans une telle situation, les concepteurs peuvent procéder de différentes manières. Une des possibilités est de chercher des principes de fonctionnement pour chaque sous-fonction ou groupe de sous-fonctions, afin de tester leur compatibilité et de les combiner sommairement en une structure de fonctionnement globale appelée concept de solution". Ici, la notion de concept de solution est encore plus détaillée qu'auparavant étant donné que les concepts physiques sont non seulement entérinés mais l'encombrement et la structure du produit sont figés. A titre d'exemple, la Figure 14 présente deux concepts pour un banc d'essais utilisé pour tester la durabilité d'une liaison arbre-moyeu. On note un niveau de détail déjà important, et assez éloigné du concept défini, par exemple, par (Hatchuel et al. 2002).

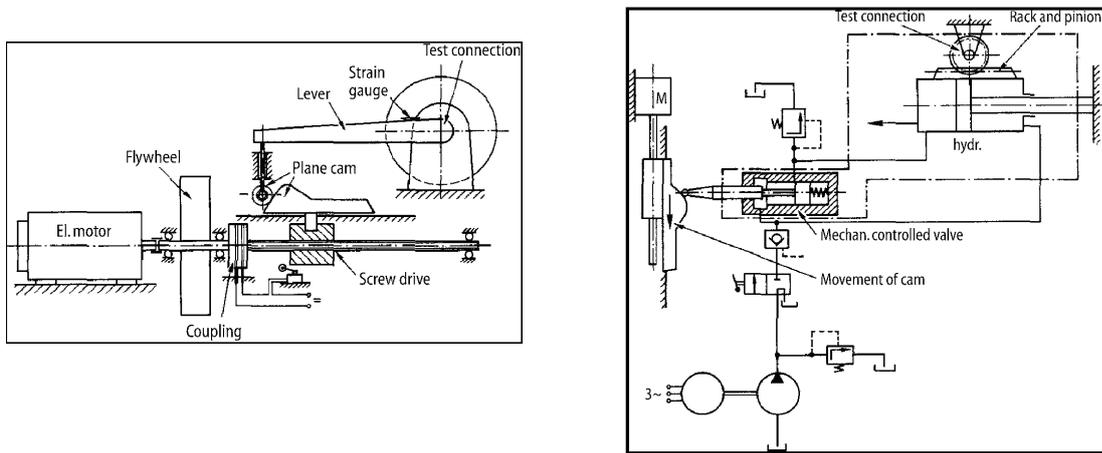


Figure 14 : concepts d'un banc d'essais, selon (Pahl et al. 2007).

Afin de clarifier nos apports, nous définissons dans nos travaux de recherche le concept d'un produit comme une RI générée au cours du processus de conception et faisant apparaître les formes et matières du futur produit ainsi que ses principales dimensions. A titre d'exemple, la Figure 15 présente un concept de bouteille de vin, développé dans le cadre d'un partenariat industriel. On distingue clairement les formes, les matières ainsi que les volumes de la solution.



Figure 15 : concept de bouteille de vin de Terre-Neuve.

Les principaux termes liés à la conception étant définis, nous allons maintenant détailler les termes liés au travail commun entre plusieurs acteurs, qui est le socle de la conception actuelle.

### 2.1.3 COORDINATION/COOPERATION/COLLABORATION : LES TROIS C

La conception d'un produit industriel fait appel à de multiples tâches réparties entre plusieurs acteurs de la conception, qui peuvent être dans des lieux distants. La concrétisation progressive de l'idée en un concept puis un produit industrialisé nécessite une planification préalable des échanges, ainsi qu'une structure qui les supporte. Les actions principales en conception de produit sont la coordination des tâches à effectuer, puis des actions de coopération et de collaboration qui couvrent tout le cycle de développement du produit. L'intégration d'un environnement collaboratif en conception amont de produit nécessite donc la définition exhaustive de ces termes qui peuvent sembler proches.

### 2.1.3.1 LA COORDINATION ENTRE ACTEURS DE LA CONCEPTION

Au sens étymologique du terme, la coordination est issue du verbe coordonner qui vient du latin *ordinare* : mettre en ordre. La coordination est donc l'action de mettre en ordre (Dauzat et al. 1988).

La coordination est un ensemble de règles et de procédures permettant à un groupe de fonctionner de manière efficace et harmonieuse. La coordination relève donc d'une réelle gestion des tâches. Elle définit un ordre, une structure statique, permettant de maximiser le travail en groupe (Dameron 2003). Selon (Darses et al. 1996), une dimension fondamentale est ici le temps. Pas nécessairement le temps objectif (c'est-à-dire celui de l'horloge), mais le temps du système (par exemple, entreprendre l'action quand la machine affichera telle valeur) ou le temps du partenaire (par exemple, entreprendre l'action quand le partenaire commencera telle action). La coordination est donc centrée sur la répartition des tâches, sans se focaliser sur les attendus de ces tâches. Selon (Lonchamp 2003), quand il y a partage d'un attendu global, on peut parler de travail collectif. Pour améliorer le processus de conception de produits, les entreprises s'appuient aujourd'hui sur des structures de travail qui privilégient l'aspect collectif du travail (de Terssac et al. 1996). Quand les attendus globaux diffèrent, on peut alors parler de travail individuel. Dans le cas d'un travail collectif, si les sous-buts des acteurs sont communs, on peut parler de collaboration. Si les sous-buts diffèrent, on parle alors de coopération. La Figure 16 présente la synthèse des différents cas de coopération/collaboration possibles.

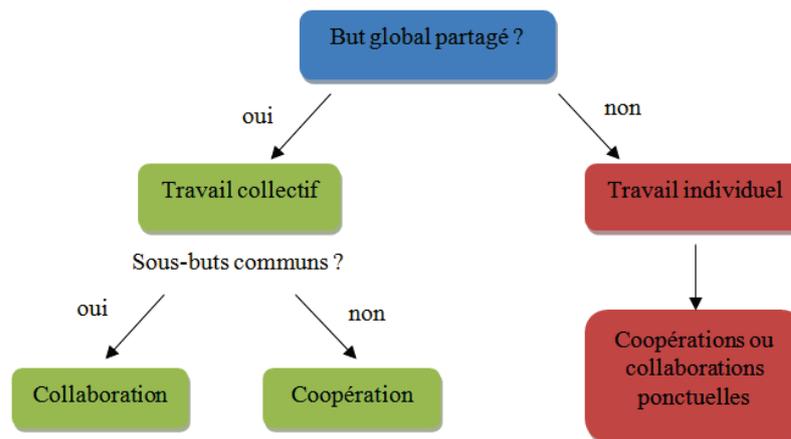


Figure 16 : les différents cas de coopération/collaboration possibles

### 2.1.3.2 LA COOPERATION EN CONCEPTION, OU A CHACUN SA PARTIE DU TOUT

Dans le langage courant, coopération et collaboration sont souvent employés comme synonymes. Cependant, nous allons voir qu'il existe des particularités pour chacun de ces termes.

Au sens étymologique, coopération est issu du latin *operari* : travailler, lui-même issu de *opus* (*,eris, n.*) qui signifie l'ouvrage, l'œuvre (Gaffiot 1964). Le préfixe *co* signifie avec. Ainsi la coopération est un travail collectif à une œuvre commune. Le travail coopératif est accompli par une division du travail dans laquelle chaque personne est responsable d'une partie de résolution d'un problème. Ainsi, on parle de travail coopératif quand deux ou plusieurs personnes travaillent conjointement dans un même objectif, chacun ayant à sa charge une part bien définie du travail à réaliser (sous-buts différents).

### 2.1.3.3 LA COLLABORATION EN CONCEPTION, OU LE TOUT POUR TOUS

Au sens étymologique, collaboration est issu du latin chrétien *collaborare* : travailler ensemble. Le terme *laborare* signifie quant à lui travailler, mais également prendre de la peine, ou se donner du mal. En effet, *labor(, oris, m)* signifie la peine, la fatigue, le labeur (Gaffiot 1964). Cette acception insiste donc sur l'engagement personnel vis-à-vis d'un travail collectif à réaliser du mieux possible.

On parle de travail collaboratif quand deux ou plusieurs personnes travaillant en mode synchrone ou asynchrone dans le même milieu ou dans des lieux différents, des lieux virtuels par exemple, échangent des points de vue sur des informations existantes, organisent leur travail collectif, etc. La collaboration implique donc un engagement mutuel des participants dans un effort coordonné pour résoudre ensemble un problème (Maranzana et al. 2008).

Un exemple, dans le domaine du bâtiment, est illustré sur la Figure 17. Des artisans participent au chantier de construction d'un immeuble d'habitation. Ils partagent le même but global : arriver à construire l'immeuble ; nous sommes donc dans un cas de travail collectif. Comme exemple de travail collaboratif, les carreleurs sont en charge de poser le carrelage et ils participent donc à un sous-but commun. Comme exemple de travail coopératif, les plombiers et les carreleurs travaillent conjointement afin de d'arriver au but global.

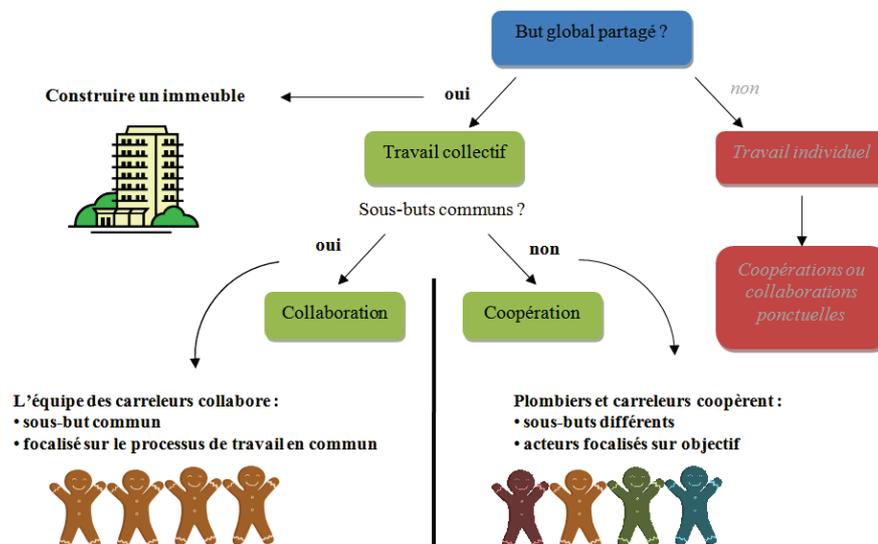


Figure 17 : exemple de collaboration et coopération dans le domaine du bâtiment.

La conception de produit est une activité collective (Ruiz Dominguez 2005). En effet, plusieurs acteurs agissent ensemble pour aboutir à un objectif commun : la conception du produit. Il existe, lors des phases de conception, des activités qui sont liées à la coordination (phase de planification du projet par exemple), d'autres sont plus proches de la collaboration (par exemple la phase de conception détaillée, où la réalisation des dessins de définition est un objectif commun à toute l'équipe projet par exemple), ou de la coopération (sous-traitance d'une partie du processus de conception, par exemple le dimensionnement) en fonction du produit et de l'entreprise concernés.

Cependant, les évolutions récentes dans la conception des produits et en particulier le phénomène d'entreprise virtuelle et étendue, font que les produits industriels conçus de nos jours sont de plus en plus développés de manière collaborative. Ceci permet une meilleure implication des parties prenantes, un partage des risques liés au projet ainsi que le passage progressif de la sous-traitance à la co-traitance, ou le partage des données et des risques en vue d'une collaboration optimisée.

#### **2.1.4 SYNTHÈSE DE L'INTRODUCTION A L'ÉTAT DE L'ART**

Nous avons, dans cette introduction à l'état de l'art, présenté notre approche fondée sur une partie scientifique et une partie d'étude des pratiques industrielles. Nous avons montré les apports potentiels d'une telle démarche. Ensuite, nous avons défini les termes centraux de la conception amont, à savoir la conception en elle-même et le concept d'un produit. Enfin, nous avons clarifié les termes liés à l'accomplissement d'un travail en commun que sont la coordination, la coopération et la collaboration.

Nous allons, dans le chapitre suivant, présenter la première partie de notre état de l'art, fondé sur l'étude d'ouvrages et de publications scientifiques.

## **2.2 ETAT DE L'ART SCIENTIFIQUE DES PROCESSUS DE CONCEPTION, DE LEURS ÉVOLUTIONS EN VUE DU DÉVELOPPEMENT D'UN ENVIRONNEMENT COLLABORATIF FONDE SUR LES RI DU PRODUIT**

Notre objectif de recherche est de proposer une méthode d'aide à la définition d'un environnement collaboratif amont. Dans ce cadre, il est important de formaliser au préalable le processus de conception du produit dans l'objectif de l'intégrer dans un outil support. Ensuite, il convient de synthétiser les évolutions des pratiques liées à la conception collaborative de produit (Concurrent Engineering, Ingénierie Collaborative et PLM) qui créent des synergies entre les acteurs, dans le but d'extraire les fonctionnalités pertinentes vis-à-vis de notre thématique. Enfin, cette analyse du processus nous sert également à identifier quelles sont les RI échangées au cours du cycle de développement du produit. Ces RI sont, lors des phases amont de conception, un support important de l'activité collaborative.

Notre démarche de réalisation de l'état de l'art scientifique est synthétisée sur la Figure 18 ci-dessous.

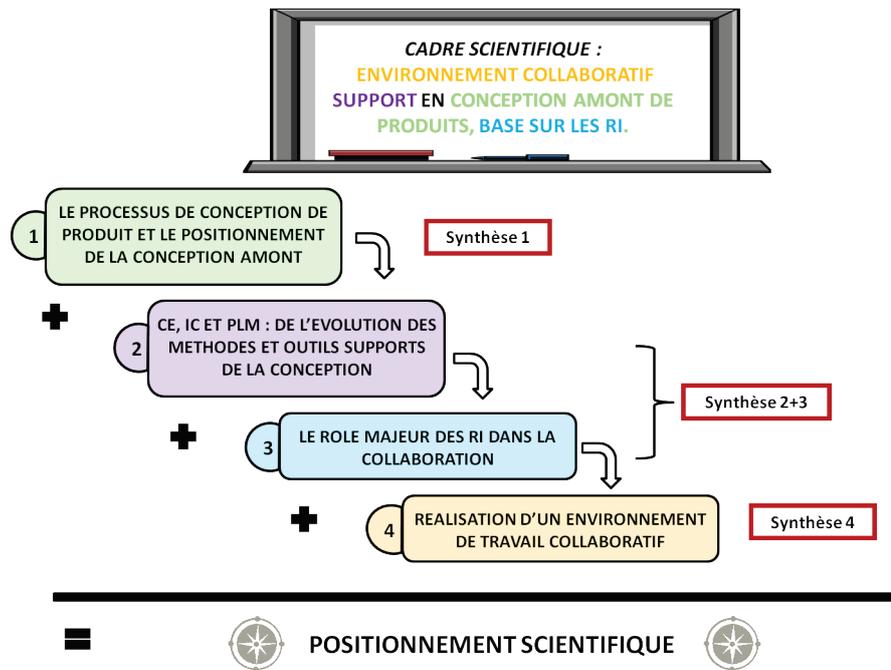


Figure 18 : démarche suivie pour l'état de l'art scientifique afin d'aboutir à un positionnement de nos travaux.

Dans ce chapitre, nous faisons successivement un état de l'art des modèles du processus de conception afin de positionner de manière précise les frontières de la conception amont. Puis nous illustrons l'évolution des méthodes et outils supports de la conception collaborative par la description du Concurrent Engineering, de l'Ingénierie Collaborative et du PLM. Enfin, nous constatons le rôle majeur des RI du produit en conception amont, puis analysons les méthodes de définition d'un environnement de travail collaboratif. Ces recherches bibliographiques nous amènent à un positionnement scientifique par rapport à l'ensemble de ces travaux.

## 2.2.1 LE PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUIT ET LE POSITIONNEMENT DE LA CONCEPTION AMONT

Dans ce chapitre, nous considérons les principaux processus de conception de produit ainsi que leurs formalisations. Dans un second temps, nous définissons les frontières de la conception amont et étudions les évolutions du contexte collaboratif en conception de produits, tant sur le plan des méthodes que des outils supports.

### 2.2.1.1 LES MODELES DE PROCESSUS DE CONCEPTION

#### I. INTRODUCTION

Le processus de conception a déjà fait l'objet de nombreuses modélisations. La compréhension du processus de conception est importante afin de gérer l'activité de conception en elle-même. Un processus de conception optimisé permet l'amélioration des produits et l'efficacité globale de l'ingénierie des entreprises. Dans leur étude, (Howard et al. 2008) présentent un tableau comparatif de vingt-trois

processus de conception (voir Tableau 2 ci-dessous) mettant en évidence les similitudes et les différences entre les phases qu'ils contiennent.

Models	Establishing a need phase	Analysis of task phase	Conceptual design phase		Embodiment design phase		Detailed design phase		Implementation phase	
Booz et al. (1967)	X	New product strategy development	Idea generation	Screening & evaluation	Business analysis	Development	Testing	Commercialisation		
Archer (1968)	X	Programming ; data collection	Analysis	Synthesis	Development		Communication	X		
Svensson (1974)	Need	X	Concepts	Verification	Decisions	X		Manufacture		
Wilson (1980)	Societal need	Recognize & formalize	FR's & constraints	Ideate and create	Analyze and/or test		Product, prototype, process	X		
Urban and Hauser (1980)	Opportunity identification	Design		Testing				Introduction ; Life cycle (launch) ; management		
VDI-2222 (1982)	X	Planning	Conceptual design		Embodiment design	Detail design		X		
Hubka and Eder (1982)	X	X	Conceptual design		Lay-out design	Detail design		X		
Crawford (1984)	X	Strategic planning	Concept generation	Pre-technical evaluation	Technical development		Commercialisation			
Pahl and Beitz (1984)	Task	Clarification of task	Conceptual design		Embodiment design	Detailed design		X		
French (1985)	Need	Analysis of problem	Conceptual design		Embodiment of schemes	Detailing		X		
Ray (1985)	Recognise problem	Exploration of problem	Define problem	Search for alternative proposals	Predict outcome	Test for feasible alternatives	Judge feasible alternatives	Specify solution	Implement	
Cooper (1986)	Ideation	Preliminary investigation	Detailed investigation		Development	Testing & Validation	X		Full production & market launch	
Andreasen and Hein (1987)	Recognition of need	Investigation of need	Product principle		Product design		Production preparation	Execution		
Pugh (1991)	Market	Specification	Concept design				Detail design	Manufacture ; Sell		
Hales (1993)	Idea, need, proposal, brief	Task clarification	Conceptual design	Embodiment design	Detail design				X	
Baxter (1995)	Assess innovation opportunity	Possible products	Possible concepts		Possible embodiments		Possible details	New product		
Ulrich and Eppinger (1995)	X	Strategic planning	Concept development	System-level design		Detail design		Testing & refinement ; Production ramp-up		
Ullman (1997)	Identify needs ; Plan for the design process	Develop engineering specifications		Develop concept	Develop product				X	
BS7000 (1997)	Concept		Feasibility	Implementation (or realisation)					Termination	
Black (1999)	Brief/concept	Review of 'state of the art'	Synthesis	Inspiration	Experimentation	Analysis / reflect	Synthesis	Decisions to constraints	Output	X
Cross (2000)	X	Exploration	Generation		Evaluation		Communication		X	
Design Council (2006)	Discover	Define	Develop			Deliver			X	
Industrial Innovation Process 2006	Mission statement	Market research	Ideas phase		Concept phase		Feasibility Phase		Pre production	

**Tableau 2 : synthèse des principaux processus de conception, et ceux répondant à notre cahier des charges (entourés), adapté de (Howard et al. 2008).**

Par rapport à ces travaux, nous pensons que la description du processus de conception et, de manière encore plus évidente du processus de conception amont, doit présenter une phase de définition du besoin. En effet, sans une définition claire du besoin, la conception du produit ne peut être en adéquation complète avec les attentes de l'utilisateur final. Parmi les vingt-trois modèles de processus de conception, seize remplissent cette condition. Ensuite, l'analyse des processus en vue de la définition d'un environnement collaboratif amont nous conduit à favoriser ceux qui détaillent fortement les premières phases de conception, sans forcément couvrir la phase d'implémentation. Six modèles de processus, entourés sur le Tableau 2, répondent à ce cahier des charges.

On note principalement pour ces modèles une décomposition en quatre à cinq phases comme dénominateur commun du processus de conception. Le modèle général de (Howard et al. 2008) en compte, quant à lui, six que nous détaillons ci-dessous :

### 1) L'analyse du besoin :

Dans cette phase a lieu l'identification des besoins des consommateurs. Ils s'expriment traditionnellement en terme de produits ou de services. Le livrable principal de cette phase est un recueil des spécifications de conception sous la forme d'un cahier des charges qui fixe les objectifs du projet de conception.

**2) La planification des tâches :**

Durant cette phase, les acteurs du projet évaluent la faisabilité du projet, clarifient les étapes à venir ainsi que les jalons associés. Ici, le problème posé lors de la conception commence à être exploré étant donné qu'il va falloir définir les besoins en terme de coûts et de personnels associés. Cependant, on ne parle pas encore de solution technologique pouvant répondre au problème.

**3) La conception conceptuelle :**

La conception conceptuelle ("Conceptual Design Phase" en anglais) consiste à explorer le problème de conception posé via le cahier des charges afin de proposer des pistes de solutions. C'est dans cette partie du processus de conception que l'on identifie les problèmes essentiels par l'abstraction, que l'on recherche des principes de fonctionnement ("working principles") appropriés. En les combinant dans une structure produit, on arrive à un principe de solution. Ainsi, la conception conceptuelle spécifie le principe de la (des) solution(s) retenue(s) (Pahl et al. 2007). La Figure 19 ci-dessous présente les principes de fonctionnement (à gauche) ainsi que le principe de solution retenu (à droite) pour une machine à ramasser les pommes de terre, adapté de (Pahl et al. 2007).

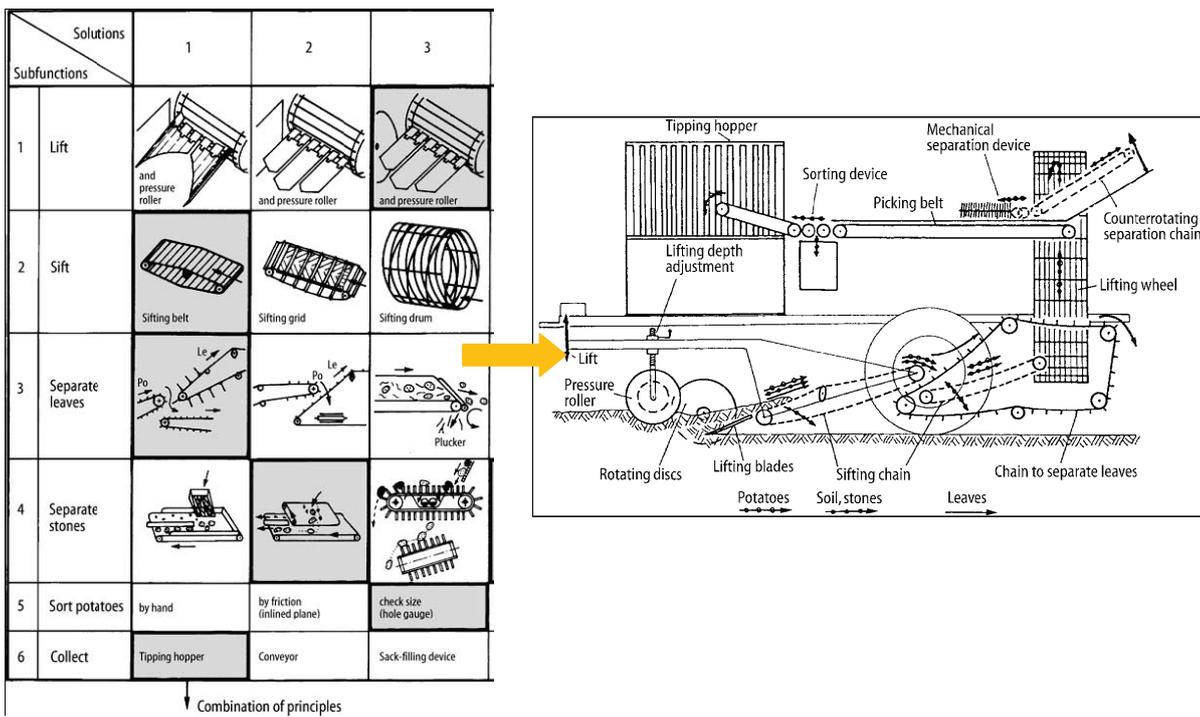


Figure 19 : principes de fonctionnement (à gauche) ainsi que leurs combinaison en principe de solution pour une machine à ramasser les pommes de terre, adapté de (Pahl et al. 2007).

Ces pistes de solutions sont à l'interface entre tous les métiers nécessaires à la création, au développement et à l'industrialisation du produit. Elles sont ensuite développées et sélectionnées en fonction de divers critères de performance, afin de définir des concepts de produit. C'est dans cette phase qu'apparaissent des idées, des concepts qui seront affinés par la suite. Elle est donc cruciale car elle fige déjà un bon nombre de paramètres de conception sur lesquels il sera beaucoup plus difficile d'agir par la suite. Or, comme le soulignent (Michaels et al. 1989) ou (Tichkiewitch 2010) sur la Figure 20 ci-dessous, c'est dans cette première phase que près de 80% du coût total du projet sont fixés alors que seulement 5% du coût sont effectivement payés.

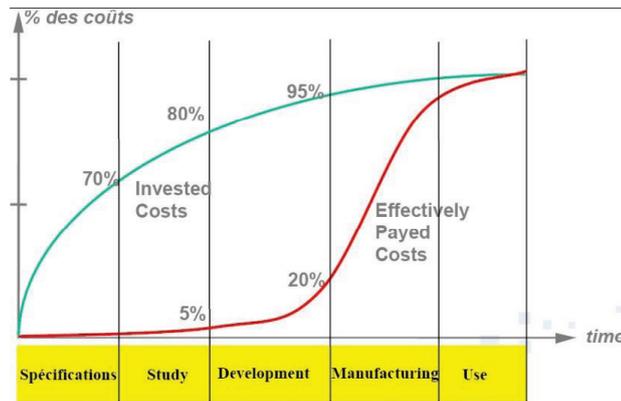


Figure 20 : courbe des coûts effectivement payés (rouge) et des coûts investis (vert) lors du développement d'un produit, adapté de (Tichkiewitch 2010).

#### 4) La conception architecturale

Cette phase de "Embodiment Design", qui signifie littéralement "conception donnant corps à la solution", ou conception architecturale, a pour but de structurer le futur produit. Dans ce but, les idées et concepts proposés à l'étape précédente sont formalisés afin d'aboutir à une architecture. Au sein du LCPI, les travaux de (Le Coq 2007) présentent une démarche en trois étapes afin de définir cette architecture produit (voir Figure 21). La première phase, qui vise à rechercher des architectures, est la plus créative. Viennent ensuite deux phases de définition puis de choix d'architecture. Cette dernière étape est peu formalisée alors que c'est ici que s'effectuent de nombreux choix, qui sont soit implicites, soit le fait d'un seul acteur (souvent le technologue). Cette phase est donc cruciale si l'on veut faire participer à la conception l'ensemble des métiers concernés.

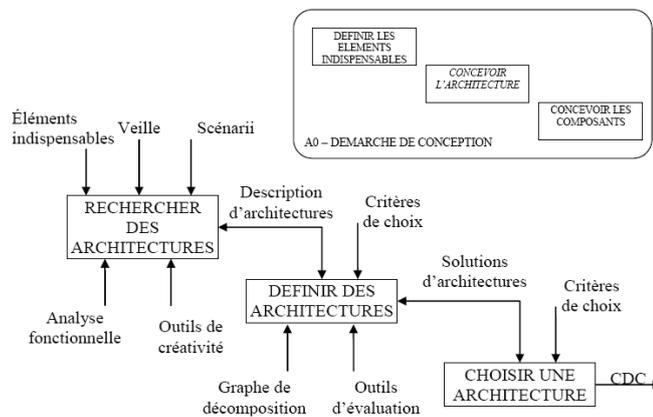


Figure 21 : démarche de définition d'une architecture produit, extraite de (Le Coq 2007).

Selon (Pahl et al. 2007), cette phase est la partie du processus de conception dans laquelle, en partant d'un concept de solution ou d'un concept de produit technique, l'équipe développe la conception en accord avec les critères techniques et économiques et "à la lumière des nouvelles informations", au point où la conception détaillée ultérieure mènera jusqu'à la production.

## 5) La conception détaillée

Cette étape permet, en partant de l'architecture détaillée auparavant, de définir tous les éléments nécessaires à la mise en production. La conception détaillée complète la phase de conception architecturale des produits techniques avec les dernières données concernant les formes, les dimensions, les propriétés de surface de chaque composant. Cela comprend également la sélection définitive des matériaux et un examen final des méthodes de production, des procédures d'exploitation et des coûts.

## 6) La phase d'implémentation

Cette étape n'est pas développée par tous les auteurs, étant donné qu'elle sort du giron traditionnel de la conception pour aller vers celui de la fabrication et de la vente. Les principales tâches réalisées ici sont le lancement de la production et de la commercialisation.

L'objectif de nos travaux n'est pas de faire un état de l'art exhaustif de tous les modèles de conception de produit existant dans la littérature. Nous avons centré notre étude sur deux modèles qui nous ont semblé pertinents, et que nous présentons dans les chapitres suivants. Tout d'abord le modèle développé par (Aoussat 1990) au LCPI car il nous permet de formaliser, par la suite, nos expérimentations. Ensuite, le modèle de (Pahl et al. 2007) issu de la conception des machines industrielles allemandes. Ce modèle est également pertinent car son niveau de détails permet d'étudier de manière fine les livrables intermédiaires fournis lors de la conception d'un produit. C'est également l'un des modèles de conception les plus répandus à l'heure actuelle, tant sur le plan pédagogique qu'industriel, et il fait partie des six modèles retenus dans le Tableau 2 précédent comme correspondant à notre cahier des charges.

## II. LE MODELE AOUSSAT

Les travaux du LCPI proposent des modèles du processus de conception tentant de le représenter de manière moins séquentielle que les approches habituelles. Le processus de conception n'est en effet pas un processus linéaire, mais laisse une grande place à l'itération (Aoussat 1990). Les travaux de (Aoussat 1990) et (Tollenaere et al. 1998) présentent une approche en quatre phases, illustrées sur la Figure 22 (niveau macroscopique à gauche et niveau détaillé à droite) :

- Traduction du besoin de l'entreprise : cette étape permet de passer du besoin exprimé par l'entreprise à un Cahier Des Charges Fonctionnel (CDCF).
- Interprétation du besoin : cette étape permet de passer du CDCF au Cahier des Charges Concepteur (CDCC), qui fige le design, la technologie employée ainsi que les performances du produit.
- Définition du produit : cette étape permet de passer du CDCC au dossier produit. Elle comprend la définition de l'architecture et des composants.
- Validation du produit, par des tests utilisateurs.

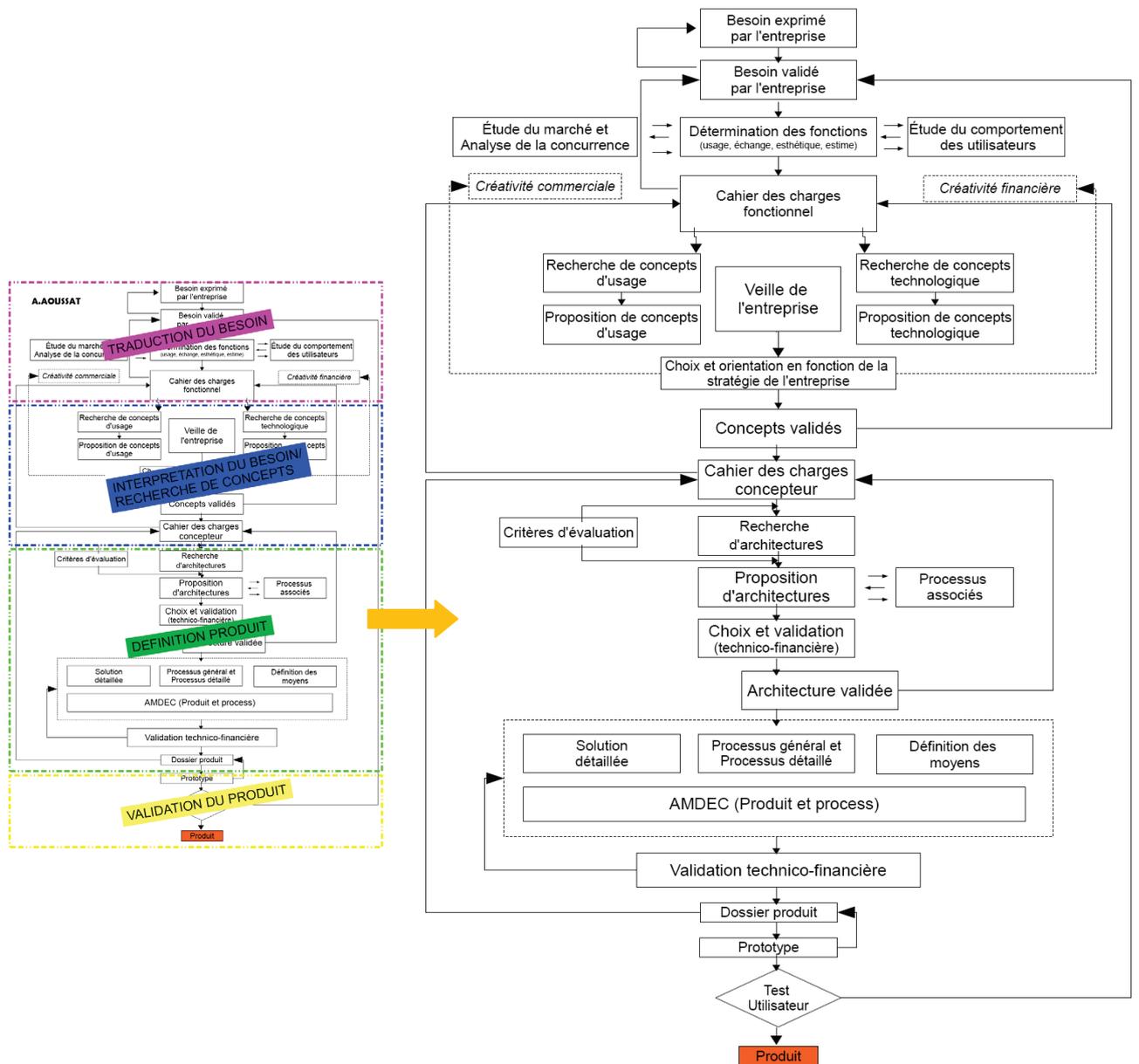


Figure 22 : modèle de conception de (Aoussat 1990), niveau macroscopique à gauche et niveau détaillé à droite.

La phase de traduction du besoin débute avec une identification du besoin de l'entreprise et s'achève par la rédaction du Cahier des Charges Fonctionnel (CDCF). Ensuite, l'objectif est de traduire les attentes de l'entreprise en un jeu de données exploitable par l'équipe de conception. La phase d'interprétation du besoin correspond à la génération de concepts et de principes de solution, notamment via des méthodes de créativité. Enfin, la phase de définition du produit affine le concept en une solution détaillée qui sera évaluée et validée dans la dernière phase de validation du produit. C'est cette démarche de conception de produits innovants qui a guidé notre raisonnement dans la méthode de définition d'un environnement collaboratif amont, et plus particulièrement dans la nécessaire formalisation des pratiques industrielles lors de nos expérimentations.

### III. LE MODELE PAHL AND BEITZ

Issu de la conception de machines industrielles, la première édition allemande de "Konstruktionslehre" a été publiée en 1977 (Pahl et al. 1977). La première édition en anglais intitulée "Engineering Design" a été publiée en 1984 (Pahl et al. 1984) et était une traduction intégrale du texte allemand. Cet ouvrage s'est rapidement établi comme référence importante dans le domaine de la conception technique systématique (ou "systematic engineering design") ; dans l'industrie, la recherche et l'éducation. Ainsi, l'approche systématique de la conception de produit est très présente dans la littérature internationale.

Pour (Pahl et al. 2007), la méthode de conception de produit se divise en quatre phases, illustrées sur la Figure 23 suivante. La phase de "Clarification des tâches et de planification" vise à analyser le marché et à élaborer une liste de spécifications que devra remplir le produit. La phase de "conceptual design", ou conception conceptuelle, permet d'aboutir à un concept de produit, qui prendra corps dans l'architecture définie lors de la phase "d'embodiment design". Enfin, la phase de conception détaillée sert à générer la documentation finale du produit, qui sera la référence lors de sa fabrication.

Nous allons détailler chacune de ces phases.

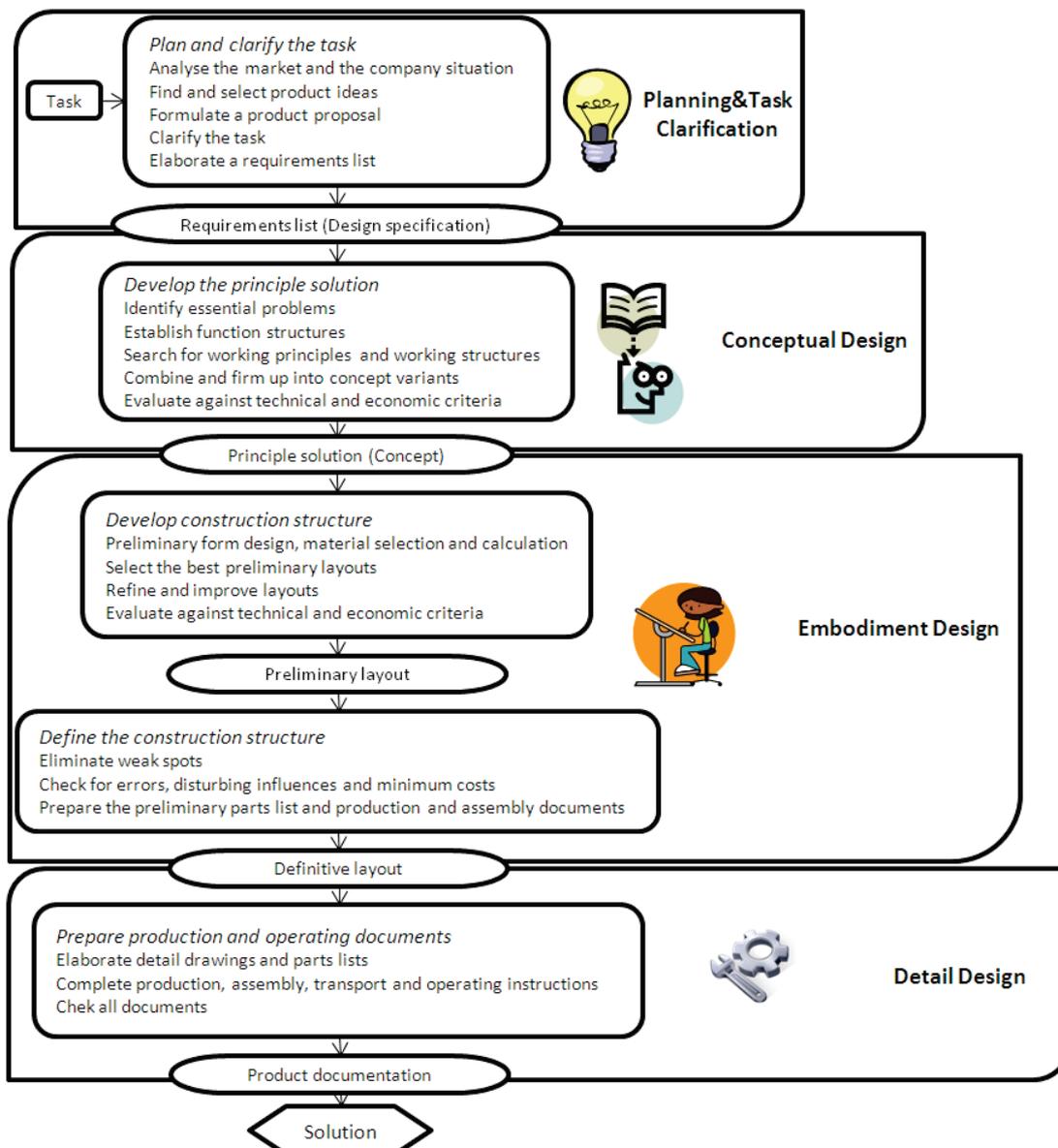


Figure 23 : processus de conception de produit, selon (Pahl et al. 2007).

### 1) Planning and task clarification, ou la définition et planification des besoins

Cette phase recense non seulement les caractéristiques du produit, telles que ses fonctionnalités et ses performances, mais aussi des informations sur les délais et les objectifs en terme de coûts. Les concepteurs sont alors confrontés au problème de l'identification des exigences qui détermineront la solution. Afin d'atteindre cet objectif, les questions suivantes doivent être posées, en étroite collaboration avec le client :

- Quels objectifs la solution envisagée doit-elle remplir?
- Quelles propriétés doit-elle avoir?
- Quelles propriétés ne doit-elle pas avoir?

Le résultat de ce processus est une liste de besoins (requirements list). Ce document représente donc le cahier des charges avec lequel peut être jugée la "réussite" du projet de conception.

### 2) Conceptual design, ou conception conceptuelle

Le Conceptual Design, est la partie du processus de conception où l'on identifie les problèmes essentiels par l'abstraction, on recherche des principes de fonctionnement (working principles) appropriés et, en combinant ces structures dans une structure de fonctionnement globale, on définit un principe de solution. L'accent est mis dans cette partie sur le caractère précis des données de sortie de cette étape. Ainsi, on rappelle l'exemple de la Figure 24, qui représente deux concepts (un mécanique et un hydraulique) pour un banc d'essais extrait de (Pahl et al. 2007). On peut d'ores et déjà noter qu'à ce stade la définition du produit est grandement avancée. Les principes physiques (par exemple choix du type d'énergie) gouvernant le fonctionnement du banc d'essais sont figés et les solutions technologiques sont déjà choisies.

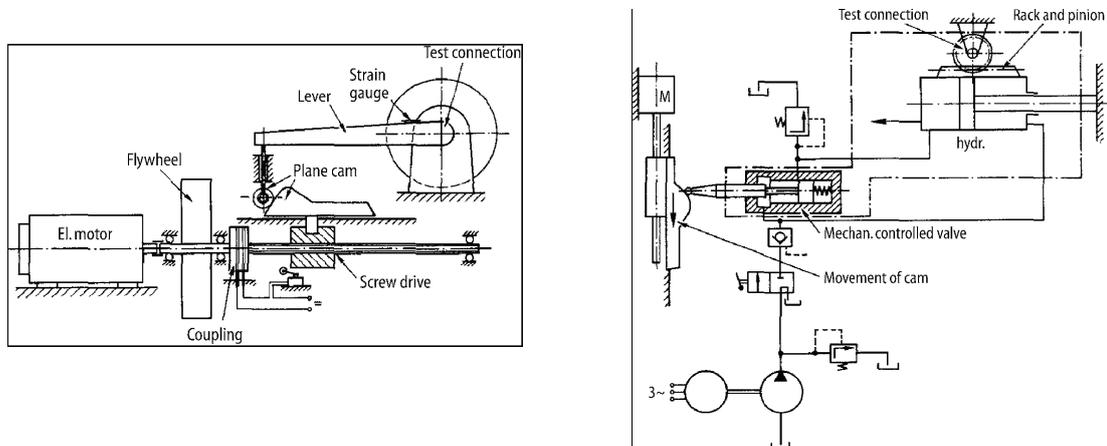


Figure 24 : concepts d'un banc d'essais, selon (Pahl et al. 2007).

### 3) Embodiment design, ou conception architecturale

L'embodiment design, ou conception architecturale, est la partie du processus de conception dans laquelle, à partir des concepts et du principe de la solution (voir exemple Figure 19, p40), la conception est élaborée conformément aux critères techniques et économiques, au point où la conception détaillée ultérieure pourra conduire à la production.

Cette phase peut être divisée en trois étapes successives :

- la division de la tâche à réaliser en modules.

- le développement des architectures des modules clefs ("preliminary layout", ou calque préliminaire).
- la finalisation de l'architecture globale du produit ("definitive layout", ou calque définitif).

A la fin de cette phase, les concepteurs déterminent le schéma d'arrangement global des pièces (contraintes spatiales) ainsi que la conception des formes préliminaires (formes des composants et matériaux) en accord avec le processus de production sélectionné. Pendant ces phases, les considérations technologiques et économiques sont d'une importance primordiale. La conception est développée à l'aide de dessins à l'échelle, soumis à un examen critique et à une évaluation technique et économique. Un des livrables intermédiaires de cette phase, qui marque, nous le verrons dans le chapitre suivant, la fin de la conception amont, est le calque ou tracé préliminaire (voir exemple Figure 25 ci-dessous).

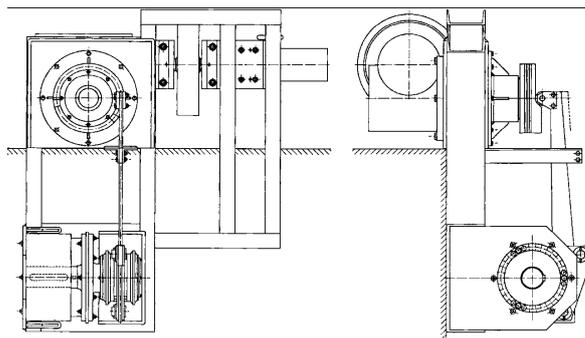


Figure 25 : exemple de tracé préliminaire, extrait de (Pahl et al. 2007).

Il est, selon (Pahl et al. 2007) souvent nécessaire de produire plusieurs représentations préliminaires à l'échelle simultanément ou successivement, afin d'obtenir plus d'informations sur les avantages et les inconvénients des différentes variantes du produit. Les tracés préliminaires sont à l'échelle et la conception comprend l'arrangement général et les principales formes pour les fonctions déterminantes du produit, ainsi que les matériaux. Le résultat final, après les itérations successives, doit respecter les contraintes spatiales globales, et ensuite être optimisé afin que toutes les fonctions du produit soient remplies. Les solutions connues, ou les composants existants (par exemple les roulements, courroies chaînes etc.) doivent être montrés sous forme simplifiée. La donnée de sortie de la phase d'embodiment est un tracé définitif, optimisé.

#### 4) Detail design, ou conception détaillée

Le "detail design", ou conception détaillée, est la partie du processus de conception qui complète la conception architecturale avec les dernières instructions au sujet des lignes, des formes, des dimensions et des propriétés des surfaces de tous les composants. Cette étape comprend également la sélection définitive des matériaux de tous les éléments. De plus, un examen final des moyens de production, des procédures opératoires et des coûts est réalisé. Un autre aspect important de la phase de conception détaillée est l'élaboration des documents de production, y compris les dessins de définition de chaque pièce, les dessins d'ensemble et les nomenclatures appropriées. Ces activités sont, à l'heure actuelle, majoritairement faites à l'aide des outils de CAO et SGDT (Système de Gestion des Données Techniques) du marché. Cela permet, dans une continuité de la chaîne numérique, d'utiliser des données directement issues de cette phase vers la phase de planification de la production ou, par exemple, la génération de parcours d'usinage.

Nos travaux de recherche visent à l'intégration des technologies supports du travail collaboratif en conception amont de produit. Maintenant que nous avons défini le processus de conception d'un produit, nous allons positionner de manière plus précise l'amont de la conception.

### 2.2.1.2 POSITION DE LA CONCEPTION AMONT DE PRODUIT

Nous avons vu que l'activité de conception est généralement présentée comme processus, avec un enchaînement de quatre à six phases (Pahl et al. 2007; Howard et al. 2008). La "frontière" entre conception amont et conception détaillée est à définir en premier lieu. Cette frontière fait l'objet de diverses interprétations. On peut citer les travaux de (Grebici 2007), pour lesquels la conception de produit comprend trois phases : définition du problème, phase conceptuelle et phase de conception détaillée. Dans ces travaux, les sous processus définition du problème et phase conceptuelle forment le processus de conception amont. Afin de positionner la frontière de la conception amont, nous nous appuyons sur le processus de conception développé par (Pahl et al. 2007). En effet, celui-ci présente une arborescence détaillée des activités de conception. On peut donc plus facilement positionner notre "frontière" (voir Figure 26).

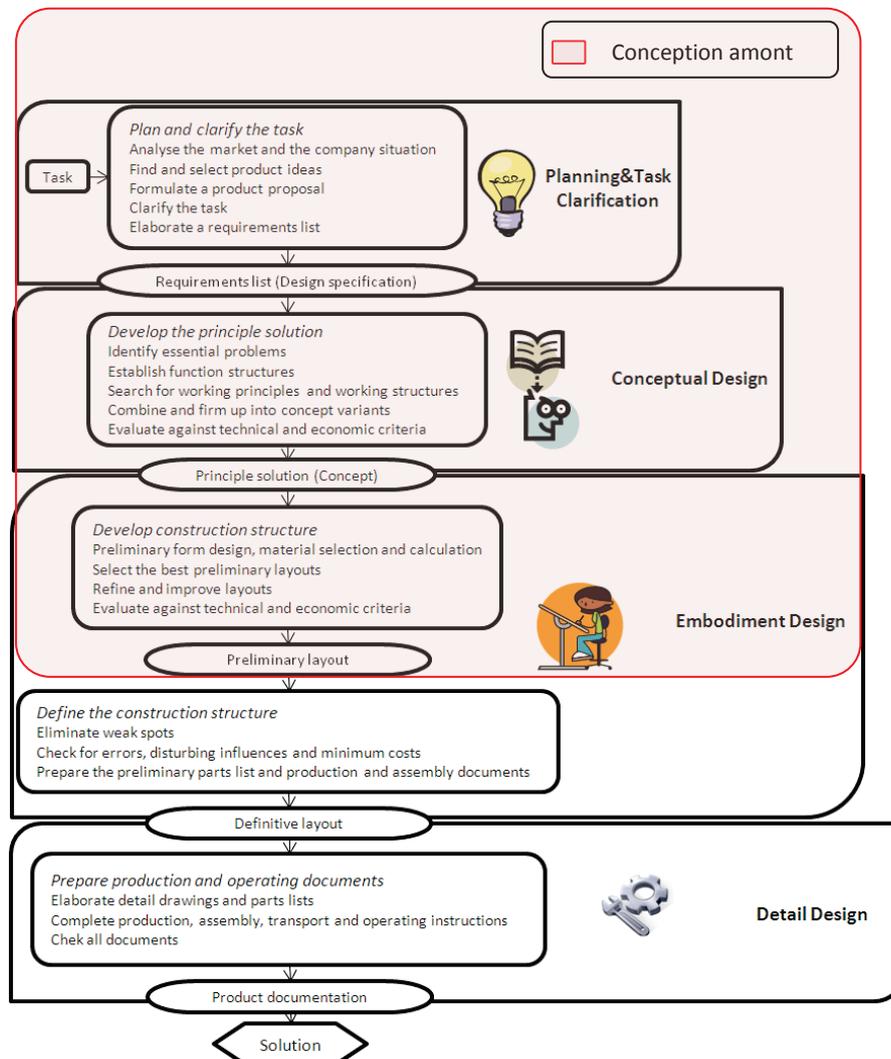


Figure 26 : position de la conception amont.

Selon (Segonds et al. 2009b) la conception amont regroupe les phases de définition et planification du projet, la phase de recherche et validation du concept et les premières étapes de la conception

architecturale, jusqu'à la génération d'un tracé préliminaire du produit. Il faut noter que cette "frontière" doit plutôt être considérée comme un barycentre de nos centres d'intérêts, mais qu'elle peut légèrement fluctuer en fonction du type de projet de conception concerné. Nous verrons au cours de nos expérimentations (4<sup>ème</sup> partie) des exemples de positionnement de cette frontière.

La conception amont fait appel à un grand nombre d'acteurs, qui doivent collaborer entre eux afin de développer un produit. Nous dressons dans le chapitre suivant un état des lieux de ces collaborations, en commençant par montrer que, si elles sont sources d'inventions, elles ne sont pas pour autant récentes, mais doivent beaucoup à l'histoire des sciences.

### 2.2.1.3 LES COLLABORATIONS EN CONCEPTION DE PRODUITS

L'objectif scientifique de nos travaux est de proposer un modèle d'aide à la définition d'un environnement collaboratif, à destination des entreprises. Dans ce but, il convient d'analyser finement les collaborations actuelles en conception, qui évoluent naturellement avec le contexte mondial. Nous montrons, au travers de l'exemple d'Edison, que la conception collaborative pluridisciplinaire n'est pas une innovation récente. Nous analysons ensuite l'évolution du contexte industriel récent, ainsi que des outils collaboratifs supports, dans l'optique de proposer un modèle au plus proche des besoins actuels.

#### I. L'EXEMPLE D'EDISON

La conception et l'émergence d'un nouveau produit ne datent pas d'aujourd'hui. Un exemple qu'il convient de garder en mémoire, car il est encore d'actualité, est celui du Bureau d'Etudes d'Edison ou "Edison Lab".

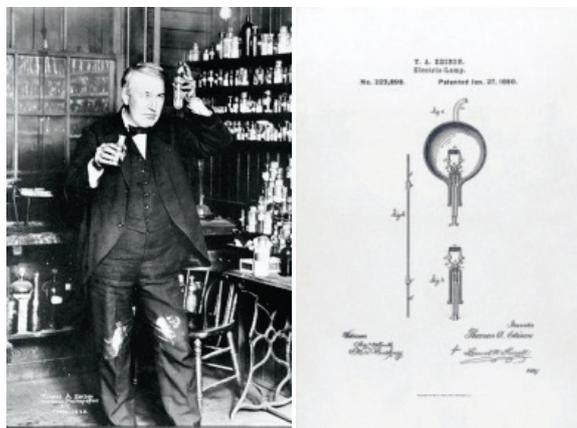


Figure 27 : Thomas Edison et son brevet de l'ampoule électrique à filament.

Thomas Alva Edison est né le 11 février 1847 dans l'Ohio et mort le 18 octobre 1931 dans le New Jersey. Cet inventeur et industriel américain, fondateur de General Electric est reconnu comme l'un des inventeurs américains les plus importants, revendiquant le nombre record de 1093 brevets (Giget 2007). Pionnier de l'électricité, diffuseur, vulgarisateur de technologies d'avant-garde, il est également l'un des inventeurs du téléphone, du cinéma et de l'enregistrement du son. Une de ses inventions les plus connues est l'ampoule électrique à filament, dont le brevet a été déposé en 1879 (voir Figure 27).

En fait, environ la moitié de ses brevets sont fondés sur des expériences. A l'image des réalisations d'Edison, le complexe de Menlo Park dressé pour ses travaux est révolutionnaire : il est l'un des premiers laboratoires de recherche et développement, fréquenté par 10 000 employés venant du monde entier. Edison organise les tâches de ses chercheurs afin qu'ils travaillent en équipes (voir Figure 28). De plus, son

approche de développement d'une invention depuis l'idée jusqu'à sa mise en place effective, et tout cela dans un seul et même endroit, est, à l'époque, unique. Cela a été repris beaucoup plus récemment avec la création des plateaux projets, comme par exemple chez Renault, dont le plateau regroupe tous les acteurs, qu'ils soient internes à l'entreprise ou sous-traitants dans le but de faciliter l'organisation concourante des tâches. Le premier étage du bâtiment principal de Menlo Park abrite l'atelier d'usinage et une salle de stockage, avec des objets de provenance mondiale : des outils, des pièces, ainsi que des carapaces de tortues, peaux d'éléphant, et autres bizarreries. Dans les étages se trouvent la salle de rédaction, le studio d'enregistrement musical, le laboratoire photo, etc. Edison encourage ses collaborateurs à la mobilité afin d'obtenir un foisonnement d'idées bénéfique pour l'innovation.

De cette manière, Edison a conçu un nombre important de produits innovants, dans des domaines aussi variés que l'électricité, le son, l'image, etc. Ce succès est en grande partie dû à la co-localisation d'experts de compétences multiples qui ont permis l'intégration de connaissances métiers dès les phases amont de conception, ce qui est maintenant connu sous le nom de conception intégrée, ou "Integrated Design" (Tichkiewitch et al. 2007).

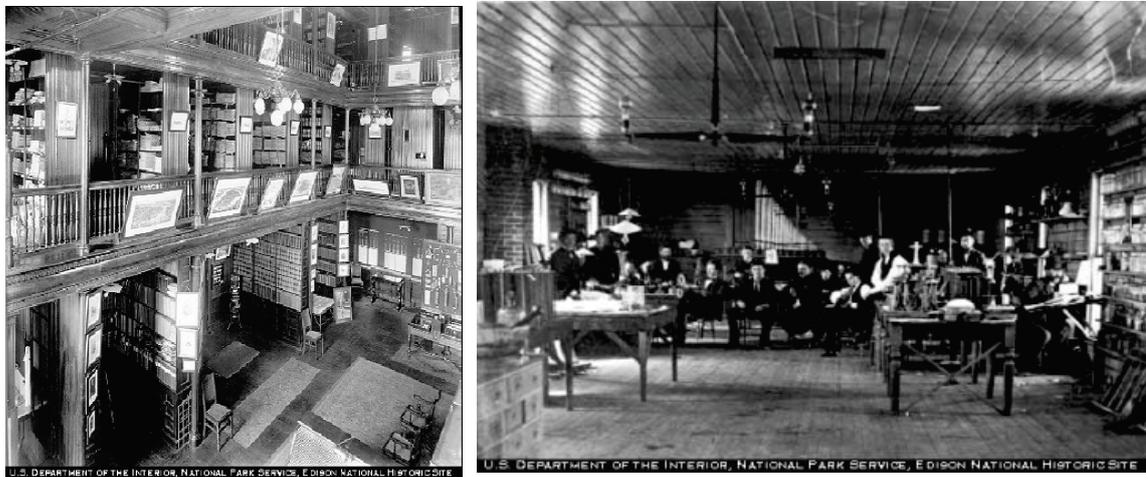


Figure 28 : la bibliothèque de Menlo Park et une photo d'une équipe de recherche d'Edison.

Pendant, si cette démarche est à l'époque révolutionnaire, le contexte industriel actuel de développement de produit est tout autre.

## II. LE CONTEXTE INDUSTRIEL ACTUEL

### A. COMPETITIVITE ET LEGISLATION : UNE EVOLUTION RECENTE

Dans un contexte marqué par une concurrence accrue, les entreprises doivent adapter leur organisation aux exigences de leurs clients. Ainsi, la réduction des cycles de développement et la complexité croissante des systèmes mécaniques obligent les entreprises à impliquer les acteurs de divers horizons professionnels et culturels dans les projets de conception. L'organisation des équipes de conception a également dû s'adapter à ces changements dans le contexte industriel. La Figure 29 illustre l'évolution des tendances dans la formation de nouvelles équipes de développement de produits qui tendent à de plus en plus de collaboration et de virtualité. A l'origine, les activités de conception étaient réalisées de manière sectorielle et séquentielle, sur un même lieu. Puis, l'organisation en équipe projet a permis le développement de produits par des équipes distantes géographiquement (activités de sous-traitance par exemple). Ensuite, des plateaux projets ont été réalisés avec l'avènement du Concurrent Engineering, en particulier dans l'industrie automobile (Sharifi et al. 2001), afin de regrouper les compétences sur un même lieu et de permettre une augmentation des interactions et des échanges informels entre les acteurs. Ainsi, les

équipes de développement affectées à plein temps au projet sont regroupées physiquement dans un espace commun. Enfin, la tendance actuelle à l'heure de la mondialisation est de concevoir des produits de manière distante, en se co-localisant grâce aux NTIC et outils supports (visio-conférence par exemple).

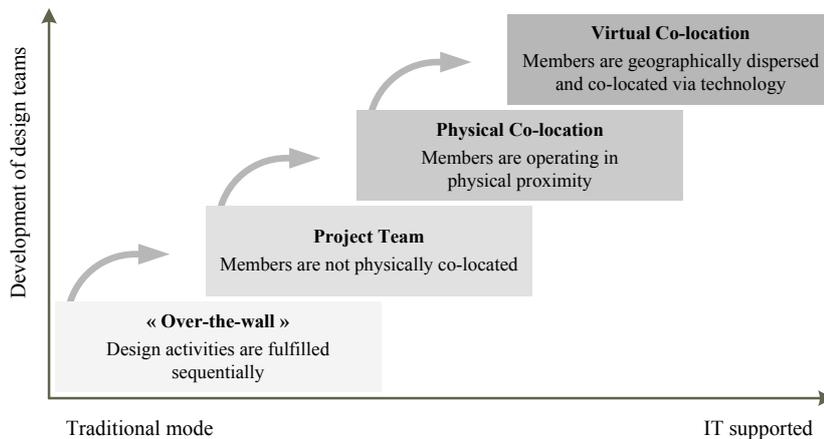


Figure 29 : évolution des tendances dans la formation de nouvelles équipes de développement de produits, adapté de (Sharifi et al. 2001).

De toute évidence, ces évolutions industrielles ont été soutenues par des évolutions dans les méthodes de travail et dans les outils numériques associés, telles que les solutions PLM.

Un autre changement important dans les habitudes de conception dès la première décennie du XXIème siècle est le phénomène de "Business Process Outsourcing" également connu comme "BPO" par diverses professions (Pezeshki et al. 2004). Celui-ci consiste à délocaliser de plus en plus d'activités à l'étranger, généralement dans les pays à bas coûts. Les premières activités impactées ont été la fabrication et, plus récemment, la conception des produits industriels. L'approche PLM pour la fabrication de produits complexes est maintenant considérée comme l'un des grands défis technologiques et organisationnels de cette décennie, pour faire face au raccourcissement inexorable des cycles de vie du produit (Pezeshki et al. 2004; Garetti et al. 2005).

De plus, les effets couplés de la compétitivité recherchée et des législations en vigueur conduisent à des buts contradictoires, comme présenté sur la Figure 30, extraite de (Tichkiewitch et al. 2010b).

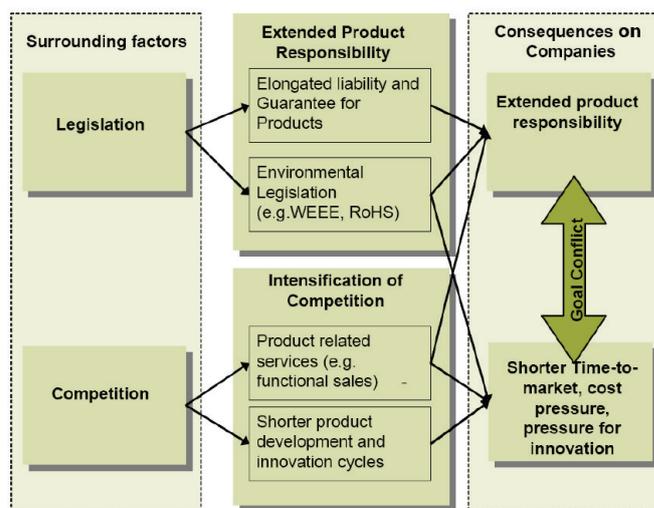


Figure 30 : les effets couplés de la compétitivité et de la législation, extrait de (Tichkiewitch et al. 2010b).

En effet, les entreprises sont confrontées à des défis de plus en plus difficiles à relever. Ainsi, les évolutions induites par la concurrence et la législation en vigueur ont une influence particulièrement forte sur celles-

ci. Dans plusieurs domaines industriels, il émerge de plus en plus de concurrents qui agissent souvent hors du pays, avec à la clef des avantages considérables grâce, par exemple, aux faibles coûts de la main d'œuvre locale. Les entreprises innovantes réagissent à cette pression en essayant de mettre en œuvre de nouvelles technologies incluses dans leurs produits afin de rester compétitives. D'une manière générale, une forte pression pèse sur les sociétés en ce qui concerne l'innovation et les coûts. Une autre approche pour se différencier de la concurrence réside dans le développement et la livraison du produit accompagné de services. Cependant, les services proposés conduisent à un élargissement des conséquences induites pour les fabricants sur leurs produits, et ce même si ces produits sont déjà en possession des clients. Enfin, d'autres exigences pour les sociétés proviennent des clients et de la législation. Par exemple, à côté de la responsabilité vis-à-vis du produit, les effets sur l'environnement sont maintenant régis par des lois de plus haut niveau : les directives de l'Union Européenne concernant l'élimination des déchets des anciens appareils électriques (WEEE - "Waste Electrical and Electronic Equipment" Directive, cette directive impose la responsabilité de l'élimination des déchets d'équipements électriques et électroniques aux fabricants de ces appareils) et les interdictions concernant l'utilisation de certaines substances nocives dans la composition des produits (RoHS - "Restriction of Hazardous Substances" Directive, cette directive limite l'utilisation de six substances dangereuses dans la fabrication de divers types d'équipements électroniques et électriques) (Tichkiewitch et al. 2010b). Il y a donc au final un conflit entre l'extension des responsabilités des entreprises concevant les produits et le raccourcissement des temps de mise sur le marché demandé par le consommateur.

#### B. EXTERNALISATION ET DELOCALISATION

La mondialisation des produits pousse naturellement à une externalisation des activités vers les pays à bas coûts. Ainsi, l'externalisation des tâches de conception est une tendance répondant au besoin des entreprises de réfléchir et d'agir de manière globale afin de développer leurs marchés. Ceci est réalisé en grande partie pour tirer profit des différences salariales entre les pays concernés. La conception "permanente" est apparue dans la foulée, en jouant sur les fuseaux horaires des différents pays concernés par la conception. Elle est dénommée "Design around the clock" et présente une stratégie visée par un nombre croissant de sociétés : des équipes réparties partout dans le monde travaillent ensemble sur les tâches de conception d'une telle façon que les fuseaux horaires sont mis à profit au maximum. En terme de différences dans les niveaux salariaux, la plupart des tâches externalisées sont celles concernant la fabrication en grande série du produit. Cependant, la tendance actuelle est d'externaliser également les tâches de conception routinière vers ces pays-là pour se concentrer davantage sur le produit.

La délocalisation est aussi une activité d'externalisation. Cependant, les leviers de l'externalisation de la conception sont liés à la concentration qu'effectuent les sociétés sur leurs compétences principales (en anglais, domaine de "core-competence"), afin de mieux faire face à la pression du prix, de profiter de la spécialisation de leurs fournisseurs et de se recentrer sur leurs produits.

L'externalisation et la délocalisation engendrent des équipes de conception et des environnements distribués, ce qui impose des exigences sur les processus et outils associés. S'il y a un haut niveau d'intégration des entreprises externes et des partenaires délocalisés, on parle alors d'entreprise étendue (Jagdev et al. 1998). L'émergence de l'ouverture des marchés, la réduction des freins au commerce, et l'amélioration des transports et des communications donnent lieu à une situation où la concurrence et les marchés locaux fonctionnent dans un contexte de normes mondiales. Cette structuration ouverte de l'entreprise permet aux fabricants de répondre à ces défis en travaillant plus étroitement avec leurs fournisseurs et clients, par la création d'entreprises étendues à toute la chaîne de valeurs. Ces sociétés

étendues présentent une grande complexité en terme de processus d'entreprise mais possèdent un avantage compétitif grâce aux partenariats industriels forts qu'elles contiennent.

### III. LES OUTILS COLLABORATIFS SUPPORTS

Selon (Nonaka et al. 1997), les connaissances individuelles doivent être partagées avec d'autres personnes afin d'être diffusées et utilisées. Ceci s'applique, en particulier, à la conception de produit. On voit ici la nécessité d'avoir des outils collaboratifs supports qui permettent le partage et la diffusion des connaissances. Les évolutions dans le contexte industriel récent présentées auparavant ont, bien entendu, été supportées par des outils collaboratifs associés. Afin de positionner les principaux outils collaboratifs, nous utiliserons la classification de (Johansen 1988), reproduite sur la Figure 31 suivante.

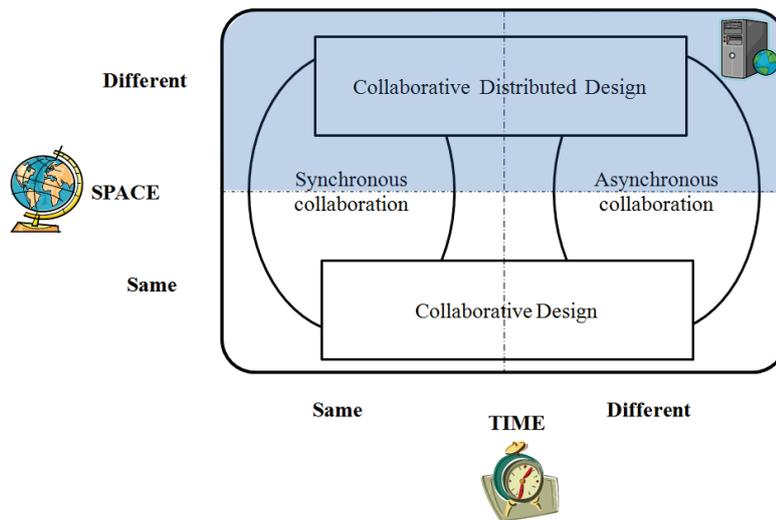


Figure 31 : matrice de classification des outils de collaboration, adaptée de (Johansen 1988).

L'espace de collaboration est divisé en quatre parties, en fonction de deux critères principaux que sont "le temps" et "l'espace". La conception collaborative est située dans le même espace, à l'image des produits développés par les équipes d'Edison présentées auparavant. L'espace de la conception collaborative distribuée se situe en haut de la Figure 31, surligné en bleu. Les outils collaboratifs supports à la conception de produit qui se sont développés sont principalement dans des espaces différents, quelle que soit l'unité de temps et également dans le même espace mais à des moments différents. La Figure 32 présente une vue d'ensemble des principaux outils récents de collaboration.

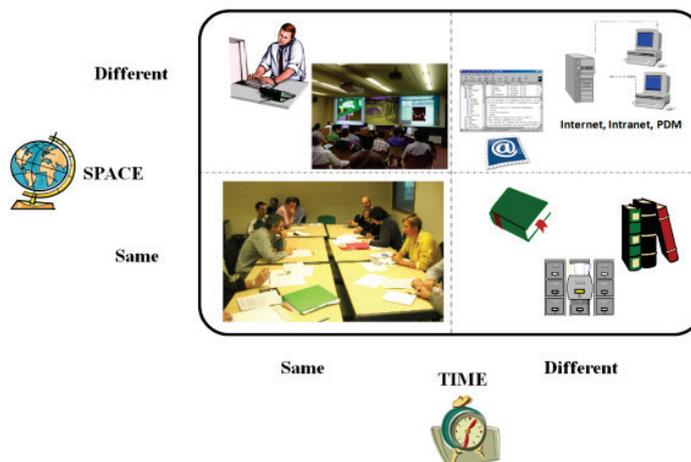


Figure 32 : classification des principaux outils de collaboration actuels.

Dans des lieux différents, en synchrone, les principaux outils de collaboration sont la réunion téléphonique ou la visio-conférence. Dans des lieux différents, en asynchrone, on relève les outils liés à l'internet, l'intranet, la gestion des données techniques (SGDT), et surtout les mails qui prennent une ampleur considérable. On note à cet égard dans une étude récente (Brown 2006) qu'à l'heure actuelle, sur un panel de cent entreprises concevant des produits industriels, le principal outil collaboratif recensé est l'e-mail, utilisé par 95% des entreprises. Les SGDT n'arrivent que beaucoup plus loin, avec 46% d'utilisation. Si les personnes collaborant sont situées dans un même lieu mais de manière asynchrone, les moyens de collaboration sont les ouvrages papier, archivés dans des structures de consultation propre à chaque entreprise (bibliothèques, armoires, etc.). Enfin, si les personnes collaborent dans un même lieu et en même temps, il s'agit d'une réunion "physique".

### **SYNTHESE SUR... LE PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUIT ET LE POSITIONNEMENT DE LA CONCEPTION AMONT**

Dans le cadre du développement d'une méthode d'aide à la création d'un environnement collaboratif amont, le précédent chapitre nous amène, en synthèse, à réaliser plusieurs constats :

- Tout d'abord, les phases amont de conception d'un produit sont primordiales dans le processus, en particulier en terme de coût du futur produit. Il convient donc de favoriser l'enrichissement collaboratif dans ces phases afin de faire émerger de nouveaux concepts.
- Ensuite, l'évolution du contexte industriel actuel pousse à la réduction des cycles de développement alors que, dans le même temps, les responsabilités des entreprises s'accroissent. Ces nouvelles responsabilités induisent de nouveaux métiers (environnement, recyclage etc...), et donc des contraintes associées, qu'il faut prendre en compte dans l'environnement de travail amont.
- Enfin, les outils collaboratifs supports de la conception se sont développés et tendent vers de plus en plus de virtualité et de conception collaborative distribuée sur notre globe. Ceci induit, dans notre périmètre de la conception amont, une prise en compte des principales fonctionnalités de ces outils afin de les intégrer, au juste besoin, dans une proposition d'environnement.

On note depuis la fin du XXème siècle l'apparition de nouvelles tendances dans la communication entre les acteurs de la conception. Ces outils seront présentés au chapitre suivant.

## **2.2.2 CONCURRENT ENGINEERING, INGENIERIE COLLABORATIVE ET PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT : DE L'EVOLUTION DES METHODES ET OUTILS SUPPORTS DE LA CONCEPTION**

L'évolution des méthodes de travail collaboratif en conception de produits a connu un essor considérable dans les trente dernières années. Ces évolutions (conception concurrente, PLM etc.) ont radicalement changé la façon de concevoir un produit. Les outils ont également mis à profit le développement des NTIC et intègrent de plus en plus de fonctionnalités, comme le partage des RI du produit. Dans le cadre de nos travaux de thèse, il est important de synthétiser ces évolutions afin de cerner les fonctionnalités actuelles

et futures des outils intégrables dans un environnement collaboratif amont. La Figure 33 ci-dessous présente l'avancée de notre analyse bibliographique, dans le but d'aboutir à notre positionnement scientifique.

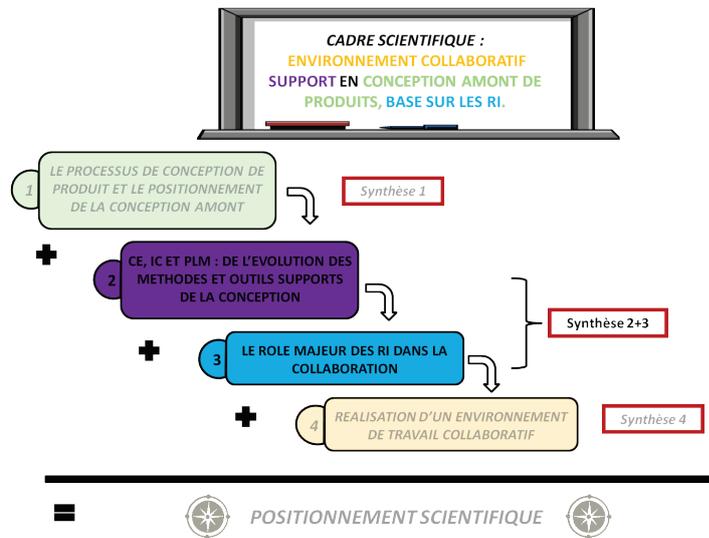


Figure 33 : progression de la démarche suivie pour l'état de l'art scientifique afin d'aboutir à un positionnement de nos travaux.

### 2.2.2.1 INTRODUCTION

Depuis les années 1980, des efforts ont été réalisés afin de réduire les temps de développement des produits industriels. Ces réductions de temps ont été apportées par l'amélioration des technologies et des processus de conception associés. L'environnement actuel de conception est de plus en plus complexe : la mondialisation des processus et des acteurs poussent vers une virtualisation du processus de conception. Ainsi, (Boucher et al. 1999) montrent que le monde industriel peut être caractérisé par plusieurs points. Tout d'abord, les produits et les processus sont de plus en plus complexes. Cette complexité trouve son origine dans le fait que les variantes des produits existants sont de plus en plus nombreuses, et les temps de commercialisation sont toujours raccourcis afin de suivre au mieux l'évolution des tendances de l'utilisateur. A titre d'exemple, la Figure 34 suivante présente une synthèse des évolutions pour un modèle de voiture milieu de gamme Renault au cours des quarante-cinq dernières années (1965-2010). La courbe rouge présente l'évolution du nombre de caisse du modèle sélectionné (par exemple berline cinq portes, cabriolet, break, etc.). La courbe verte présente le temps de commercialisation de chaque modèle *i.e.* de la mise en vente au retrait du marché. Celui-ci est passé, dans ce laps de temps, de quinze ans en moyenne, à six ans pour les derniers modèles.

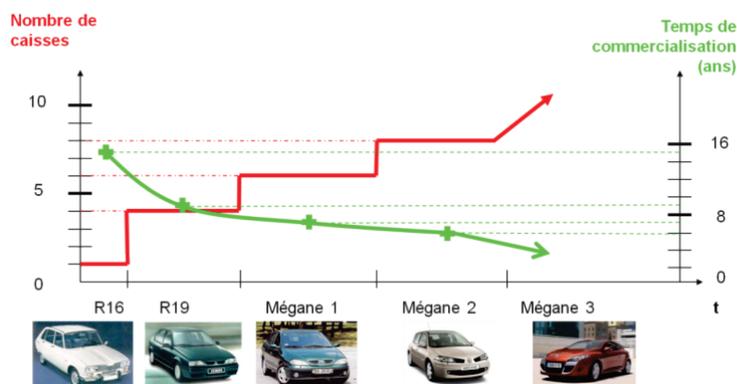


Figure 34 : passage d'un mono-produit à une gamme complexe, l'exemple de Renault.

Cette évolution implique naturellement la nécessité de gérer de gros volumes de données, d'où une croissance de complexité. A titre d'exemple, la maquette numérique de l'Airbus A400M représente quinze téraoctets de données, dont dix téraoctets pour les modèles géométriques (Panchetti 2009).

De plus, le développement de produit va de pair avec la prise en compte de nouvelles technologies qu'il faut pouvoir comprendre et maîtriser. Enfin, il y a d'autres facteurs qui contribuent à rendre les produits de plus en plus complexes, comme des facteurs économiques ou liés à la concurrence. La complexité des processus vient, quant à elle, des contraintes qui sont imposées par les clients et les chefs d'entreprises concernant le triptyque coûts, qualité, délais ; mais aussi de la grande quantité de connaissances qu'il est nécessaire d'avoir et qui sont désormais multidisciplinaires ; de la résolution coopérative de problèmes et enfin de l'importance d'un certain nombre de facteurs économiques, sociaux et techniques. Cette complexification des produits et des processus impose de parfaitement maîtriser l'information qui est manipulée tout au long du développement de produit. Nous allons dans la suite de ce chapitre présenter les évolutions des méthodes et outils de conception afin de répondre à ces besoins.

### 2.2.2.2 LE CONCURRENT ENGINEERING

A la fin des années 1980 et au début des années 1990, deux manières d'organiser la conception de produit émergent (Darses 1997) : la conception séquentielle qui impose de mener les tâches de conception les unes après les autres, et la conception concourante, ou Concurrent Engineering (CE) en anglais, avec une variante nommée conception intégrée (Winner et al. 1988; Sohlenius 1992; Prasad 1996; Tichkiewitch et al. 2007). Peu à peu, le CE a connu un essor industriel important, et a totalement transformé la manière d'appréhender le développement d'un nouveau produit. Il a peu à peu remplacé la conception séquentielle, qui a souvent entraîné, sur le plan industriel, la pratique du "design over the wall" ou "throw over the wall" traduit littéralement par "jeter par dessus le mur". Cette expression met en lumière le côté cloisonné, sans collaboration efficace entre les services de développement, comme le montre la Figure 35 issue de (Boothroyd et al. 2011). Ainsi, cela signifie qu'il y a une barrière importante entre les concepteurs qui travaillent dans le "bureau d'études" et les ingénieurs du "bureau des méthodes" (par exemple) travaillant à l'optimisation de la fabrication du produit. Cette "rivalité" a longtemps donné lieu à des échanges musclés qui devaient être la source de compromis entre les deux parties.

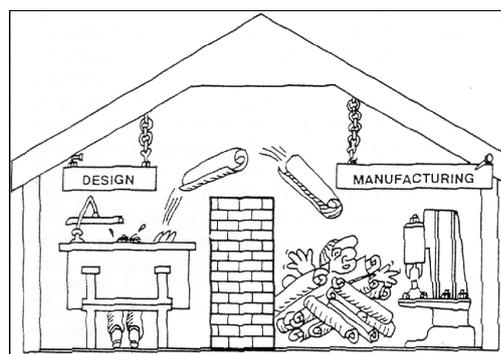


Figure 35 : illustration de la méthode du "throw over the wall" en conception de produit, extrait de (Boothroyd et al. 2011).

Selon (Winner et al. 1988) le CE est défini comme : "une approche systématique pour la conception intégrée et simultanée des produits et des processus associés, y compris la fabrication et la maintenance. Cette approche est destinée à inciter les concepteurs, dès le début du projet, à considérer tous les éléments du cycle de vie du produit, de sa conception à son retrait du marché, y compris la qualité, les coûts, la planification et les besoins des utilisateurs". A cette époque, très peu d'industriels connaissent ces concepts. C'est environ une décennie plus tard qu'ils ont été mis en place de manière industrielle. Winner

est Américain, travaille pour le ministère de la défense, et ses recherches portent sur le processus de conception de nouveaux produits, ou systèmes. On peut déjà trouver, dans sa définition, les termes de conception intégrée et de conception simultanée. Les expressions conception simultanée, concurrente ou parallèle ont été utilisées, en fonction des auteurs, pour le même concept. Dans cette définition, il y a également la prise en compte du cycle de vie complet du produit, de la conception à l'élimination, ce que nous appelons maintenant "from cradle to grave" ou "du berceau au tombeau". Donc, nous retrouvons déjà les fondements de la conception intégrée actuelle.

Dès 1994, (Youssef 1994) signale qu'il existe de nombreux cas d'études montrant la mise en œuvre réussie du CE dans la littérature. Il souligne également que la réussite de cette méthode exige des changements culturels qui permettent une meilleure communication entre tous les sous-systèmes, afin de promouvoir le travail d'équipe et d'intégrer les efforts de ceux qui sont impliqués dans le produit et les processus de décisions. Par conséquent, de nos jours, presque tous les constructeurs automobiles à travers le monde ainsi que leurs fournisseurs ont implémenté une démarche de CE et en récoltent les avantages, notamment en terme de réduction des coûts, réduction des temps de développement et augmentation de la qualité du produit.

Comme le montre la Figure 36, le CE n'envisage pas le processus de conception d'un produit selon la même optique que la conception séquentielle. Les phases se chevauchent largement, en particulier celles de développement du concept, de conception du produit et du process. Ceci implique des échanges entre les différentes équipes, qui sont nécessaires afin de partager la connaissance en temps réel. Au final il en résulte une parallélisation des activités, bénéfique en terme de temps de développement.

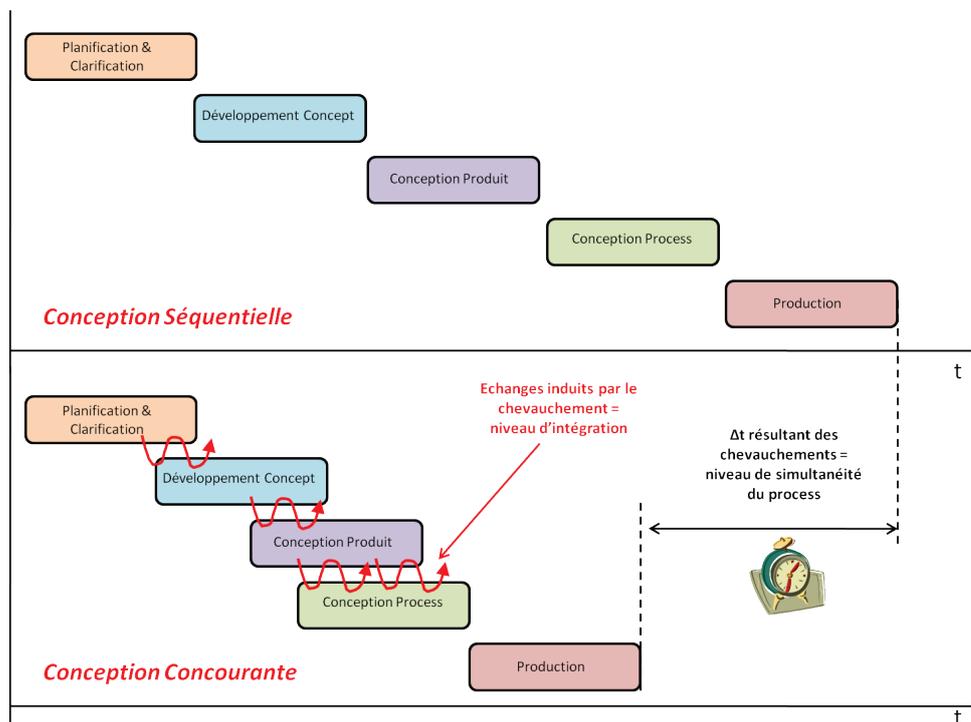


Figure 36 : comparaison entre les processus de conception séquentielle et conception concurrente.

La représentation du processus de conception, selon le modèle de conception concurrente, permet de constater le gain de temps de développement. Cependant, celui-ci ne doit pas se faire au détriment d'autres paramètres tels que la qualité du produit par exemple. En considérant que chaque phase a pour but de répondre à des contraintes spécifiques liées au produit, les contraintes de la phase  $n$  sont partiellement définies par celles des phases  $n-1$ ,  $n-2$ , etc. Nous rejoignons ici les travaux de (Lonchamp

2004), qui souligne à titre d'exemple qu'il est difficile de définir une gamme d'usinage (partie conception du process) d'une pièce sans avoir une idée de sa forme (partie conception du produit). La parallélisation des activités du CE nécessite donc inmanquablement une collaboration efficace, à l'image des informations échangées entre les phases représentées sur la Figure 36. Ainsi, chaque phase pourra tenir compte des contraintes issues des autres phases. Alors, la conception concourante pourra être considérée comme le partage d'une tâche collaborative globale en travaillant en parallèle (conception parallèle) avec une prise en compte simultanée (autant que faire se peut) et conjointe des contraintes métiers.

La conception intégrée, telle que définie par (Tichkiewitch et al. 2007), ajoute à ce concept de conception concourante quelques spécifications : tous les acteurs de la conception doivent travailler ensemble tout au long du processus de conception afin qu'ils puissent échanger et prendre des décisions en commun. Il faut donc intégrer les experts et les utilisateurs futurs tout au long du processus de conception, en commençant dès les premières phases d'idéation (Tichkiewitch et al. 2010b). Ainsi, le process émerge pas à pas par l'introduction successive de contraintes de la part de ces mêmes acteurs. Le processus est alors en deux étapes successives :

- la première étape consiste en une décomposition fonction/structure du produit qui se traduit généralement par la définition de ses surfaces fonctionnelles
- la deuxième étape consiste en la conception détaillée du produit faite avec tous les acteurs de la conception.

Selon (Young et al. 1992) lorsque l'on travaille en "mode CE", les décisions concernant le futur produit à concevoir sont anticipées en intégrant le savoir-faire des experts de la production dès le début du processus de conception. Ces connaissances doivent être mobilisées le plus tôt possible, dans les phases amont de développement du produit. Enfin, selon (O'Grady et al. 1991), le CE peut être présenté comme une approche observable sous deux prismes différents :

- la réduction des temps de conception grâce à la superposition des activités et des tâches.
- la proposition de méthodologies qui mobilisent les connaissances des experts impliqués dans le projet dès que possible au cours du développement du produit.

C'est clairement sous ce deuxième prisme que nos propositions expérimentales seront faites.

Progressivement, le concept de Concurrent Engineering a évolué vers l'Ingénierie Collaborative en conception de produit.

### **2.2.2.3 L'INGENIERIE COLLABORATIVE**

Dans le cas de l'ingénierie collaborative, qui a émergé dans les années 1990, comme dans le cas du CE, le chevauchement des tâches est toujours présent, mais les acteurs du projet sont invités à travailler ensemble et à interagir en vue de parvenir à un accord et de prendre des décisions partagées. Le degré de collaboration est défini ici par le niveau de couplage entre les décisions (voir Figure 37). Ces décisions nécessitent une structure support de la collaboration, ou environnement de travail collaboratif, permettant la conception collaborative distribuée (Johansen 1988). Les concepteurs travaillent ensemble pour concevoir le produit, d'après les besoins des clients. Le chef de projet, ainsi que l'équipe projet (un groupe de concepteurs de différentes entreprises qui ont des compétences dans divers domaines) tentent ainsi de construire et d'entretenir une vision commune du problème afin de le résoudre ensemble (Maranzana et al. 2008). L'activité de collaboration est synchronisée et coordonnée tout au long du processus de collaboration.

La Figure 37 présente une synthèse des évolutions des pratiques de conception collaborative entre l'ingénierie séquentielle, l'ingénierie concurrente (ou CE) et l'ingénierie collaborative.

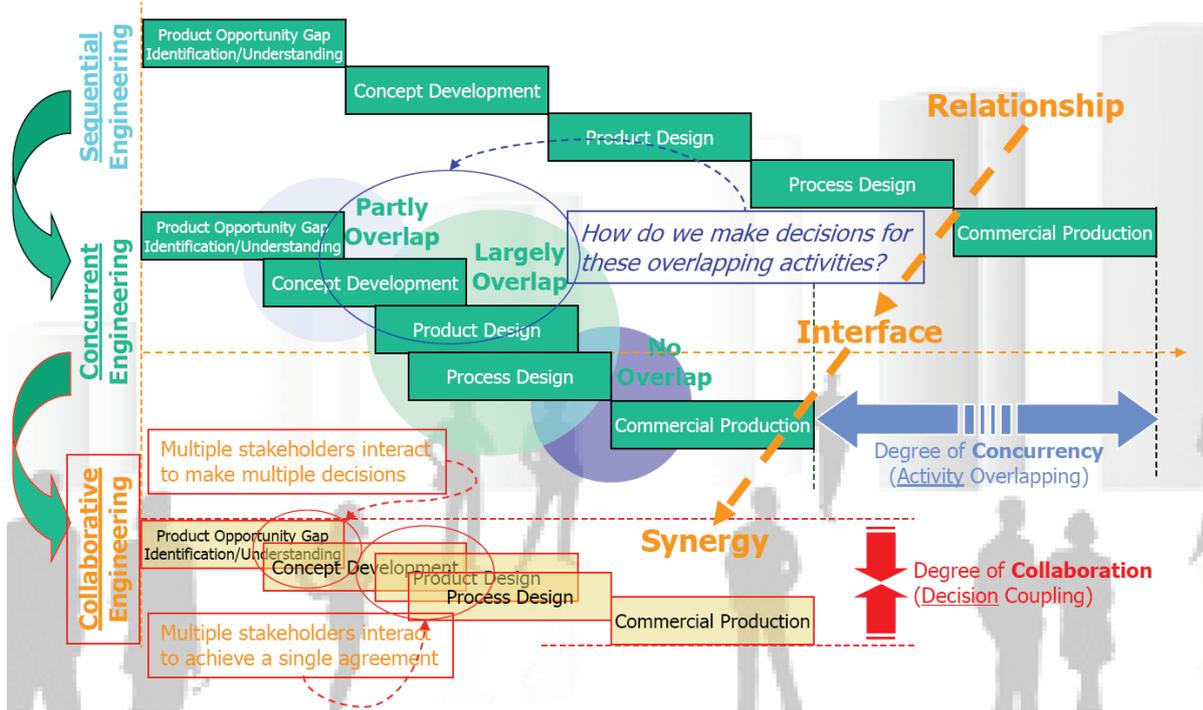


Figure 37 : synthèse des évolutions entre ingénierie séquentielle, ingénierie concurrente et ingénierie collaborative, extraite de (Tichkiewitch et al. 2010a).

Enfin, la conception collaborative se définit également comme la rencontre de divers intérêts et de diverses personnes afin d'atteindre l'objectif commun de développer un produit via des interactions, des informations et le partage de connaissances, avec un certain niveau de coordination des diverses activités mises en œuvre (Yesilbas et al. 2006). On remarque, dans cette définition, que les activités de collaboration et de conception font certes appel à des connaissances, mais aussi à des interactions entre des acteurs de la conception. Les aspects sociologiques et psychologiques jouent donc également un rôle important, comme nous le rappelent (Pahl et al. 2007) sur la Figure 38 suivante. Nous notons au passage la différenciation forte faite ici entre le "engineering design" et le "industrial design", plus proche de l'art. C'est cette deuxième acception qui est souvent nommée "design" en français.

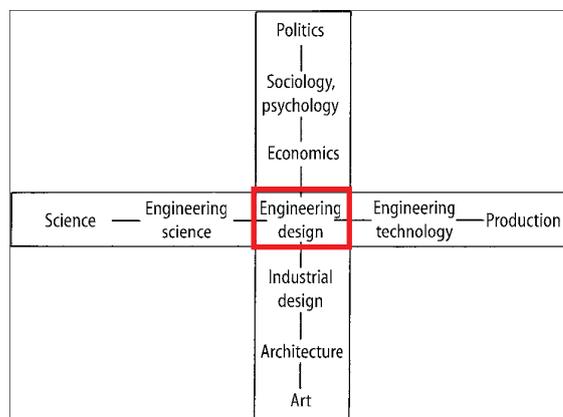


Figure 38 : la conception, une activité centrale, extrait de (Pahl et al. 2007).

Plus récemment, des outils ont été développés afin de couvrir tout le cycle de vie du produit. Nous les décrivons dans le chapitre suivant.

**2.2.2.4 DE L'INGENIERIE COLLABORATIVE AU PLM**

L'ingénierie collaborative et le PLM sont deux termes liés. En effet, le PLM est un support à la conception visant à couvrir toutes les étapes de développement du produit grâce à l'intégration des processus et des acteurs du projet (Saaksvuori et al. 2008). C'est donc une approche qui est destinée à soutenir l'activité de conception collaborative. Ainsi, si des synergies sont créées entre les acteurs d'un projet d'ingénierie collaborative, le PLM assure que les synergies sont créées pour l'ensemble du cycle de vie produit. La Figure 39 présente le nombre de publications scientifiques dont le titre contient exactement les expressions "concurrent engineering", "collaborative design" et "PLM". Ces données ont été extraites de Scopus, qui est une base de données internationale de publications d'articles et d'actes de conférences, en Mars 2011. Le graphique représente, dans le domaine de l'ingénierie, l'évolution depuis les années 1990 du nombre de publications scientifiques, en pourcentage par rapport au nombre total d'articles publiés chacun des trois sujets.

On remarque que l'apogée du Concurrent Engineering se situe vers les années 1996, tandis que la conception collaborative prend ensuite son essor. Le PLM, en tant que support à cette activité de conception collaborative connaît en toute logique une croissance dans le même sens que cette dernière. On note à partir de 2008 une diminution des publications scientifiques dans ce domaine, liée à une tendance au développement des thématiques proches du LCE ou Lifecycle Engineering, plus concerné par les considérations environnementales (voir blocs 6 et 7 de la Figure 40).

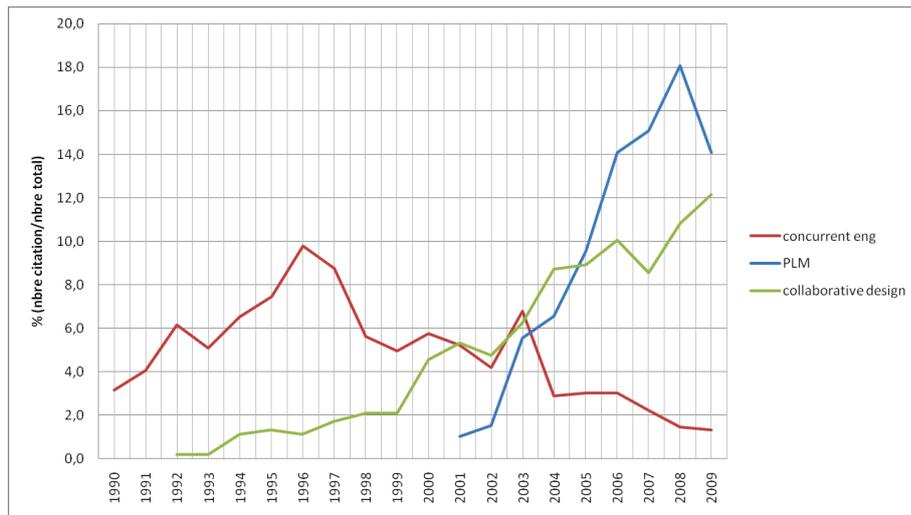


Figure 39 : évolution des publications scientifiques liées au CE, à l'IC et au PLM, depuis 1990

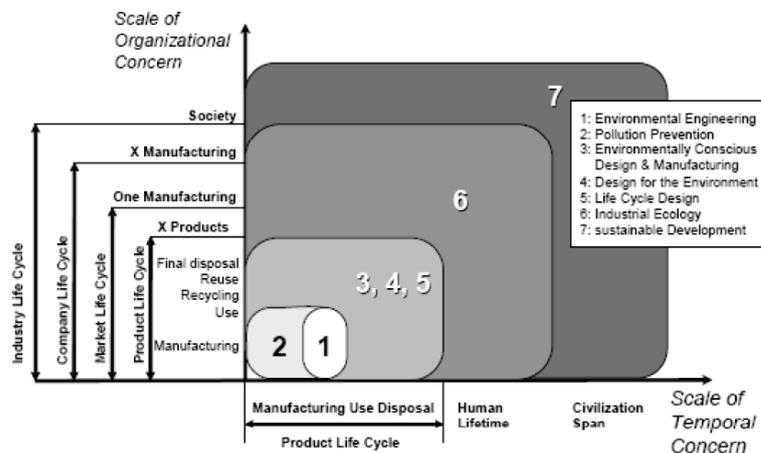


Figure 40 : graphe de l'impact de travaux de recherche, selon une échelle temporelle et organisationnelle, extrait de (Niemann et al. 2009).

Nous allons maintenant définir le périmètre du PLM, ainsi que ses outils supports.

### 2.2.2.5 LE PLM

La cible principale du PLM est la conception de produits industriels. Ainsi, (Sharma 2005) interprète la collaboration dans le cadre de la conception PLM intégrée en développement de produit comme "fondée sur des processus de collaboration et des objectifs, reliant les personnes, processus et données dans un tel arrangement". Le processus lui-même a plusieurs étapes : le concept produit, la conception, le prototype, la planification, le développement, la fabrication, la commercialisation, la vente, le service et le recyclage.

Dans le début des années 2000, le PLM s'est développé afin d'adapter la conception industrielle aux exigences de la mondialisation. En effet, comme le PLM couvre le cycle de vie complet du produit, il a un caractère transversal car il est en étroite collaboration avec la façon dont une société est gérée (Garetti et al. 2005). La conception collaborative a fait l'objet de nombreuses études. Avec le développement des PDM (Product Data Management) ou SGDT en français, du PLM et des workflows (flux de travail) associés, les entreprises commercialisant des logiciels ont proposé des solutions aux problèmes quotidiens des bureaux d'études (gestion des versions de documents, de nommage, etc.). Le PLM a pour but d'intégrer et de rendre disponibles les informations produites pendant toutes les phases du cycle de vie du produit pour toute personne de l'entreprise, ainsi que pour les fournisseurs clefs et les clients (Bouras et al. 2005). Pour (Amann 2002), au cours des dernières années, le PLM est apparu comme une approche d'entreprise pour la création, la gestion et l'utilisation du capital intellectuel et des informations liés au produit, tout au long du cycle de vie. Le PLM est donc un paradigme où les processus sont aussi importants, sinon plus, que les données. L'approche PLM peut être considérée comme une tendance vers une intégration complète de tous les outils logiciels prenant part à la conception (voir Figure 41) et aux activités opérationnelles au cours du cycle de vie du produit (Garetti et al. 2005; Donati et al. 2010). Par conséquent, les solutions PLM nécessitent l'utilisation d'un SGDT, d'outils de collaboration synchrones et asynchrones locaux et distants, et si nécessaire, d'une infrastructure numérique permettant des échanges entre les logiciels.

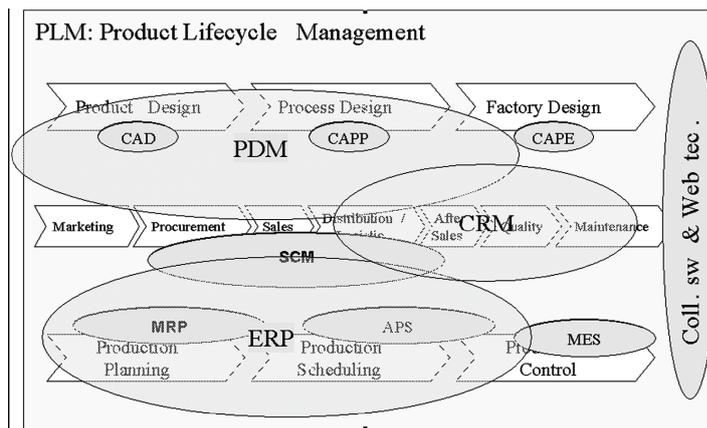


Figure 41 : contexte d'un outil PLM, extrait de (Garetti et al. 2005).

Enfin, selon (Bissay et al. 2008), au-delà de la gestion du cycle de vie, les systèmes PLM peuvent être un des supports à la capitalisation des connaissances et du savoir-faire.

Un des facteurs clefs de la réussite de la mise en place de tels systèmes est l'adaptation au mode de fonctionnement de l'entreprise. Or, chaque entreprise adopte sa propre manière de collaborer lors de la conception d'un produit. Nous allons voir dans le chapitre suivant que les RI du produit générées lors de la collaboration sont cruciales.

## 2.2.3 LE ROLE MAJEUR DES REPRESENTATIONS INTERMEDIAIRES DANS LA COLLABORATION

### 2.2.3.1 LE CONCEPT DE RI

Depuis le premier choc pétrolier le marché s'est orienté vers une économie de variété et de réactivité. Nous avons vu que les concepteurs ont répondu à ce besoin par la mise en place d'une organisation concurrente qui s'est déployée, en plus des phases de conception détaillée et de validation, en amont du processus de conception. Les durées des projets de conception dans leur totalité tendent à se réduire fortement, alors que le nombre de solutions proposées est accru, avec des propositions nécessairement plus innovantes.

Face à ces changements de référentiel projet, les besoins en Représentations Intermédiaires (RI) (Bouchard et al. 2005) des concepteurs ont dû évoluer en même temps. Les RI sont les différents niveaux de concrétisation progressive ou espaces intermédiaires au cours du processus de conception (cahier des charges, planches de tendances, modèles de style, modèle géométrique numérique, maquettes, prototypes etc.) produits lors de la transformation de l'espace problème en un espace solution (voir Figure 42). La nature même des représentations est actuellement changeante. Les RI tendent à passer d'un mode physique à un mode numérique. Des validations précoces sont rendues possibles par de nouveaux outils numériques suppléés par la réalité virtuelle. Cependant certaines représentations physiques restent indispensables pour la validation dans la phase de conception détaillée. Les opportunités qu'offrent les nouveaux outils numériques nécessitent une reconsidération des besoins fondamentaux des concepteurs en fonction des différents métiers.

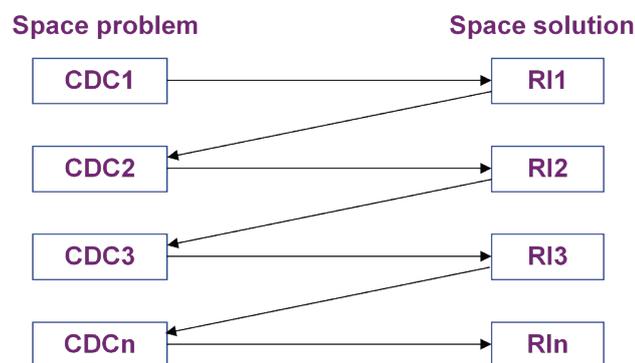


Figure 42 : transformations successives entre l'espace des problèmes et celui des solutions.

Le rôle crucial des RI, aussi appelées Objets Intermédiaires (OI), est également décrit en détail par (Mer et al. 1996) ou (Tichkiewitch et al. 2001). Chaque phase du processus de conception donne lieu à la génération de multiples RI (rough, cahier des charges fonctionnel, maquette virtuelle, prototype). Chacun de ces objets est mobilisé comme un outil permettant de stabiliser les représentations, les connaissances et les relations au cours du processus (voir Figure 43). L'objet intermédiaire est le point de passage de multiples points de vue, puisque dans la perspective politique qui le fonde, il n'est pas question de privilégier un acteur (porteur de savoirs et d'intérêts) par rapport à d'autres acteurs. Les objets sont éphémères car transitoires.

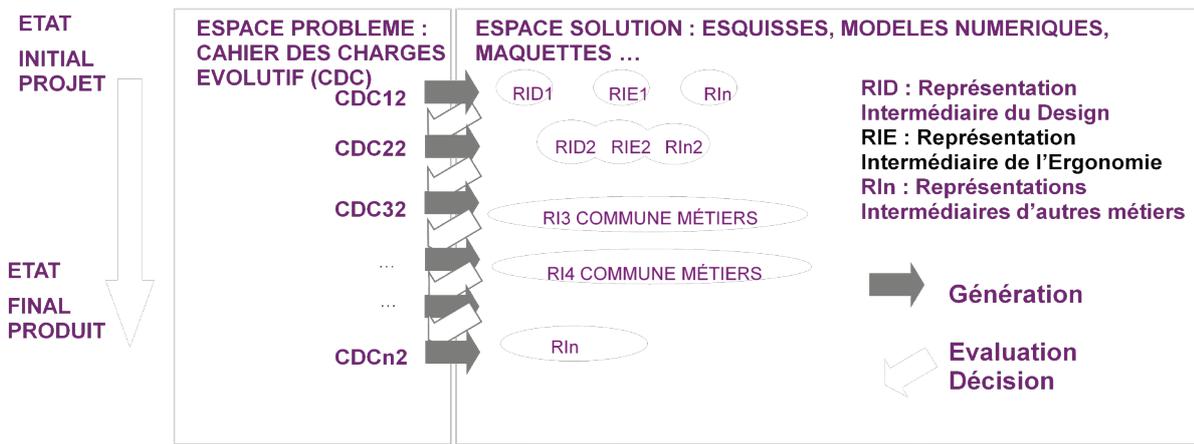


Figure 43 : différentes RI au cours de la conception d'un produit.

L'activité de conception nécessite, lors de sa réalisation, l'utilisation de plusieurs représentations du produit, avec différents niveaux de complexité. Il convient donc de classer les RI.

### 2.2.3.2 CLASSIFICATION DES RI

Lors de l'avancée du processus de conception, ces représentations deviennent de plus en plus contraintes et elles permettent une concrétisation progressive des solutions de conception. Les premières traces tangibles de concrétisation sont la plupart du temps des esquisses papier ou des croquis réalisés à la main (Mougenot 2008). Les RI sont formulées, et élaborées de manière individuelle ou collective par la collaboration d'acteurs, selon un processus au cours duquel elles peuvent être "spécifiques métiers" ou communes. Ainsi, dans un processus de co-conception transdisciplinaire, les acteurs de la conception construiront des représentations spécifiques métiers de manière asynchrone dans un premier temps, jusqu'au moment où l'équipe se centrera sur une représentation commune évolutive.

Les RI sont réparties en représentations mentales, issues de la psychologie cognitive (Ehlinger 1998), et en représentations physiques, ou matérialisations intermédiaires. Ce sont ces dernières qui nous intéressent car elles sont plus facilement identifiables. De plus, dans le contexte du développement d'un environnement collaboratif amont, les RI manipulables et donc échangeables à l'heure actuelle restent physiques et donc matérialisables.

Ainsi, dans le début de la phase de "conceptual design", on trouve peu d'objets formalisés. Dès qu'elles deviennent explicites, les RI peuvent être partagées et échangées avec d'autres acteurs dans le processus de conception. Celles-ci sont le plus souvent produites par des outils numériques (traitement de texte, outils graphiques, CAO etc..). Le mot "intermédiaire" représente le caractère évolutif des représentations lors du processus de conception. En synthèse, une RI est donc définie comme toute représentation du produit, générée tout au long du processus de conception. La Figure 44 ci-dessous, extraite de (Bouchard et al. 2005), en dresse une liste non exhaustive, de la plus abstraite à la plus concrète.



Figure 44 : classification des représentations intermédiaires, extrait de (Bouchard et al. 2005).

## SYNTHESE SUR... L'EVOLUTION DES METHODES DE CONCEPTION ET LES RI DU PRODUIT

Dans le cadre du développement d'une méthode d'aide à la création d'un environnement collaboratif amont, le précédent chapitre nous amène, en synthèse, à réaliser plusieurs constats :

- Tout d'abord, l'évolution des méthodes de conception tend à développer des synergies entre les acteurs de la conception. Ainsi, les activités sont devenues concourantes (CE), puis les décisions sont devenues partagées entre plusieurs acteurs (couplage lié à l'IC). Un environnement de travail collaboratif amont doit permettre ces fonctionnalités.
- Ensuite, les outils supports tels que le PLM proposent une intégration des différentes briques logicielles qui n'étaient que peu interopérables jusqu'à présent. Cependant, ces solutions doivent être adaptées aux besoins de l'entreprise, ce qui n'est pas toujours le cas.
- Enfin, les RI du produit sont des supports collaboratifs riches qui ont évolué avec les méthodes de conception, passant peu à peu d'un mode de représentation physique à un mode numérique. Aussi, il convient de les intégrer dans le développement d'un outil collaboratif comme point de passage de multiples points de vue.

Depuis quelques années nous assistons à l'émergence de nouveaux outils de la chaîne numérique, et l'essor des NTIC supporte les développements d'environnements collaboratifs. C'est ce que nous étudions au chapitre suivant.

## 2.2.4 REALISATION D'UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL COLLABORATIF POUR LA CONCEPTION AMONT DE PRODUIT

Dans l'objectif de définir un environnement de travail collaboratif adapté à la conception amont de produit, nous pensons qu'il est nécessaire d'étudier les environnements collaboratifs existants, même s'ils sont dédiés aux phases de conception situées plus en "aval". Ceci rejoint notre verrou technologique présenté dans la 1<sup>ère</sup> partie. Ainsi, nous orientons notre recherche bibliographique vers les domaines clés de la conception d'un environnement de travail collaboratif qui sont :

- la définition de l'environnement.
- le développement de l'environnement.
- l'évaluation de l'environnement.

La Figure 45 ci-dessous présente l'évolution de notre démarche d'état de l'art scientifique, dans l'optique d'aboutir à un positionnement scientifique global. Le cadre scientifique est celui d'un environnement collaboratif support en conception amont de produits, basé sur les RI.

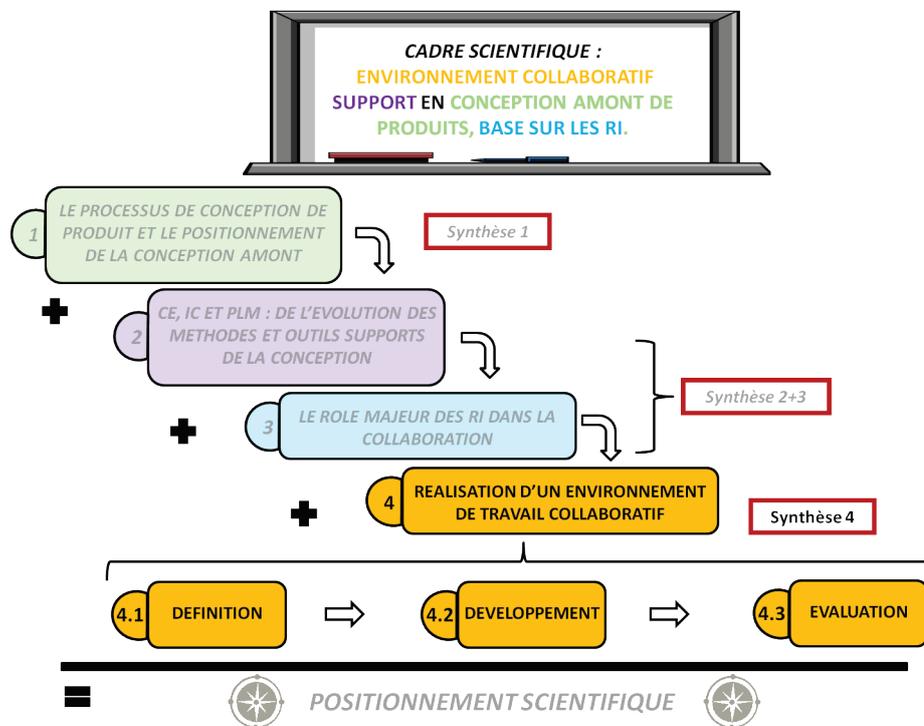


Figure 45 : progression de la démarche suivie pour l'état de l'art scientifique afin d'aboutir à un positionnement de nos travaux.

Nous finissons le chapitre par une synthèse sur la réalisation d'un environnement collaboratif avant de présenter notre positionnement scientifique.

### 2.2.4.1 DEFINITION DE L'ENVIRONNEMENT

#### I. CONSTATS ACTUELS

Des travaux de recherche nationaux et internationaux ont été publiés sur les développements d'environnements collaboratifs. L'objectif de ce chapitre est de nous positionner par rapport à leurs contributions.

#### A. QUELS OUTILS ET CONNAISSANCES INTEGRER A L'ENVIRONNEMENT?

Tout d'abord, sur le plan national, les travaux de (Noël et al. 2003) montrent qu'afin de rendre la conception collaborative possible, les éditeurs de solutions logicielles nous ont livré un environnement de travail couvrant toute l'activité de conception et intégrant de multiples logiciels. Les auteurs pensent que cette solution est adaptée pour une entreprise qui utilise un environnement unique, ce qui n'est pas souvent le cas. Par ailleurs les collaborations avec d'autres entreprises impliquent de multiples environnements. En effet, les concepteurs utilisent de nombreuses ressources informatiques, qui ne peuvent toutes être intégrées dans un unique environnement collaboratif car les combinaisons logicielles possibles sont nombreuses et propres à chaque entreprise. Il faut donc adapter la solution en fonction du patrimoine d'outils de l'entreprise. On peut citer :

- la CAO, qui est majoritairement orientée autour de la représentation 3D du produit.
- les logiciels experts, afin de réaliser des tâches spécifiques (calculs de structure, calcul de trajectoires d'usinage etc.).
- les logiciels configurables : on peut citer les tableurs excel, les éditeurs de texte, les solveurs mathématiques (MatLab par exemple) etc.
- les systèmes de gestion des données techniques qui structurent et archivent les données techniques générées lors de la conception/fabrication du produit.
- les outils collaboratifs qui permettent des fonctionnalités de partage des données et de collaboration synchrone ou asynchrone.

Ensuite, il semble bon de rappeler que la majorité des connaissances n'est stockée sur aucun support informatique, car elle est le fruit de l'Humain. Les choix de conception réalisés sont souvent implicites et très peu archivés sous un quelconque logiciel. Il s'agit du savoir-faire, qui est quasi-absent à l'heure actuelle dans nos systèmes informatiques (voir Figure 46).

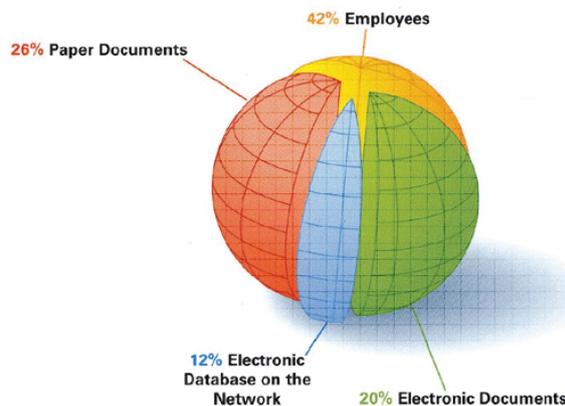


Figure 46 : répartition de la connaissance en conception de produit, extrait de (Père et al. 2010).

Les auteurs posent également la question suivante : "Existe-t-il une alternative aux solutions intégrées?" Le postulat de ces travaux est que les suites logicielles intégrées ne sont pas l'unique solution afin d'atteindre l'intégration en conception. Dans cette vision de conception d'un outil logiciel, les briques logicielles basiques devraient être acceptées et intégrées au processus de conception. Par exemple, si MSN est un outil de "chat" qui nous convient, l'idée est de pouvoir l'intégrer dans un environnement collaboratif, sans redévelopper un module.

Notre positionnement est en accord avec ces travaux sur de nombreux points. Tout d'abord, un environnement unique qui réponde à tous les besoins de tous les utilisateurs est une utopie qu'aucun éditeur de logiciel n'atteindra. De plus, nous défendons également une intégration au juste besoin des briques logicielles nécessaires sur une architecture d'outil collaboratif amont. C'est cette méthodologie que nous mettrons en œuvre lors de nos expérimentations.

Ensuite, (Yesilbas et al. 2006), lors du projet IPPOP, ont proposé un référentiel servant aux échanges de connaissances liées au projet. En effet, l'un des facteurs clefs de réussite d'un environnement collaboratif réside dans les connaissances qui y sont détenues. Dans ces travaux, nous notons déjà que la connaissance collaborative est le support d'un échange partiel et superficiel de la connaissance entre les différents acteurs et les logiciels impliqués. L'important est alors de partager des modèles ou des références communes afin d'avoir une vision globale du problème à résoudre.

Ces travaux s'appuient sur ceux de (Yesilbas et al. 2004) pour lesquels une collaboration efficace nécessite trois types de connaissances collaboratives :

- Tout d'abord, la connaissance pré-collaborative, qui concerne les pré-requis indispensables à la collaboration. Ces connaissances peuvent être recensées dans un ouvrage. Un lexique des termes employés peut également être créé afin que le langage soit commun à l'équipe. Dans le cadre de nos expérimentations, ces connaissances font en général partie du bagage de base de l'acteur-concepteur.
- Ensuite, les connaissances pendant la collaboration. Elles concernent les données que l'on doit échanger au cours du projet afin que celui-ci avance correctement. C'est dans cette phase que des représentations adaptées doivent être trouvées afin de permettre à chacun de participer efficacement au projet.
- Enfin, les connaissances post-collaboration qui sont produites suite à la collaboration. Elles peuvent être archivées soit sous forme papier ou numérique, dans une base de données par exemple.

Un environnement collaboratif adapté à la conception amont doit privilégier l'accès à toutes ces connaissances.

Mais, un outil collaboratif quel qu'il soit ne pourra en aucun cas remplacer le savoir-faire d'une équipe de conception. En effet, nous pensons que le savoir-faire est l'une des données les plus difficiles à intégrer dans un outil collaboratif support. Notre point de vue est approuvé par (von Hippel 1988) cité par (Kogut et al. 1992), qui signale que le savoir-faire résulte en l'accumulation de compétences pratiques ou d'expertises, qui permettent à quelqu'un de faire quelque chose "en douceur et efficacement". Ainsi, c'est l'accumulation des compétences qui génère le savoir-faire, si difficile à collecter et organiser. Nous prétendons également que la collecte des données, sources du savoir-faire, ne peut avoir une croissance infinie. Ce point de vue est soutenu par une étude (DelphiGroup 2010) récente faite auprès de 1030 industriels issus de Moyennes et Grandes Entreprises de quinze secteurs différents. Ainsi, à la question, "Combien de temps passez-vous au cours d'une journée de travail à rechercher des données?", les réponses sont étonnantes (voir Figure 47). Plus de 65% indiquent qu'ils passent au moins 15% de leur journée à chercher, et environ 40% y passent au moins 25%. La croissance et la multitude des informations doit donc être adaptée au juste besoin.

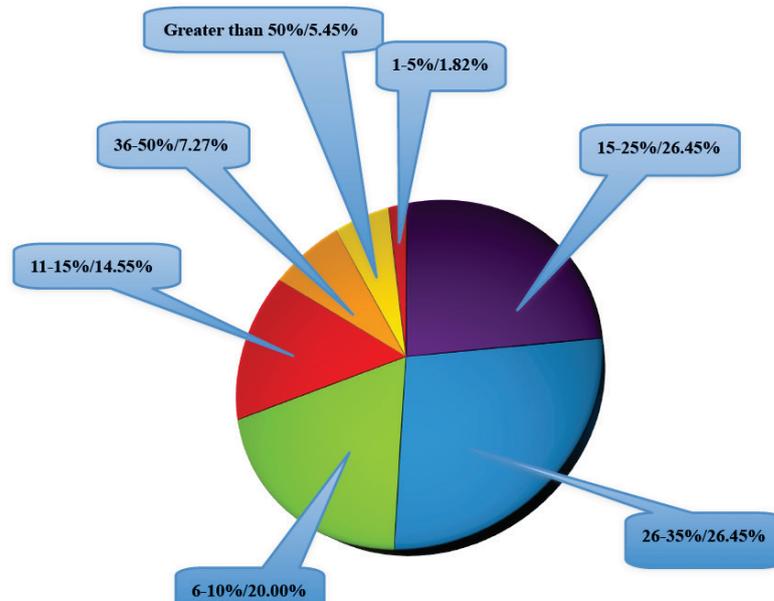


Figure 47 : pourcentage des personnes (à droite des bulles) et leurs temps moyens (en % de la journée de travail, à gauche) passés à chercher de l'information, données extraites de (DelphiGroup 2010).

Ainsi, nous déduisons qu'un environnement collaboratif amont doit non seulement archiver, mais également trier et ordonner les informations, car la recherche des données prend un temps considérable en entreprise. Nous verrons, à travers la définition d'indices de performance, en quoi les solutions que nous proposons permettent d'améliorer ce point. Nous allons maintenant étudier quel type de produit est le plus adapté à la définition d'un environnement collaboratif amont.

#### B. UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL COLLABORATIF : POUR QUEL TYPE DE PRODUIT ?

Les travaux de (Noël et al. 2004) prônent un comportement dynamique des processus et des modèles collaboratifs. Ils définissent deux catégories de produits, ceux qui sont bien connus (assimilables à des projets de conception routinière), et ceux qui sont innovants.

D'autres travaux (Micaëlli et al. 2003) dénombrent quatre types de projets de conception : le projet inventif, innovant, de construction et d'amélioration. Pour chaque type de projet, le processus de conception "standard" doit être adapté. Le projet inventif (ou créatif, d'anticipation) a pour but de valider un nouveau concept. Le projet innovant a pour cible la réalisation d'une nouvelle solution qui modifie le système de références en place (par exemple l'avènement du véli'b en région parisienne). Le projet de construction (ou d'intégration) vise à proposer une variante d'un produit existant. Enfin la reconception, ou projet d'amélioration suppose de modifier un produit existant pour satisfaire de nouveaux besoins ou améliorer ses performances. On peut également citer les travaux de (Serrafero 2008), qui illustrent les différents projets de conception avec un exemple sur la Figure 48 ci-dessous.

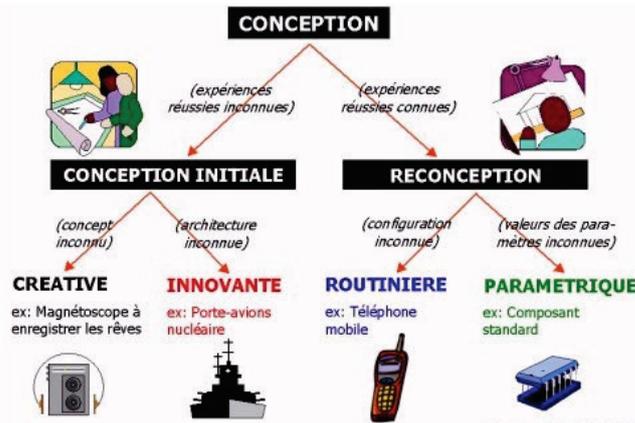


Figure 48 : les différents projets de conception, extrait de (Serrafero 2008).

En fonction du type de produit, et du type de process de fabrication envisagés, (Noël et al. 2004) décrivent les modèles de conception/fabrication ainsi que la manière dont le processus est contrôlé (voir Tableau 3).

		Model Integration	Process control
Well-known product	Usual Manufacturing Processes	Integrated Parameterised Design Associative skilled services	Tools: Configured PDM
	New Manufacturing Processes	Integrated Parameterised Design Disconnected skilled services Informal negotiations	Simple workflow Unstructured activities
Innovative product	Usual Manufacturing Processes	Heterogeneous Design services Disconnected skilled services Informal negotiations	Informal/Negotiated coordination
	New Manufacturing Processes	Non-structured models Informal synchronisations Negotiations	Informal/Negotiated coordination

Tableau 3 : classification des services supportant la collaboration, extrait de (Noël et al. 2004).

Les situations de conception envisagées sont distribuées. Les outils sont liés à la connaissance ou non du produit et donc de sa conception ; ainsi qu'à la connaissance ou non du moyen de fabrication associé. Quand ces deux paramètres sont bien connus, le processus de conception est supervisé par un outil de type PDM, avec des workflows associés. Ainsi, les services compétents sont intégrés dans le même environnement, ce qui permet de réduire les temps de développements. Quand le produit est connu, mais que le moyen de fabrication est nouveau, les compétences requises ne sont plus sollicitées par un PDM préconfiguré mais par un workflow plus simple, macroscopique. Cela laisse ainsi la liberté, au sein des macro-étapes, de structurer sur mesure les activités nécessaires en vue du développement et de l'optimisation du process de fabrication. Si une innovation est introduite dans le produit, les connaissances associées sont rarement figées, et des processus de conception adaptatifs sont nécessaires. En effet, toujours selon (Noël et al. 2004) aucun modèle de produit n'est suffisamment développé pour couvrir chaque situation de conception, y compris le format STEP. A ce moment-là ce sont les discussions informelles qui gouvernent la coordination entre les acteurs de la conception. Il n'existe alors pas d'antécédent permettant de planifier finement l'aspect temporel du développement du produit, ainsi que les interactions nécessaires entre les acteurs.

Ainsi, cette vision rejoint celle de (Bernard et al. 2002), dans laquelle la numérisation est décrite comme une étape nécessaire pour accélérer et fiabiliser le processus de conception, en permettant entre autres la réutilisation rapide des connaissances. Cependant, il est à noter que dans le cas de produit ou process innovants, cette numérisation n'est pas, à l'heure actuelle, facilement réalisable.

Ces travaux reflètent une réalité industrielle. On constate que le développement d'un environnement de travail collaboratif numérique, fût-il "agile et adaptatif", ne peut être bénéfique que dans les cas de conception d'un produit "bien connu", c'est-à-dire dans les cas de conception routinière. Certes ces résultats sont issus de l'étude du lien entre le type de produit et sa fabrication, cependant, nous pensons qu'ils sont équivalents entre le type de produit et ses étapes de conception. Nous sommes donc en accord avec ces travaux. Il est en effet bien ambitieux de vouloir formaliser des collaborations informelles, qui changent de type à chaque projet. La portée de nos propositions sera donc limitée au domaine des projets de conception dite routinière, c'est-à-dire de construction ou d'amélioration au sens de (Micaëlli et al. 2003). Nous allons maintenant étudier quelles sont les méthodes actuelles de développement d'environnement collaboratif.

#### 2.2.4.2 DEVELOPPEMENT DE L'ENVIRONNEMENT

##### I. METHODOLOGIES DE DEVELOPPEMENT D'UN ENVIRONNEMENT COLLABORATIF

Parmi les nombreux travaux visant à définir un environnement collaboratif, nous allons dans ce chapitre nous positionner par rapport à ceux qui nous semblent les plus pertinents vis-à-vis de notre thématique de recherche.

Tout d'abord, les travaux de (Bernard 2004) présentent la spécification d'un environnement d'ingénierie collaborative multisite chez Eurocopter. Ces travaux de thèse proposent une approche méthodologique de définition d'un environnement collaboratif, qui comprend cinq étapes :

- tout d'abord l'étude des situations de collaboration afin de définir les besoins. Dans ce cadre, les travaux sont limités à l'industrie aéronautique européenne. Afin de réaliser ce travail, les phases de collaboration au cours du cycle de vie du projet sont analysées sur le plan théorique et sur quelques cas pratiques.
- la deuxième étape consiste à étudier les ressources de collaboration disponibles. Cette étude doit être analysée de manière assez fréquente afin de suivre les évolutions des NTIC dans ce domaine.
- la troisième étape a pour but de définir l'environnement collaboratif le mieux adapté. Pour cela, un processus de décision est proposé.
- la quatrième étape consiste à déployer l'environnement proposé.
- la cinquième étape consiste à analyser les retours d'expérience des utilisateurs afin d'optimiser les spécifications futures de l'environnement.

La Figure 49 reprend les principales étapes de la démarche de (Bernard 2004).

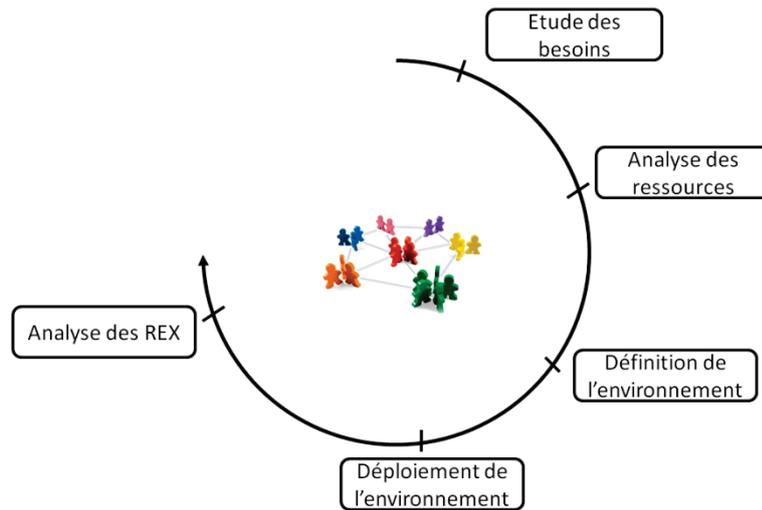


Figure 49 : démarche de définition d'un environnement collaboratif, adaptée de (Bernard 2004).

Par rapport à ces travaux de (Bernard 2004), nous nous positionnons dans le cadre du développement d'un environnement collaboratif dédié aux phases amont de conception, ce qui n'est pas le cas ici. En effet, il est à noter que ces travaux sont adaptés pour la phase de conception détaillée. Les spécifications fournies sont donc souvent en lien avec des revues de maquette numérique, des conférences téléphoniques etc..; afin de résoudre un problème donné en minimisant le temps et les déplacements. Nous verrons que le contexte de la conception amont ne permet pas un choix de solutions "sur étagère" qui soient adaptées aux besoins des utilisateurs. Nous défendons également l'idée qu'un groupe d'utilisateurs pilote doit être impliqué lors du développement ainsi que lors du déploiement de l'environnement, sous peine de s'écarter progressivement des besoins des utilisateurs.

Sur le plan international, la définition d'environnements collaboratifs est étudiée dans de nombreux cas d'application. On peut citer le domaine de l'éducation, avec (Simoff et al. 2000), pour lesquels la conception collaborative supportée par ordinateur peut être réalisée par un large panel d'environnements collaboratifs, chacun d'entre eux facilitant une différente sorte de collaboration. Ainsi, la compréhension du style de collaboration et du potentiel de chaque environnement est importante quand on choisit une technologie particulière. C'est également ce que nous relevons lors de plusieurs expérimentations menées dans le cadre de ces travaux de thèse (Segonds et al. 2011a; Segonds et al. 2011b). Ainsi, nous pensons que la connaissance préalable du potentiel des outils collaboratifs permet un choix plus judicieux lors de l'implémentation de l'environnement collaboratif. C'est ce que nous mettrons en œuvre lors de nos expérimentations, tout d'abord en analysant les pratiques industrielles en place, puis en réalisant une analyse de l'existant des outils collaboratifs.

Enfin, on peut citer les travaux de (Tseng et al. 2008) qui présentent une plateforme de conception "CoDevelop" à interface web pour le développement collaboratif de produits, comportant quatre étapes : administration, marketing, conception et industrialisation. Le scénario de fonctionnement est présenté à la Figure 50 ci-dessous.

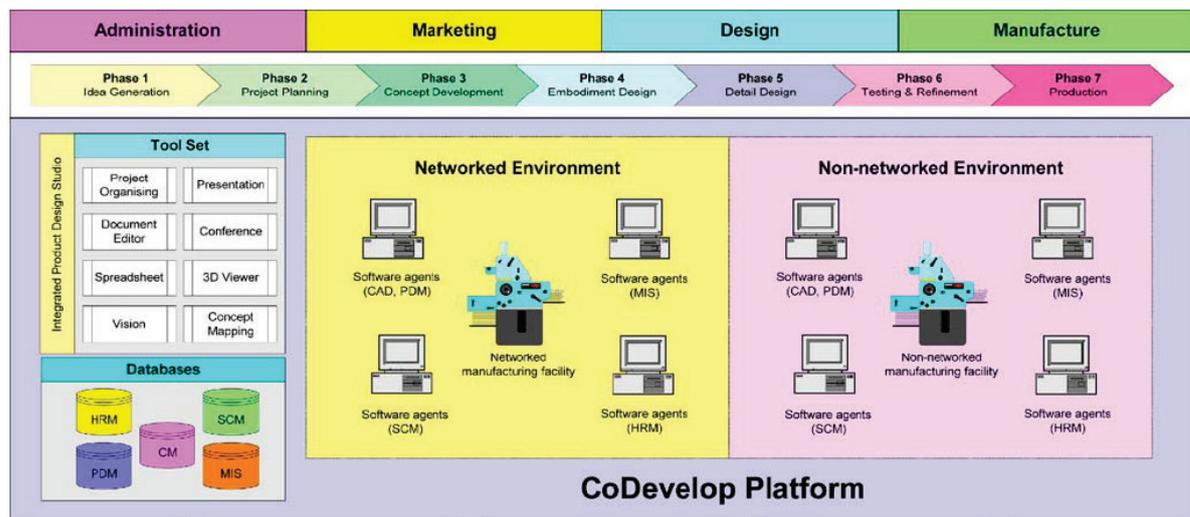


Figure 50 : la plateforme CoDevelop, extrait de (Tseng et al. 2008).

Le fonctionnement de cet outil est fondé sur cinq bases de données : une pour les ressources humaines, une pour les informations marketing, une pour la communication, une pour la conception et une pour la "supply-chain". Ensuite, un "design studio" (au sens anglo-saxon du terme, concepteur) est intégré à la chaîne numérique. Il permet de modifier la conception dès les phases amont. L'exemple traité (conception d'un téléphone portable) comprend une analyse des coûts, dès les phases de "conceptual design". Une limite de cette étude est que la maquette numérique est introduite dès la première phase dans le processus de conception. Les aspects recherche de concepts, étude de style ne sont pas évoqués. Cette plateforme présente donc une très bonne base pour la conception architecturale ou détaillée de projets de conception paramétrique, mais montrerait ses limites pour les autres. Le dernier élément souligné est le contexte culturel et environnemental dans lequel l'outil aura à s'intégrer. De nouvelles voies sont actuellement explorées afin de rendre les outils logiciels ludiques, et donc plus facilement insérables dans le contexte d'accueil. On peut citer les travaux sur les "serious games", dont un exemple est le projet MecaGenius dans le contexte de la formation (Lagarrigue et al. 2010). Maintenant que nous avons étudié la mise en place d'un environnement collaboratif, nous allons analyser des méthodes récentes de développement applicables pour ce type de tâche : les méthodes agiles.

## II. LES METHODES AGILES DE DEVELOPPEMENT

La conception agile fait référence aux méthodes du même nom. Les méthodes dites agiles sont des démarches pouvant s'appliquer à divers projets, mais leur domaine de prédilection se limite actuellement aux projets de développement logiciel.

Même si, selon (Greer et al. 2011), il n'y a pas encore de consensus global sur ce qu'est un développement agile de logiciel, ils sont certains que ces méthodes ont pour but de répondre au besoin de développer un logiciel rapidement, dans un environnement de changement rapide des spécifications du cahier des charges. On peut citer, à titre d'exemple de méthode, le "Lean Software Development" (Petersen et al. 2011) ou encore le "Extreme Programming" (Dybå et al. 2008). L'utilisation du développement itératif est commun à toutes les méthodes agiles et il y a généralement de nombreuses versions qui sont testées par les utilisateurs. La collaboration proche (idéalement sur site) est encouragée, et les changements de spécifications sont acceptés, voire bienvenus (Greer et al. 2011). La communication en face-à-face est le meilleur moyen de communication dans ce genre de développement. Ainsi, les méthodes agiles sont plus pragmatiques que les méthodes traditionnelles de développement logiciel et nous semblent adaptées à la

définition d'un environnement collaboratif amont. Elles impliquent au maximum l'utilisateur et permettent une grande réactivité à ses demandes. Elles visent la satisfaction réelle du besoin du client et non uniquement les termes d'un contrat de développement. L'agilité implique alors l'itération entre le développement et les tests utilisateurs afin d'affiner le besoin traduit dans des fonctionnalités en cours de réalisation ou même déjà réalisées. Cette notion a été officialisée en 2001 au travers d'un manifeste, présentant une formalisation simplifiée par les auteurs de ces méthodes, toutes nées dans la deuxième partie des années 1990. Nous en citons ci-dessous quelques extraits :

- "Notre plus haute priorité est de satisfaire le client en livrant rapidement et régulièrement des fonctionnalités à grande valeur ajoutée."
- "Accueillez positivement les changements de besoins, même tard dans le projet. Les processus agiles exploitent le changement pour donner un avantage compétitif au client."
- "Livrez fréquemment un logiciel opérationnel avec des cycles de quelques semaines à quelques mois et une préférence pour les plus courts."

Dans le cadre de nos travaux, le maquettage d'un environnement collaboratif amont passe, forcément, par une étape de développement informatique, à des fins de prototypage et de tests. Notre positionnement est que ce genre de méthode de conception agile convient parfaitement au contexte de la conception amont (du prototype qui lui aussi sera destiné à la collaboration dans les phases amont). En effet, dans ces phases, les spécifications logicielles peuvent varier rapidement au gré des entretiens. Une grande réactivité est donc nécessaire. Ainsi, dans le cadre de nos expérimentations, nous mettrons en place une méthode agile de développement afin de converger vers une maquette de l'outil envisagé satisfaisant au mieux les contraintes des acteurs de la conception, par des cycles de développement courts et de nombreuses itérations. Il existe également de nombreux liens entre ces méthodes agiles et le développement des "groupware", que nous détaillons dans le chapitre suivant.

### III. LE LIEN AVEC LES GROUPWARE

Les outils supports du travail collaboratif sont souvent nommés, dans la littérature, sous le nom de "groupware". Nous allons dans ce chapitre détailler cette notion ainsi que le lien avec nos travaux.

Selon (Bate et al. 1994), l'importance du travail en équipe en conception de produit est reconnue comme un mécanisme prépondérant dans l'atteinte des objectifs des entreprises et a favorisé le développement des technologies de Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO).

Selon Peter and Trudy Johnson-Lenz (1982) cités par (Turoff et al. 2011) le "groupware" regroupe les processus et les procédures intentionnelles du groupe pour accomplir des objectifs spécifiques plus (+) les outils logiciels qui supportent et facilitent le travail en groupe ("Intentional GROUP processes and procedures to achieve specific purposes plus softWARE tools designed to support and facilitate the group's work"). Ainsi, cette définition correspond bien à notre approche expérimentale. En effet, nous allons étudier les processus de conception d'un groupe muni d'outils logiciels destinés à faciliter le travail collaboratif. Notre champ de recherche est donc celui de la proposition d'un prototype d'outil support aux groupware, *i.e.* support aux systèmes d'informations facilitant le travail en groupe. Dans la littérature, les processus d'introduction d'un nouveau groupware sont décrits. Ils se décomposent principalement en six phases qui sont, selon (Levan et al. 1994) :

1. la spécification : cette étape a pour but le recueil des besoins et leur traduction en spécifications fonctionnelles.

2. la conception des interfaces : ici, la traduction des spécifications est faite grâce à des maquettes statiques d'aspect, avec des scénarios d'évaluations joints.
3. le développement : cette étape vise à la réalisation des spécifications du groupware.
4. les pilotes : cette étape consiste en la formation du personnel "pilote", en l'analyse de leurs retours et de leur progression sur l'outil.
5. le déploiement : ici, le système est mis en place dans les pratiques quotidiennes de l'entreprise.
6. la mise en service : cette dernière étape comprend l'utilisation effective de l'application, sa maintenance et la réalisation de modifications mineures.

Les trois premières étapes correspondent à la phase de conception de l'outil et les trois dernières correspondent à la phase d'intégration.

Ensuite, les travaux de (Restrepo 2006) illustrent toutes les difficultés qui peuvent se présenter à l'intégrateur d'un groupware. La Figure 51 ci-dessous les recense.

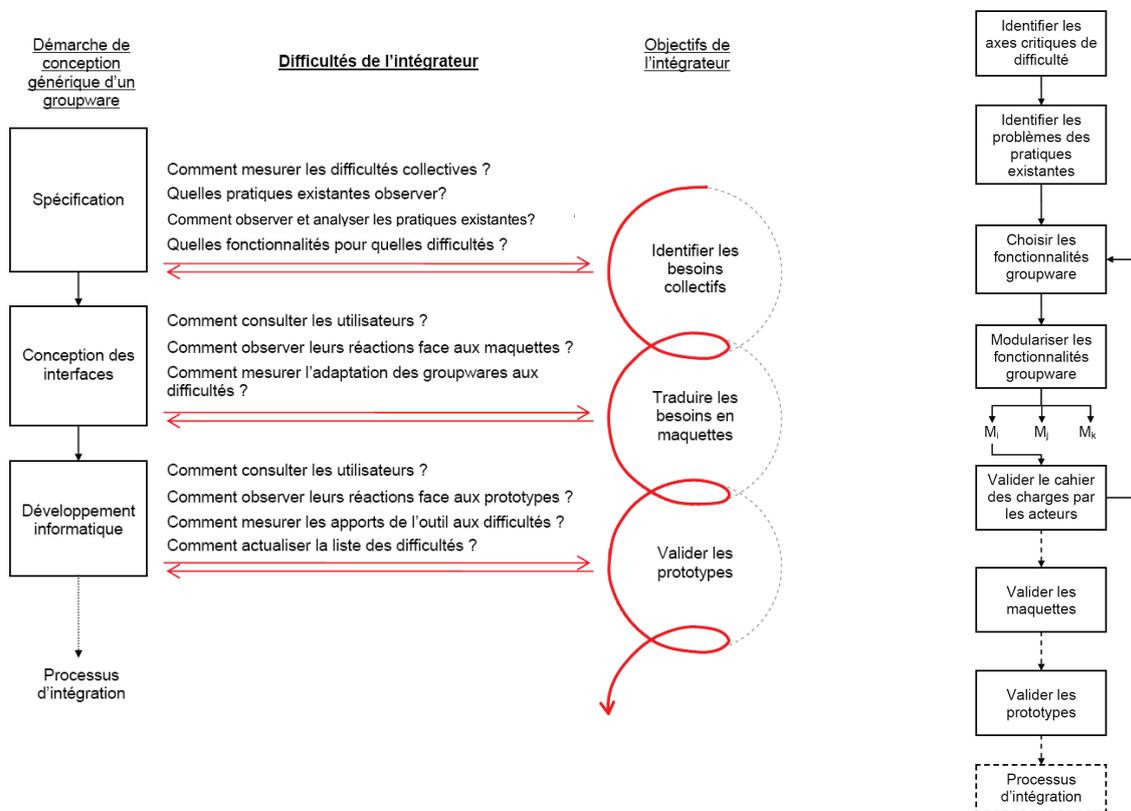


Figure 51 : Synthèse des difficultés de l'intégrateur face à la conception d'un groupware (à gauche), et proposition de méthode (à droite), extrait de (Restrepo 2006).

Afin de pallier ces problèmes, l'auteur propose et met en œuvre la méthode illustrée à la Figure 51 ci-dessus, sur la droite. Nous présentons ci-dessous une synthèse des premières étapes de la démarche :

- identifier les axes critiques de difficulté : le but de cette étape est d'analyser, à l'aide d'entretiens, les principales difficultés actuelles de l'activité de conception.
- identifier les problèmes associés aux pratiques existantes : l'objectif de cette phase est de connaître dans le détail les activités existantes concernant les principaux axes d'améliorations. La principale difficulté est d'explicitier les problèmes associés aux pratiques existantes de conception de manière à pouvoir analyser par la suite l'adéquation des fonctionnalités du groupware.

- choisir les fonctionnalités groupware : à partir de l'identification des difficultés associées aux pratiques existantes, l'intégrateur d'un groupware devra faire le lien entre les problèmes et les fonctionnalités du groupware fournissant des solutions.
- modulariser les fonctionnalités groupware : l'auteur propose une approche modulaire permettant de regrouper certaines fonctions sélectionnées en sous-ensembles fonctionnels (modules groupware). Ces modules pourront être développés de manière séquentielle en fonction des moyens techniques, financiers ou organisationnels à disposition de l'intégrateur.
- la validation du cahier des charges par les acteurs : afin de faciliter cette analyse l'auteur propose la réalisation d'une mise à jour du diagnostic initial soit par la suppression des difficultés grâce aux nouveaux outils, soit par l'ajout de nouvelles difficultés révélées voire engendrées par ces derniers.

Notre démarche scientifique est en accord avec les travaux de (Restrepo 2006). Nous prétendons, de même, que l'entretien est le meilleur moyen de recueillir le besoin. Cependant, nous pensons que l'analyse des besoins passe au préalable par une formalisation du processus de conception afin d'analyser les métiers qui entrent en jeu. Enfin, nous pensons que la modularisation présentée ici est une bonne idée, mais que celle-ci ne doit pas déboucher sur une conception séquentielle des modules mais plutôt sur une conception concourante. En effet, dans le cadre de la conception agile dont le but est de développer rapidement un outil, une conception séquentielle induirait des délais de développement en désaccord avec l'agilité recherchée.

En synthèse, notre positionnement par rapport à ces travaux liés aux groupware est le suivant :

- nous pensons que la combinaison des méthodes de développement de groupware et de développement agile permet d'optimiser la réponse aux besoins des utilisateurs.
- nous proposons pour cela dès l'étape 2 définie précédemment par (Levan et al. 1994) des maquettes dynamiques et non statiques, animées selon un scénario défini lors d'entretiens semi-dirigés préalables à ce développement. Les différents scénarios du groupware seront établis en fonction du métier concerné par l'évaluation. Ainsi, la phase des retours utilisateurs serait faite au plus tôt. Nous citons ici les travaux de (Dieu et al. 1998) qui soulignent que "la difficulté à mettre en place des outils de consultation des utilisateurs pendant les étapes intermédiaires (...) est un obstacle majeur pour l'intégrateur de groupware".
- enfin, nous pensons que la modularisation des fonctionnalités est une bonne chose si la conception des modules se fait de manière concourante.

Maintenant que notre positionnement par rapport aux travaux sur les groupware est effectué, nous allons étudier les modes d'évaluation possibles d'un environnement par les utilisateurs.

#### **2.2.4.3 EVALUATION DE L'ENVIRONNEMENT**

L'évaluation d'un environnement collaboratif peut être réalisée de plusieurs manières. Selon (Hamadache et al. 2009) cette évaluation est un mélange d'aspects techniques, économiques, sociaux, de perception, et d'ergonomie qui ne peuvent pas être considérés de manière indépendante. Ces mêmes auteurs préconisent une méthode afin de réaliser une évaluation d'un environnement de CSCW (Computer Supported Cooperative Work) sur mesure, principalement orientée vers la phase de développement de l'outil. Les constatations qu'ils font sont en accord avec les concepts de développement agile : "le processus de développement s'appuie sur une méthode rapide et itérative", "les évaluateurs du système doivent être des utilisateurs finaux pour la dernière partie de l'évaluation". Nous les rejoignons sur ce dernier point : en effet, s'il est indispensable d'avoir accès à des utilisateurs finaux lors de l'évaluation, nous retenons qu'une

pré-évaluation peut être réalisée par une personne non experte afin d'explorer les éventuels problèmes liés à l'outil.

Ensuite, (Herskovic et al. 2007) proposent une stratégie d'évaluation en trois phases, qui semble pertinente et applicable dans nos travaux de thèse. Cette stratégie s'appuie sur le fait que les méthodes d'évaluation ne sont pas nécessairement les mêmes à chaque étape du développement de l'environnement. Ainsi, ils préconisent tout d'abord une évaluation en laboratoire (une sorte de pré-évaluation afin d'éviter les erreurs grossières) ; puis une méthode d'évaluation sur le terrain, avec la participation d'utilisateurs proches du contexte étudié, enfin des méthodes qualitatives dans des configurations de travail réelles, afin d'évaluer le bon fonctionnement effectif de l'outil. Nous allons, au travers de nos expérimentations, réaliser une synthèse de ces deux dernières méthodes par la mise en place d'entretiens semi-dirigés (méthode qualitative), appliquée sur le terrain mais pas dans des conditions de mise en œuvre réelles.

Enfin, selon (Hamadache et al. 2009), il est nécessaire de faire participer aux évaluations des utilisateurs finaux afin d'avoir un retour qualitatif réel, mais aussi dans l'optique d'explorer efficacement le système selon leurs habitudes. Prenant cela en considération, les auteurs proposent trois principales méthodes d'évaluation :

- l'exploration par l'utilisateur : cette méthode consiste à laisser l'utilisateur utiliser le nouvel outil sans consignes, en le laissant l'explorer. Cependant, ceci implique d'avoir un environnement développé de manière complète, ce qui sera difficile dans le cadre de nos expérimentations.
- l'évaluation basée sur les scénarios (ou Scenario Based Evaluation, SBE en anglais) qui consiste à préparer des scénarios d'usage afin de guider l'utilisateur.
- la méthode de raffinement des scénarios, qui consiste, à partir d'un scénario pré-écrit, à faire collaborer les utilisateurs avec les personnes en charge du développement pour affiner le scénario grâce à leur expérience. Ici, étant donné la disponibilité des personnes interrogées lors de nos expérimentations, cette méthode relativement chronophage a dû être abandonnée.

En synthèse, notre choix parmi ces méthodes se fait en référence à (Herskovic et al. 2007), qui présentent dans leurs travaux une synthèse des méthodes d'évaluation des groupware ; et à (Carroll 2000) qui prône l'utilisation des scénarios en conception pour de nombreuses raisons, dont une importante à nos yeux : "les scénarios sont concrets et flexibles, et ils aident les développeurs à gérer la fluidité des situations de conception". Parmi les trois méthodes explicitées ci-dessus, une seule s'adapte aux contraintes d'une expérimentation dans nos travaux, celle de l'évaluation basée sur les scénarios, ou SBE. Cette méthode est, comme nous le montre le Tableau 4, adaptée aux produits logiciels en cours de développement, ce qui est notre cas.

	Developers	Users	Organization
Products Under Development	GHE, GWA CUA, HPM, PAN	SBE, COS EMA, KMA	PVA
Finished Products		GOT, QDE	GOT, QDE PAN, PVA

**Tableau 4 : catégorisation des méthodes d'évaluation en fonction des acteurs et du type de produit logiciel concerné, extrait de (Herskovic et al. 2007).**

En terme de coûts et donc d'efforts afin d'évaluer correctement un développement, la Figure 52 ci-dessous présente une classification des principales méthodes. Sans rentrer dans le détail de chacune d'elles, ce qui nous mènerait en dehors du périmètre de ce manuscrit, notons simplement que le SBE fait partie des

méthodes demandant un travail de plusieurs semaines en lien avec les utilisateurs. L'effort nécessaire (en terme d'activités et de ressources humaines) à cette évaluation est considéré comme modéré.

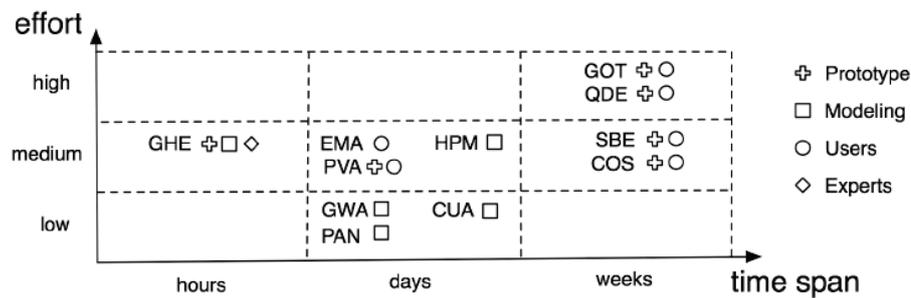


Figure 52 : les méthodes d'évaluation classées selon leurs coûts, extraite de (Herskovic et al. 2007).

Nous allons maintenant faire la synthèse des points importants lors de la définition d'un environnement de travail collaboratif.

### SYNTHESE SUR... LA REALISATION D'UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL COLLABORATIF

Dans le cadre du développement d'une méthode d'aide à la création d'un environnement collaboratif amont, les précédents chapitres nous amènent, en synthèse, à réaliser plusieurs constats :

- Tout d'abord, les suites logicielles intégrées ne sont pas l'unique solution afin d'atteindre l'intégration en conception.
- Ensuite, un environnement de travail collaboratif à destination de la conception amont des produits est adapté aux projets de conception routinière. Dans le cas d'innovation ou d'invention, la structure proposée peut se révéler insuffisante, voire inadaptée. Notons cependant que plus de 80% des produits industriels conçus chaque année sont dits "routiniers" (Prasad 1997; Jauregui Becker et al. 2011), donc le périmètre d'un outil collaboratif amont reste vaste.
- Enfin, les méthodes agiles de développement nous semblent particulièrement adaptées au développement d'un outil support à la collaboration amont, de par leur réactivité et leur adaptabilité. De plus, l'évaluation d'un tel environnement doit être fondée sur des séries d'entretiens semi-dirigés auprès d'un panel de novices et d'experts du produit à concevoir.

## 2.2.5 POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE

Nous avons, au cours des précédents chapitres analysé l'évolution des pratiques liées à la conception amont de produit, et mis en avant l'importance des RI dans ces phases. Enfin, nous avons analysé les méthodes de réalisation d'outils collaboratifs, afin d'en extraire un *modus operandi* utile à nos expérimentations. L'objectif de ce chapitre est de faire la synthèse de notre positionnement scientifique par rapport à ces travaux.

Nous définissons en premier lieu la conception amont comme le regroupement des phases de définition et planification du projet, de recherche et validation du concept ainsi que les premières étapes de la conception architecturale, jusqu'à la génération d'un tracé préliminaire du produit (Segonds et al. 2009b). Dans cette définition, l'acception du terme concept est : une RI générée au cours du processus de conception et faisant apparaître les formes et matières du futur produit ainsi que ses principales dimensions. En accord avec (Pahl et al. 2007), la signification du terme "tracé préliminaire", plus détaillé qu'un concept, est un tracé à l'échelle comportant autant de vues que nécessaire à la compréhension totale du produit, et qui comprend l'arrangement général du produit, ses principales formes et ses fonctions déterminantes ainsi que les matériaux. Nous pensons que la vision de (Grebici 2007), qui délimite l'amont comme la réunion des sous-processus "définition du problème" et "phase conceptuelle" ne représente qu'une partie de la conception amont. En effet, on oppose souvent conception amont à conception détaillée mais l'étape de conception architecturale incarne la nécessaire charnière entre ces deux phases. Nous sommes ici en accord avec les travaux de (Le Coq 2007; Pahl et al. 2007) Ainsi, si le livrable final de la conception amont au sens de (Grebici 2007) "concerne les concepts alternatifs du produit", le produit n'est pas encore suffisamment développé afin d'être manipulable par les outils supports "classiques" de la phase de conception détaillée (CAO, SGDT etc.), ce qui n'est pas le cas du tracé préliminaire défini ci-dessus.

A la question de l'intégration des outils et des connaissances dans un environnement de travail collaboratif, nous défendons, de même que (Noël et al. 2003), une intégration au juste besoin de ressources informatiques diversifiées dans un environnement collaboratif global. En effet, les suites logicielles intégrées ne sont pas l'unique solution afin de concevoir un produit de manière collaborative car la collaboration avec d'autres entreprises impliquerait alors de multiples environnements uniques. Ensuite, l'accès aux connaissances liées au projet doit être privilégié dans l'architecture de l'outil collaboratif amont. Les connaissances à intégrer sont celles définies par (Yesilbas et al. 2004).

A la question du mode de développement, nous avons vu tous les avantages que présente l'utilisation d'une méthode agile par rapport au développement informatique classique. En particulier, il apparaît clairement que cette méthode a pour but de répondre au besoin de développer un logiciel rapidement, dans un environnement de changements rapides des spécifications du cahier des charges (Greer et al. 2011). Cet environnement correspond bien à celui qu'il est probable de rencontrer lors d'expérimentations en contexte industriel : peu de temps pour formaliser les choses, développement par itérations, importance de la matérialisation rapide d'une solution afin de faire avancer la conception. Le pragmatisme de cette méthode nous a conduit à écarter un développement informatique classique, dans le cadre du développement et des tests utilisateurs d'un prototype dynamique d'environnement collaboratif amont. Notons cependant qu'une fois les tests réalisés, l'étape suivante consiste en un développement informatique plus conséquent, qui sort alors du périmètre de la conception agile telle que nous l'avons mise en œuvre.

A la question du type de produit concerné par un environnement collaboratif amont, la réponse est claire. Nous avons constaté que le développement, fût-il "agile et adaptatif", de ce type d'environnement ne peut être bénéfique que dans les cas de conception routinière, *i.e.* lors des projets de construction et d'amélioration au sens de (Micaëlli et al. 2003). Cependant, nous notons que ceux-ci représentent, à l'heure actuelle, plus de 80% des cas de conception de produit (Prasad 1997; Jauregui Becker et al. 2011). Cela signifie que la majorité de ces entreprises pratique une conception routinière (Idemmerfaa et al. 2002). C'est pour ce type de conception qu'il est important et intéressant de créer des méthodes et des outils qui aident à définir une organisation initiale et une structure collaborative établie pour chaque nouveau projet.

A la question du lien de nos travaux avec les groupware, nous pensons après une analyse fine de nombreuses références, et en particulier des travaux de (Restrepo 2006), que la combinaison des méthodes de développement de groupware et d'un développement agile permet d'optimiser la réponse aux besoins des utilisateurs. Nous proposons pour cela dès l'étape de conception des interfaces (Levan et al. 1994) des maquettes dynamiques (et non statiques), animées selon un scénario défini lors d'entretiens semi-dirigés préalables à ce développement. Les scénarios sont établis en fonction du métier concerné par l'évaluation et la phase des retours de tests utilisateurs est faite au plus tôt, réduisant ainsi les risques de non-satisfaction. Enfin, nous pensons que la modularisation des activités à des fins de diminuer le temps de développement est une bonne chose, mais la conception des modules doit alors se faire de manière concourante et non séquentielle comme recommandé par (Restrepo 2006).

Finalement, à la question du mode d'évaluation d'un environnement de travail collaboratif le mieux adapté à nos contraintes, nous pensons que l'entretien semi-dirigé dans le contexte d'une évaluation fondée sur les scénarios (SBE) est la meilleure solution afin de recueillir le besoin, en accord avec (Carroll 2000).

Cette synthèse de notre positionnement vis-à-vis des travaux scientifiques étudiés présente un cadre à l'application de notre méthode de développement d'un environnement collaboratif amont : tout d'abord, le type de produit concerné est un produit de conception routinière. Ensuite, le produit visé ne doit pas être développé par une seule et même suite logicielle, au sein d'une même entreprise afin de permettre une intégration multi-disciplinaire. La suite de notre état de l'art, fondé sur l'étude de pratiques industrielles, respecte ce cadre et va nous permettre d'analyser sur le terrain les apports potentiels de nos travaux. C'est l'objectif du chapitre suivant.

## 2.3 PRATIQUES INDUSTRIELLES

### 2.3.1 INTRODUCTION

Afin d'augmenter la portée de nos propositions d'environnements collaboratifs, notre état de l'art scientifique a été enrichi par plusieurs cas d'études industriels. Dans l'optique d'obtenir un panel large de produits industriels susceptibles d'être la cible de nos expérimentations, nous avons tout d'abord contacté une série de dix entreprises partenaires de l'Ecole, dans des secteurs variés et respectant les critères définis auparavant à savoir :

- un produit cible de conception routinière.
- une intégration pluridisciplinaire forte dans le cycle de développement du produit.

Les entreprises contactées couvrent les domaines de l'automobile, de l'aéronautique, du Bâtiment et des Travaux Publics, de la R&D dans le domaine de la marine, du textile, de la téléphonie et de l'emballage. Pour chaque industriel contacté, nous lui avons demandé qu'il nous ouvre ses portes afin de décrire de manière précise le processus de conception amont de son produit, ainsi que les échanges de RI entre les différents métiers. Ce travail présente la base de la définition d'un environnement collaboratif amont. Malgré la volonté de tous de développer leur collaboration dans ces phases, et le grand intérêt porté au projet, plusieurs industriels ont préféré arrêter la collaboration par peur d'une diffusion de leur savoir-faire. Cette crainte a été particulièrement présente chez notre partenaire aéronautique, pour qui l'amont est une zone strictement confidentielle d'où rien ne doit filtrer.

En conséquence, nous avons eu quatre retours positifs qui remplissent nos critères. Nous choisissons de détailler dans ce manuscrit les deux cas d'études qui sont les plus proches d'une conception industrielle de produit, dans le domaine du textile et de l'emballage. Les deux autres sont issus du BTP (entreprise Colas) et de la mécatronique appliquée à la marine (entreprise Robotswim, <http://www.robotswim.com/>), ont fait l'objet de dépôts de trois brevets en appliquant la méthode de développement d'environnement collaboratif présentée dans cette thèse (Segonds et al. 2008; Segonds et al. 2009a; Segonds et al. 2010). Les deux produits que nous allons étudier, grâce aux partenariats industriels développés avec Verallia (anciennement Saint-gobain Emballage) et Devanlay (fournisseur exclusif de la marque de vêtements Lacoste), nous ont semblé pertinents car :

- il s'agit de produits de conception routinière (critère 1).
- le côté pluridisciplinaire et multi-métiers est largement présent dans chacune de ces entreprises (critère 2).

De plus, d'autres paramètres rendent ces cas d'études pertinents :

- ils couvrent des secteurs complémentaires du monde industriel.
- le time to market de ces différents produits est très large, allant de quelques semaines (Verallia), à plusieurs mois (Devanlay). Ainsi, les outils collaboratifs supports utilisés, leurs performances et les RI nécessaires ne sont pas identiques.
- la multitude des acteurs présents en fait un terrain idéal pour implémenter un environnement collaboratif.
- les types de collaborations couvertes sont multiples, et représentatives de la majorité des cas de conception : synchrone et asynchrone en colocalisation et en mode distant.

Ces études nous ont permis d'identifier les pratiques collaboratives par secteur industriel, avant d'en tirer une synthèse que nous présenterons au chapitre 2.3.3, p110. Elles ont été menées en collaboration avec des élèves ingénieurs, dans le cadre de partenariats industriels en lien avec des projets de deuxième et troisième année, à Arts et Métiers ParisTech. Au total, ce sont deux étudiants en projet de fin d'études (projet de troisième année d'une durée de quatre mois à temps plein, soit environ 600h par étudiant) et un groupe de quatre étudiants en projet métier (projet de deuxième année d'environ 80h par groupe réparties sur 6 mois) qui ont contribué à ce travail de recherche, dans le cadre que nous avons défini.

La demande industrielle de support méthodologique dans l'industrie est bien fondée, et soutenue par la recherche (Birkhofer et al. 2005). En même temps, l'industrie est fortement axée sur les résultats et aspire à un processus de conception contrôlable (Ottosson et al. 2003). On note que l'une des principales questions qui est soulevée lorsque l'on parle de méthodologies et de leurs applications industrielles est : "Comment peut-on adapter les méthodologies de conception aux spécifications d'une utilisation pratique en industrie?" (Birkhofer et al. 2005). Des travaux antérieurs du LCPI ont montré la multiplicité des supports méthodologiques en conception. Il en ressort un besoin d'une plus grande lisibilité des éléments méthodologiques existants (Vadcard 1996). Ceci explique que relativement peu de méthodes de conception soient utilisées dans l'industrie. De nombreuses études vont en ce sens, et le constat reste identique tout autour du globe : les méthodologies de conception sont peu utilisées dans la pratique. Selon (Tomiyama et al. 2009), ces dernières sont largement enseignées mais trouvent beaucoup moins d'applications sur le plan industriel. Ainsi, on peut citer les méthodologies décrites par (Pahl et al. 2007), (Ullman et al. 2003) ou encore (Ulrich et al. 2007). Cependant, celles visant à atteindre des objectifs concrets comme les technologies liées au process de fabrication, telles que, par exemple Axiomatic Design (Suh 1990; Suh 2001), Design for X (Huang 1996), FMEA pour Failure Mode Effect and Analysis ou AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) en français (McDermott et al. 1996), TRIZ (Altshuller 1984), QFD (Mizuno et al. 1993) etc. sont largement enseignées et utilisées. Ceci s'explique en grande partie car ces méthodologies de conception mettent assez peu l'accent sur les premières étapes de la conception (conceptual et embodiment design). De plus, elles permettent d'atteindre des objectifs de performance concrets en terme de coût, qualité et délais. Le type de projet concerné est également important, comme évoqué précédemment. Ainsi, dans le cadre d'une conception routinière, les objectifs de performance seront les plus importants, ce qui explique que ces méthodes connaissent un certain succès industriel.

Afin de pallier ce problème, notre approche est fondée sur l'étude du terrain industriel qui permet de comprendre finement le fonctionnement de l'entreprise avant de proposer un environnement collaboratif adéquat. La démarche est adaptée des travaux de (Birkhofer et al. 2005), que nous présentons sur la Figure 53 ci-dessous.

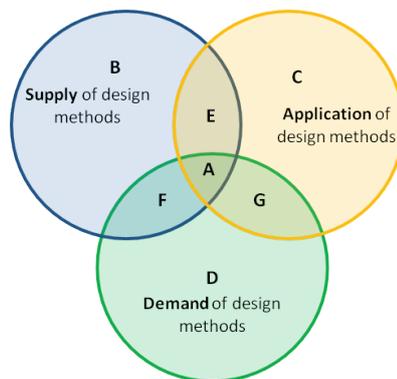


Figure 53 : schéma de fourniture, demande et application des méthodes de conception, adapté de (Birkhofer et al. 2005).

**Le domaine A** est l'intersection optimale, où la science répond à la demande de l'industrie et les utilisateurs peuvent travailler efficacement avec les méthodes de conception proposées. Par exemple, la rédaction d'un cahier des charges, l'évaluation systématique du produit et de ses variantes. C'est ce domaine qui constituera la cible de nos expérimentations présentées dans la 4<sup>ème</sup> partie.

Ensuite, les méthodologies de conception peuvent se séparer en trois grandes catégories, représentées par les domaines B, C et D.

**Le domaine B**, "Offre en méthodes de conception" représente un point de vue purement scientifique des méthodes de conception. C'est la fameuse "tour d'ivoire", où les universitaires inventent de nouvelles méthodes sans aucune demande de l'industrie et sans aucune perspective pour l'application durable par des utilisateurs, en particulier industriels.

**Le domaine C**, "Application des méthodes de conception" couvre les méthodes de conception réellement utilisées par l'industrie. Dans ce domaine, (Birkhofer et al. 2005) n'ont trouvé presque aucune méthode. Les méthodes sont souvent utilisées implicitement par les concepteurs, sans réel contrôle de la hiérarchie qui ne croit pas forcément à l'expérience de ses concepteurs, et sans fondation théorique à ces méthodes.

**Le domaine D**, "Demande de méthodes de conception" comprend des méthodes de conception, qui sont explicitement ou implicitement exigées par l'industrie. Ce champ représente une région ayant un fort potentiel pour la recherche en conception. Selon (Birkhofer et al. 2005), ce type de méthode appartient au domaine du management de projet et des méthodes fondées sur des outils ("tool-based methods").

Les intersections entre les domaines sont aussi des champs de recherche intéressants.

**Le domaine E**, domaine des méthodes formelles de conception appliquées sans réelle utilité. Il n'y a, fort heureusement, pas d'exemple dans ce domaine.

**Le domaine F**, domaine des méthodes de conception utiles et fournies qui ne sont pas appliquées, par exemple l'analyse fonctionnelle.

**Le domaine G**, domaine des méthodes de conception utiles et appliquées industriellement, mais qui ne sont pas fournies par les sciences de la conception. Elles sont souvent qualifiées comme faisant partie de la "culture" de l'entreprise, et viennent supporter l'activité de conception. Par exemple, la planification du projet, avec des jalons, ou encore les outils de revue de conception ou de calcul de coûts.

### 2.3.2 CAS D'ETUDES : PRESENTATION DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Nous présentons dans ce chapitre les deux cas d'études que nous avons analysés en profondeur. Chaque cas a fait l'objet d'un projet de fin d'études, c'est-à-dire qu'un élève ingénieur a participé à la définition des besoins et au développement d'un environnement collaboratif. Les travaux, d'une durée de six mois en moyenne faisaient l'objet d'un suivi et de réorientations réguliers afin de répondre aux objectifs de la recherche action menée. Le protocole expérimental est commun à toutes nos expérimentations. Il est présenté sur la Figure 54 ci-dessous.

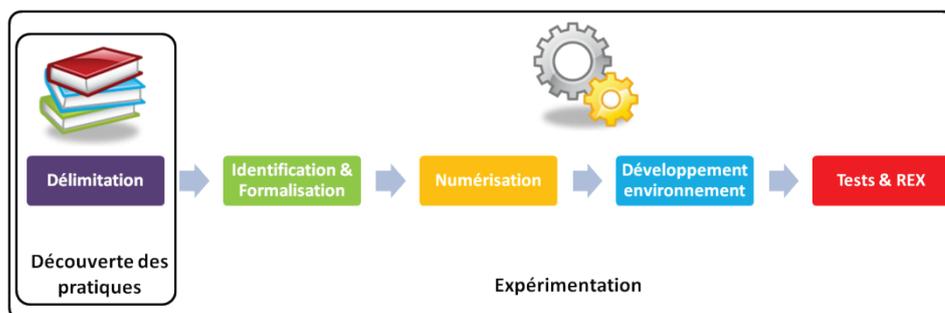


Figure 54 : protocole expérimental global en cinq phases.

La phase de délimitation consiste à aller dans l'entreprise et, par l'intermédiaire d'entretiens ciblés (une à deux personnes clés du processus) et de divers supports informatiques, à découvrir les pratiques et comprendre la manière dont un produit est conçu afin de fixer la limite de la conception amont et des acteurs à rencontrer. Ce premier contact avec la société permet d'analyser avec un œil neutre les pratiques collaboratives. Les documents présentés sont archivés et les réunions font l'objet de prises de notes afin de permettre un traitement ultérieur des informations fournies. Suite à cette phase, nous arrivons à des constats qui nous sont utiles pour la suite des expérimentations. Il nous a semblé intéressant de développer cette étape dans une partie "état de l'art des pratiques industrielles" car notre vision neutre du processus et des éventuels points de blocage nous permet de formaliser des constats complémentaires de notre état de l'art scientifique.

Les quatre phases suivantes font partie du protocole des expérimentations 1 à 3. Nous allons ici au-delà de la découverte des pratiques dans le but de formaliser avec une granularité fine le processus de conception dans l'optique de développer et d'optimiser un outil collaboratif support à la conception amont. Ces étapes sont détaillées dans la 4<sup>ème</sup> partie.

Chaque cas d'étude est présenté au travers de son contexte industriel, puis nous investiguons afin de comprendre comment est réalisé le développement de nouveaux produits. Enfin, nous positionnons la conception amont avant de faire les constats liés à ces études de cas. Ces constats nous seront utiles comme données d'entrée de la phase expérimentale. Nous commençons par le développement d'un produit verrier chez Verallia, avant d'étudier le développement chez Devanlay, une entreprise textile.

### 2.3.2.1 L'ENTREPRISE VERALLIA ET LA CONCEPTION AMONT DES PRODUITS

La première étude des pratiques industrielles est effectuée suite à un retour positif à nos sollicitations du responsable du Bureau d'Etudes de Verallia, M. Peyceré, situé sur le site de Chalon-sur-Saône (71). Nous nous sommes rencontrés à de multiples reprises avec son équipe afin, dans un premier temps, d'identifier les pratiques de conception puis, dans un second temps de réaliser des tests utilisateurs. Un étudiant en projet de fin d'études a également contribué sur une durée de quatre mois à cette phase. Cette étude constitue la première phase de "Délimitation" de notre protocole, représentée en pourpre sur la Figure 55 ci-dessous.

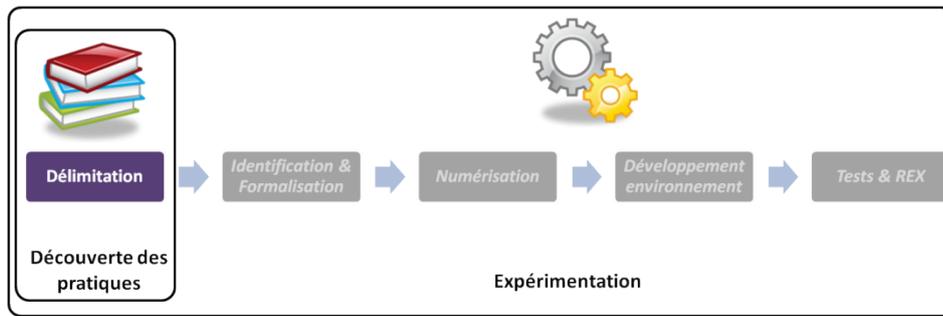


Figure 55 : initiation du protocole expérimental en cinq phases.

## I. CONTEXTE INDUSTRIEL

### A. PRESENTATION DES PARTIES PRENANTES

Verallia, sur son site de Chalon-sur-Saône, fabrique des contenants en verre (bouteilles principalement). Il s'agit du plus gros site français. Il fait partie du pôle conditionnement du Groupe Saint-Gobain, industriel français créé en 1667 sous l'impulsion de Colbert. Aujourd'hui Saint-Gobain, leader mondial de l'habitat, conçoit, produit et distribue des matériaux de construction. L'activité de Saint-Gobain se répartit autour de quatre pôles qui sont présentés sur la Figure 56 ci-dessous :



Figure 56 : pôles de compétence de Saint-Gobain et positionnement de l'entreprise partenaire.

La Figure 57 ci-dessous présente la répartition du Chiffre d'Affaires (CA) de Saint-Gobain, en % de ventes. L'activité d'emballage représente aux environs de 10% du CA de l'entreprise.

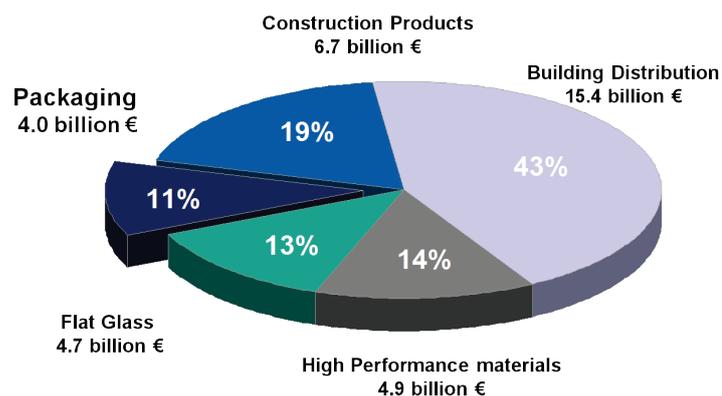


Figure 57 : répartition des CA des ventes de Saint-gobain par pôle, année 2007.

Numéro deux mondial de l'emballage en verre, le pôle conditionnement dispose de positions commerciales fortes dans quarante-six pays en Europe occidentale, en Amérique du Nord, en Amérique latine et en Europe orientale. Ses atouts sont un réseau mondial, une organisation décentralisée et une connaissance de ses marchés régionaux. Cette alliance de puissance et de proximité lui permet ainsi de répondre efficacement aux exigences de l'ensemble de ses clients.

Leader mondial dans les segments des bouteilles pour les vins, les spiritueux et les pots alimentaires, le pôle conditionnement est également présent sur les marchés des jus de fruits, boissons non alcoolisées, eaux minérales, huiles, pots pour bébé, produits laitiers et desserts.

Le Tableau 5 ci-dessous présente quelques chiffres clefs de ce site, issus d'entretiens avec le responsable du Bureau d'Etudes.

<b>Chiffres clefs de Verallia - site de Chalon-sur-Saône (source entretiens)</b>	
<b>Production journalière</b>	2 400 000 bouteilles
<b>Prix moyen d'une bouteille</b>	0,15 à 0,30€
<b>Nombre de projets/an</b>	300
<b>Nombre de projets en parallèle</b>	150
<b>% de "créations"</b>	25 à 30%
<b>Rendement de bouteille (Mverre/Mbtle)</b>	90%

Tableau 5 : chiffres clefs de Verallia - Site de Chalon-sur-Saône.

Verallia France (six usines) dispose d'un Bureau d'Etudes (BE) situé à Chalon-sur-Saône, qui analyse les besoins du client et fournit une réponse en adéquation. Il est constitué de douze membres, dont six en R&D (Bureaux d'Etudes et des Méthodes). Au cours de nos expérimentations, nous avons eu la chance de pouvoir suivre du début à la fin un projet de développement d'une nouvelle bouteille avec l'intervention d'une agence de design extérieure. Nos échanges ont été particulièrement approfondis avec le responsable de développement des produits nouveaux, M. Peyceré, ainsi qu'avec la responsable de l'agence de design, Mme Coulon, en charge de la définition de la bouteille.

La spécificité de Verallia réside dans le nombre de données qu'il faut gérer simultanément. En effet, à la différence de l'automobile où les concepteurs gèrent un à deux projets en parallèle, jusqu'à cent cinquante projets peuvent se côtoyer au BE. A titre indicatif, la Figure 58 donne le nombre de plans d'articles traités au cours des dernières années d'exercice, chaque contenant nécessitant au moins trois plans d'articles différents afin de définir le produit ainsi que son outillage de fabrication.

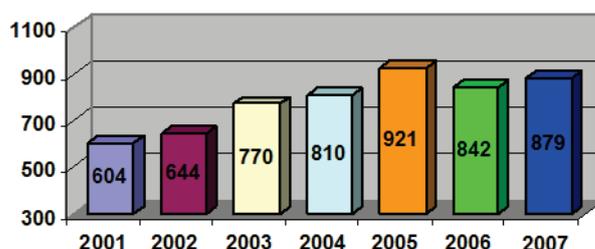


Figure 58 : évolution du nombre de plans d'articles créés au Bureau d'Etudes.

Cependant, à la différence du flaconnage de parfum (par exemple) où le rythme des créations oscille aux environs d'une par jour, environ 70% du CA de Verallia est généré grâce à des bouteilles relativement anciennes (conception antérieure à trois ans), qui représentent un "fonds de commerce".

L'agence de design Terre-Neuve, partie prenante du projet, est une entreprise composée de six personnes travaillant dans le domaine de la création et de la communication. Elle est située à quelques kilomètres d'Avignon, à Bédarrides (84). Terre-Neuve s'illustre (voir Figure 59) dans le monde de l'emballage de produits "bio", de la cosmétique et de la verrerie.

Cette entreprise, partenaire de Verallia, travaille essentiellement sur le design (au sens artistique et technique) de produits d'emballage et sur des campagnes marketing de ses clients. Les clients sont le plus

souvent des particuliers ou des regroupements de particuliers (coopératives par exemple). Dans une démarche collaborative usuelle, c'est généralement Terre-Neuve qui, lorsque les premiers pas d'une collaboration amont ont été déterminés avec le client (un vigneron par exemple), contacte Verallia pour la réalisation de bouteilles. Ses outils de création sont les croquis à la main, les logiciels graphiques comme Adobe Photoshop® et Illustrator®, mais aussi des logiciels de rendu 3D comme Bryce®.



Figure 59 : un exemple de réalisation de l'agence de design Terre-Neuve.

#### B. HISTORIQUE DU PROJET

Le projet de nouvelle bouteille sur lequel nous avons collaboré avec l'agence Terre-Neuve et Verallia est nommé "Beaumes de Venise". Ce nom est lié au terroir de la région. Il vise à la création d'une nouvelle bouteille de 75cL pour un cru de vin rouge. La décision finale, au niveau du design produit, est prise par le client qui est une coopérative avec un directoire, représentant environ trois cents vignerons. Le choix se porte sur une bouteille de forme Bourgogne (type "Châteauneuf du Pape"). Le premier "brief" (synthèse écrite des attendus liés au design de la bouteille) écrit étant insuffisant (voir Figure 60 ci-dessous) une rencontre avec les clients est organisée afin de mieux définir les attentes.



Figure 60 : Brief design fourni à l'agence Terre-Neuve.

Un accord préalable sur la faisabilité technique est fourni par Verallia à Terre-Neuve, et des propositions irréalisables ou hors coûts sont éliminées. Le temps écoulé entre le "brief" design et la proposition technique est d'environ trois semaines. Les designers réalisent ensuite des croquis à la main, appelés "roughs" (voir Figure 61), à partir de sources inspirationnelles telles que des planches d'images (voir Figure 62), qu'ils travaillent ensuite sous Photoshop afin d'avoir un rendu le plus réaliste possible.



Figure 61 : extrait des rougls réalisés par les designers.



Figure 62 : exemples de planches inspirationnelles des designers.

La communication avec le BE de Verallia se fait à l'aide d'outils standards tels qu'Illustrator® qui fournit des fichiers au format pdf3d. L'agence fournit six concepts de bouteilles au choix du client avec l'aval technique de Verallia, sur les huit présentés initialement. La Figure 63 ci-dessous présente quatre de ces concepts.



Figure 63 : rendus réalistes des concepts de bouteilles présentés au client.

Les variations d'un concept à l'autre peuvent être relativement mineures, comme la variation d'une forme de bague (partie haute de la bouteille). Le client, choisit un concept de bouteille, en accord avec les données économiques fournies par le commercial de Verallia. Ensuite, les plans d'articles de la bouteille, ainsi que les plans des moules sont réalisés par Verallia (BE et spécialistes moules). A l'heure actuelle, les premières bouteilles sorties de tests verre sont validées par le client, et l'industrialisation est réalisée (voir Figure 64).



Figure 64 : essai verre.

La Figure 65 ci-dessous présente le synopsis de ce projet de création d'une nouvelle bouteille, que nous explicitons ci-après.

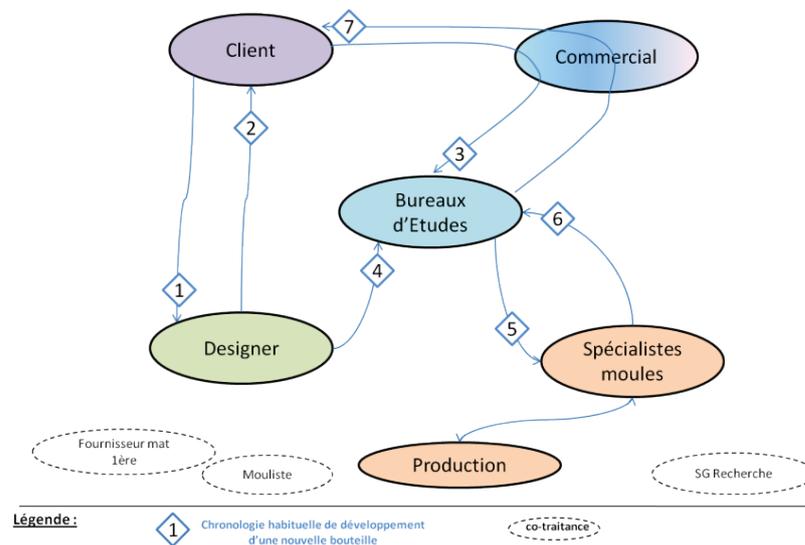


Figure 65 : synopsis du projet étudié.

En synthèse, la création d'une nouvelle bouteille se décompose en sept phases, classées chronologiquement :

1. Tout d'abord, le client émet un besoin de créer une nouvelle bouteille, avec une identité pour l'un de ses crus. Il fait alors appel à une agence de design, généralement spécialisée dans les produits régionaux.
2. Le designer émet une série de propositions de concepts (généralement entre six et huit) qu'il soumet au client.
3. Le client, qui est en relation directe avec le commercial de Verallia, lui transmet les propositions du designer ainsi que sa (ses) préférence(s) (deux concepts maximum) afin d'obtenir une estimation du coût du produit. Si le produit présente des innovations majeures, le commercial s'en référera au BE. L'étape trois peut présenter quelques allers retours commercial/client pour affinage du prix en fonction du concept.
4. Une fois le concept sélectionné, le BE se rapproche de l'agence de design afin d'obtenir les documents les plus fidèles (rendu réalistes, images) du concept retenu en vue de sa modélisation en CAO.

5. Les spécialistes moules reçoivent les plans articles de la bouteille à concevoir afin de réaliser les plans des moules.
6. Les spécialistes moules donnent leur accord (ou non), en lien avec la production et les entreprises de sous-traitance pour une pré-industrialisation du produit (série de cent pièces).
7. Le BE informe, via le commercial, le client que les préséries sont réalisées. Après validation finale du client, la production totale est planifiée puis lancée, sur quelques jours.

## II. LE DEVELOPPEMENT DE NOUVEAUX PRODUITS

### A. VU DU BUREAU D'ETUDES, UN PROCESSUS INDUSTRIEL COMPLEXE

Le verrier est un producteur qui fournit des bouteilles à destination d'autres entreprises agroalimentaires afin de les remplir et les commercialiser. Leur client est donc l'embouteilleur que nous distinguons du consommateur final qui achète, lui, la bouteille remplie sur un stand d'achat. Au sein de Verallia, la chaîne de conception s'organise classiquement en trois phases : la définition du produit, les essais verre et le lancement de la fabrication (voir Figure 66).

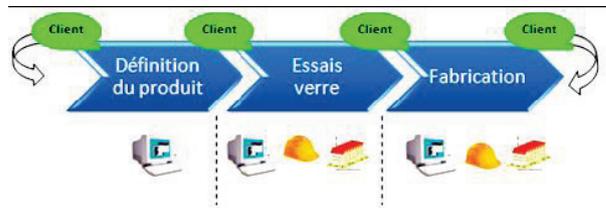


Figure 66 : processus de développement d'une bouteille, la vision du BE.

#### La définition du produit :

La phase de définition du produit sert à conceptualiser l'idée du client jusqu'à la transformer en un projet de plan. L'objectif est de faire intervenir l'approche esthétique et créative des designers afin de formaliser sous la forme de dessins et de maquette, une proposition. En moyenne cette étape dure trois semaines sur la plupart des projets et est conduite par le BE (symbolisé par un ordinateur sur la Figure 66). Quelques prototypes peuvent être fabriqués (voir Figure 67), en interne ou en sous-traitance, pour un investissement inférieur à 1k€.

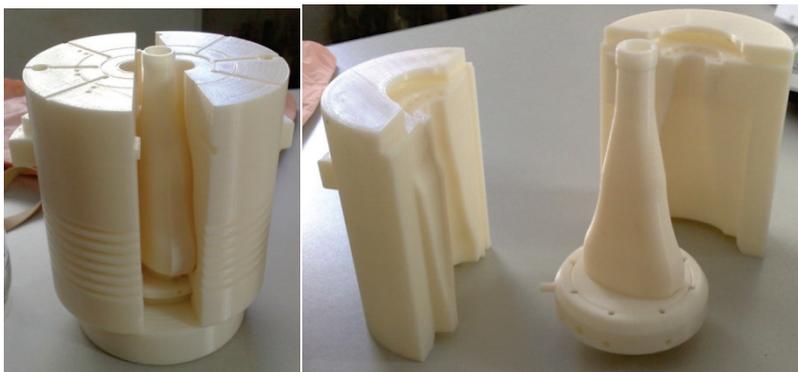


Figure 67 : prototypage rapide d'une bouteille avec son moule finisseur.

#### Les essais verre :

Cette partie a pour but de finaliser les plans des moules en accord avec le bureau des méthodes (BM, symbolisé par un casque sur la Figure 66) tout en faisant réaliser une présérie de l'ordre de cent bouteilles afin de tester la chaîne de production ainsi que le rendu série de la bouteille.

**Le lancement de la fabrication :**

Après le feu vert final du client qui a pu observer les prototypes de présérie, les bouteilles sont produites en gros volumes, une fois que la chaîne est réglée. L'ordre de grandeur est de deux cent mille à trois cent mille bouteilles produites par jour sur une ligne de fabrication, une fois les moules montés.

Le Tableau 6 ci-dessous fait la synthèse des durées ainsi que des coûts (investissement, hors temps homme consacré) de chacune de ces phases.

Définition du produit	3 semaines, <1k€
Essais verres	8 semaines, 10k€
Lancement de la fabrication	8 semaines, 35k€

*Tableau 6 : synthèse des durées et des coûts des phases réalisées au BE.*

**B. LES ACTEURS DE LA COLLABORATION, LEURS ROLES, LEURS OUTILS**

Les collaborations entre acteurs de la conception amont peuvent être plus ou moins approfondies en fonction du projet : par exemple, les designers peuvent ne pas intervenir s'il s'agit d'une reconduction de série, ou d'une modification mineure de forme ou de teinte. Partant du vieil adage "Qui peut le plus, peut le moins", nous avons, dans nos travaux cherché à modéliser la collaboration la plus exhaustive possible, c'est-à-dire avec le plus d'acteurs possibles. Tous ces acteurs peuvent être regroupés en entités indépendantes qui sont généralement des entreprises et utilisent les outils qui sont propres à leur métier. Le Tableau 7 ci-dessous présente la synthèse des acteurs ainsi que leurs outils métiers et de communication utilisés au quotidien dans leur travail (en dehors des classiques mails et téléphone). On note une multiplicité de ces outils, qui n'est pourtant pas (suite à nos entretiens) un frein à la collaboration.

Acteurs	Entités	Outils métiers et de communication
Bureau d'études	Verallia	Pro-Engineer®/Pro-Mechanica®/ DNP/ Intranet/Suite "Office"
Designer	agence Terre Neuve	Photoshop®/Illustrator®/Bryce®/Suite "Office"
Commercial	Verallia	Suite "Office"/intranet
Spécialiste Moule	Verallia	Pro-Engineer®/Intranet/Suite "Office"
Client	Indépendant	Suite "Office"

*Tableau 7 : synthèse des acteurs de la conception et de leurs outils métiers et de communication.*

La collaboration amont entre les différents partenaires lors de la conception d'une nouvelle bouteille de verre a généralement lieu entre quatre entités qui sont le client, le designer, le commercial, et le BE de Verallia. Les objectifs sont de conceptualiser, ensemble, les nouveaux prototypes de bouteilles, le plus rapidement et le mieux possible. Toute la difficulté de ce type de collaboration réside dans le fait que les collaborateurs ne font pas partie de la même entreprise. Ils doivent collaborer sur des projets qui partent le plus souvent de la feuille blanche et dans des lieux espacés géographiquement. Les réunions physiques régulières deviennent donc vite une perte de temps dans les transports, et sont coûteuses (Bernard 2004). De plus les différents métiers qui opèrent sur les projets de conception ont leurs méthodes de travail, leurs approches métiers qui créent avec la distance de véritables barrières au sein même des projets. La communication est en quelque sorte plus difficile, voire séquencée et l'on voit apparaître naturellement de nombreuses itérations entre les partenaires afin d'arriver à un compromis. A des fins d'optimisation, une des premières étapes est d'identifier les différents partenaires ainsi que leurs contraintes métiers respectives.

### C. LES CONTRAINTES RESPECTIVES ENTRE PARTENAIRES

La capacité à créer et développer efficacement un nouveau produit se fonde sur la collaboration entre les différents acteurs ou entités telles que le client, l'entreprise productrice et le designer. Dans la conception de bouteilles l'entité industrielle est Verallia et regroupe le BE, le BM et la production. La génération des concepts produits est intégralement externalisée grâce aux designers. Ainsi ces partenaires sont des entités indépendantes qui ont toutes pour objectifs de satisfaire les besoins du client. Cependant pour y arriver chacun veut satisfaire ses propres exigences, et cela se fait généralement au détriment des contraintes d'autrui. En effet, chaque partenaire a des règles propres à son métier qui influencent et restreignent les possibilités de création. Ainsi les quatre acteurs en jeu lors de ce projet (BE et commercial, client et designer), ont des contraintes qu'ils doivent négocier au mieux afin d'arriver à un résultat satisfaisant pour tous. Ces contraintes sont présentées dans le Tableau 8 ci-dessous. Elles ont été identifiées par une série d'entretiens réalisés auprès des personnels de Verallia et Terre-Neuve.

Contraintes Client	Justifications
Spécification	Le client impose un respect total du Cahier Des Charges Fonctionnel et de ses spécifications (charte graphique, image de marque, etc.)
Contrôle	Le client se réserve de droit d'apprécier ou non les concepts et les produits en fonction de son goût même si ceux-ci respectent le CDCF.
Contraintes Designer	Justifications
Définition	La définition de base fixée par le client doit rester stable pendant le projet afin d'avoir un travail de conceptualisation cohérent.
Esthétique	Le designer veut être souverain dans la proposition des formes et sur les critères de beauté du produit.
Artistique	Le designer intègre dans son travail son point de vue de créatif artistique, en respectant des codes de séduction marketing. Il fonde son travail sur la recherche de courbes visuellement attractives et travaillées. Un infime changement peut briser l'harmonie recherchée.
Ergonomique	Le designer cherche à intégrer des règles standards d'ergonomie afin que le produit soit agréable.
Contraintes Techniques BE	Justifications
Démoulage	Les plans de joint, les angles, les gravures en négatif ou en positif et la piqûre sont à prendre en compte.
Bague	Le type de bague, sa résistance, le type de bouchonnage ont une incidence sur la production et sur le design.
Formage	La répartition du verre dans le moule, le type de verre sont influents.
Dimensionnelle	L'épaisseur de verre, le volume et tous les critères du CDCF appliqués au BE
Résistance Mécanique	L'étude de la résistance est liée au type de contenu. Les variations de températures et les paramètres de pression des fluides à gaz dissous.
Etiquetage	Le collage de l'étiquette, le positionnement de l'encoche de repérage, la forme de la surface prévue pour l'étiquette.
Palettisation	En fonction de la forme de la bouteille et des dimensions de celle-ci, notamment le diamètre et la hauteur (<rayonnage).

Tableau 8 : contraintes métiers des entités mises en jeu dans le projet.

En synthèse, la collaboration amont est un travail en partenariat entre différents acteurs. Dans un contexte économique difficile, ils ont tout intérêt à se regrouper et travailler le plus efficacement et le plus tôt

possible, afin de maintenir leur avantage concurrentiel. Cependant les gains de temps et d'efficacité sont la conséquence d'une organisation qui permet de mettre en relation les membres de la collaboration. Maintenant que les contraintes métiers ont été définies, nous allons détailler dans le chapitre suivant le positionnement de la conception amont, en accord avec notre étude bibliographique.

### III. LA CONCEPTION AMONT

#### A. LES LIMITES DE LA CONCEPTION AMONT

L'objectif de nos travaux de thèse est de proposer un environnement collaboratif dédié à la conception amont. Nous avons vu au chapitre 2.2.1.2, p.47, que la conception amont regroupe les phases de définition et planification du projet, la phase de recherche et validation du concept ainsi que les premières étapes de la conception architecturale, jusqu'à la génération d'un tracé préliminaire. Cette définition, appliquée à la conception d'une bouteille, nous permet de limiter le périmètre de la conception amont. Dans ce cas, le tracé préliminaire de conception est le premier plan d'article (ou pré-plan) émis par le BE, et soumis à la validation des spécialistes moule. Il s'agit de la vignette n°4 de la Figure 68 ci-dessous.

En mettant en correspondance les principales RI échangées au cours du projet, nous obtenons la Figure 68 ci-dessous.

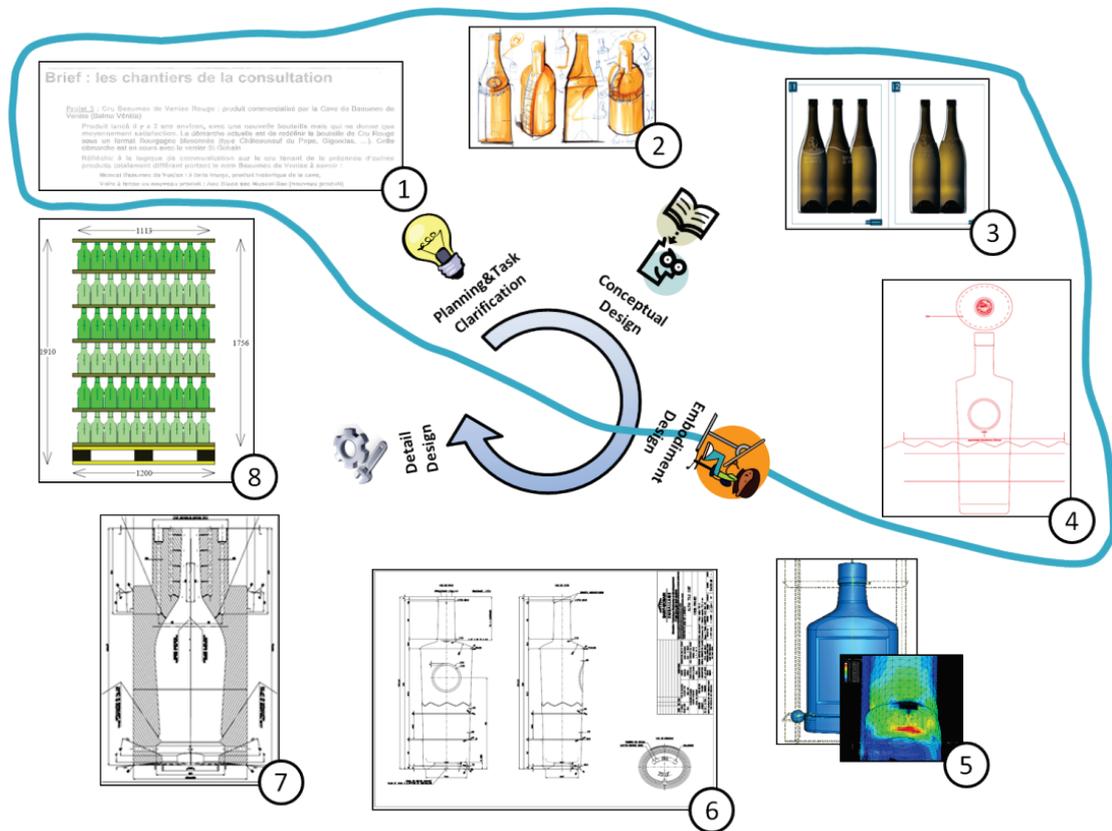


Figure 68 : cartographie des RI échangées au cours du processus de conception, et périmètre de la conception amont (en bleu).

Le cycle de développement de la bouteille, présenté au milieu de cette figure, suit celui de (Pahl et al. 2007). Les frontières de la conception amont sont cerclées en bleu (RI 1 à 4). La première RI présente le Brief design. Il s'agit ici clairement d'une RI de la phase de Planification et Clarification de la tâche. Les RI 2 et 3 sont celles réalisées par l'agence de design. Il s'agit ici de la phase de conception conceptuelle, dont un concept sera sélectionné pour la suite du développement. La quatrième RI représente le premier tracé préliminaire de la bouteille, ou pré-plan, effectué par le BE. C'est donc ici que se situe la frontière de la conception amont. La cinquième RI présente une simulation par éléments finis pour la tenue aux chocs de

la bouteille. La RI n°6 est le plan définitif, qui marque la fin de la phase de conception architecturale, et le début de la phase de conception détaillée. Les RI n°7 et n°8 sont respectivement les plans de l'outillage nécessaire à la fabrication des bouteilles et le plan de palettisation de la bouteille.

Si l'on s'intéresse maintenant aux acteurs en présence pour la conception amont d'une bouteille, le périmètre amont intègre donc les designers, l'équipe commerciale, le BE ainsi que le client. Une synthèse est présentée sur la Figure 69 ci-dessous.

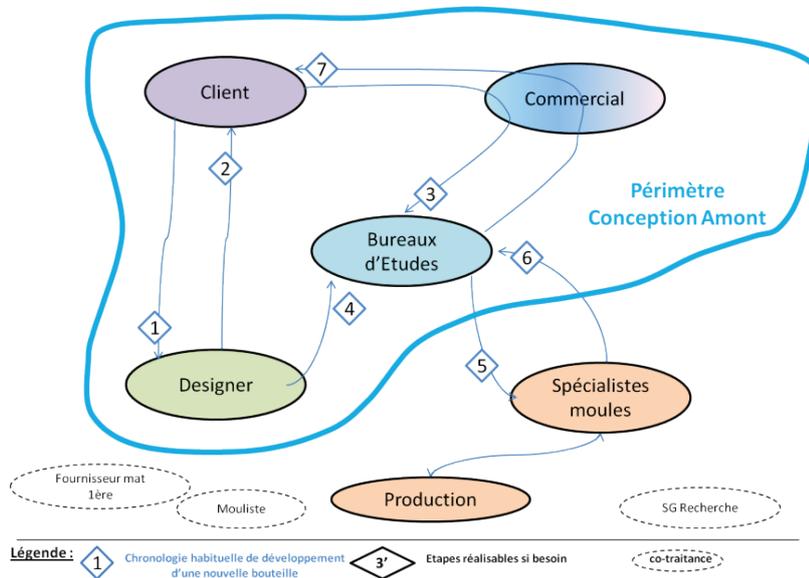


Figure 69 : acteurs en présence lors de la conception d'une bouteille, et périmètre de la conception amont (en bleu)

Les moyens mis en œuvre dans le but d'échanger, via les RI, sur les contraintes propres à chaque métier seront une des pistes pour améliorer la collaboration globale. C'est dans cet objectif que Verallia a mis en place un outil interne support au développement de produits, dénommé DNP.

#### B. UN OUTIL PDM SUPPORT DES PHASES DE CONCEPTION AVAL : DNP

Depuis 2007, le BE de Verallia s'est doté d'un SGDT, nommé DNP pour outil de "Développement de Nouveaux Produits", développé en interne et adapté au processus de création industrielle d'une bouteille. Cet outil, dont le périmètre englobe les BE et BM ainsi que les spécialistes moules (experts du procédé de moulage), est issu de la capitalisation des connaissances liées au développement d'un projet. Etant donné le caractère répétitif de certaines actions redondantes à chaque projet (demande de prix etc.) et avec cent cinquante projets en parallèle, la capitalisation des connaissances et la formalisation de workflows a apporté un cadre nécessaire à l'activité de conception. On retrouve ainsi des workflows pré-paramétrés (voir Figure 70) en fonction de la nouveauté à produire. Un workflow est la modélisation et la gestion informatique de l'ensemble des tâches à accomplir et des différents acteurs impliqués dans la réalisation d'un processus métier (aussi appelé processus opérationnel ou encore procédure d'entreprise). Le terme de workflow peut donc être traduit en français par "gestion électronique des processus métiers". De façon plus pratique, le workflow décrit le circuit de validation, les tâches à accomplir entre les différents acteurs d'un processus, les délais, les modes de validation, et fournit à chacun des acteurs les informations nécessaires pour la réalisation de sa tâche.

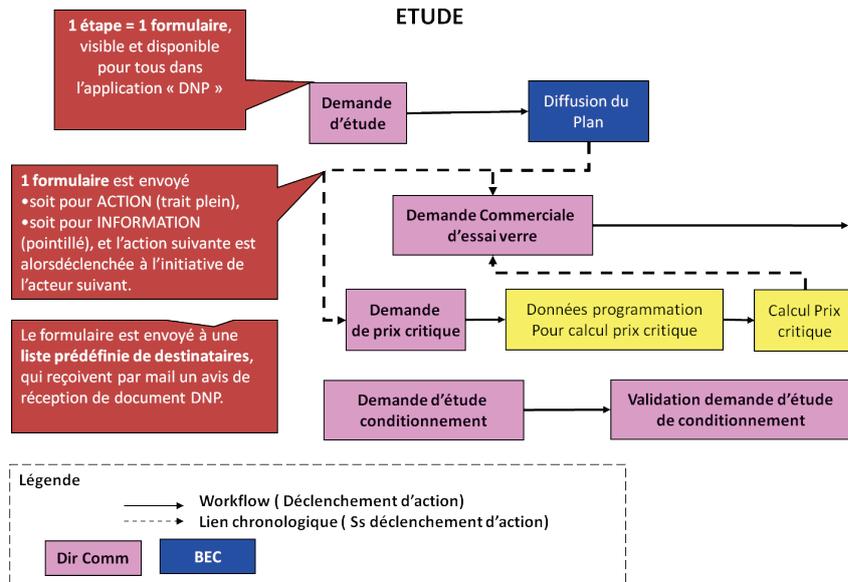


Figure 70 : workflow pour la phase étude, implémenté dans DNP.

Cet outil, connecté à l'intranet de l'entreprise, permet de gérer les données techniques de manière hiérarchisée, à la manière d'un PDM ou SGT. Une capture d'écran de cet outil est présentée sur la Figure 71 ci-dessous.

Figure 71 : capture d'écran du rendu graphique de l'outil DNP.

En référence aux acteurs évoqués plus tôt, la Figure 72 ci-dessous présente le périmètre d'action de cet outil. Il intègre donc, en tant que contributeur et/ou en tant que consultant :

- l'équipe commerciale qui a, de plus, accès à la base de données de ces produits en ligne.

- le personnel du BE, qui peut y stocker toutes les données techniques relatives à un article (plan, nomenclature, version de produit etc.).
- les spécialistes moules et le BM, qui peuvent y archiver tous les plans moules ainsi que les données liées à la fabrication.
- enfin, la production, qui a surtout un rôle de consultation des plans.

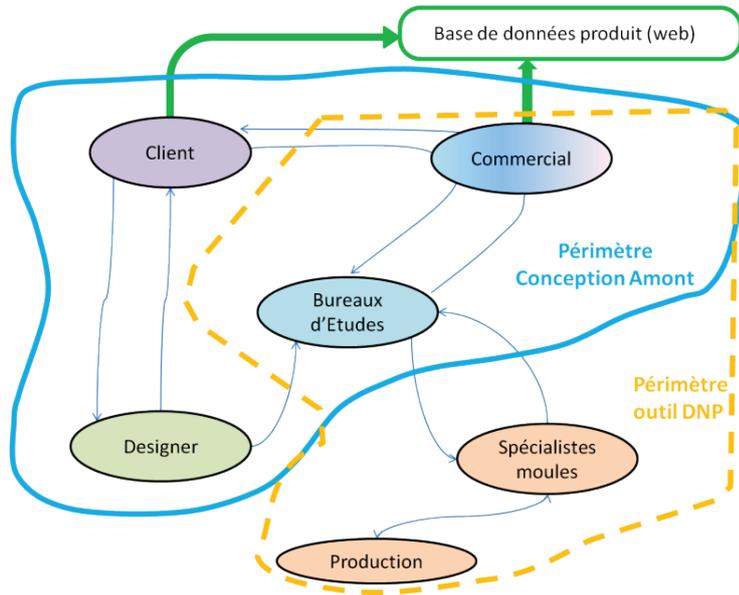


Figure 72 : périmètre d'action de l'outil DNP (en pointillés jaunes) et périmètre de la conception amont (en trait continu bleu).

On remarque nettement que le domaine de l'outil DNP ainsi que le domaine de la conception amont se recouvrent, mais ne sont pas identiques. Ainsi, la proposition d'un environnement collaboratif doit, certes, tenir compte de l'existence de cet outil DNP mais ne doit pas s'y limiter.

Afin de quantifier les apports de la mise en place de cet outil au sein de l'entreprise, nous avons mené une enquête auprès des six membres du BE-BM de Verallia. Cette enquête, distribuée par voie électronique se fonde sur la définition d'indicateurs et de métriques liés au développement de produit et à la collaboration. La liste, définie dans la littérature par (Crow 2001) comporte cent huit indicateurs de développement, pour des domaines aussi variés que la conception logicielle, la conception mécanique, électrique etc. Nous avons, au sein de ces indicateurs, choisi les plus adaptés à notre thématique de recherche, c'est-à-dire ceux basés sur la définition des spécifications du produit, sur la conception et la production ainsi que sur les aspects organisationnels de l'entreprise. Une synthèse des principales différences notées sur les indicateurs entre la conception avant et après la mise en place de DNP est retranscrite dans le Tableau 9 ci-dessous :

METRICS	WITHOUT DNP	WITH DNP
<b>Requirements &amp; Specifications</b>		
Average time to find information about requirements (min)	5 min	2 min
Possible saved time for this phase	X	1h/produit
<b>Technology</b>		
Percent team members with full access to product data and product models	20%	100%

Tableau 9 : indicateurs liés à la conception chez Verallia, avant et après la mise en place de DNP.

On note que la mise en place de DNP a déjà permis d'optimiser les phases de conception, avec une économie d'une heure par produit développé et par acteur. En moyenne, cela représente, à raison de 300

produits réalisés lors de l'année 2010, un gain total de 1800h/an pour le BE. L'autre avantage considérable de la mise en place de DNP est le fait que la totalité de l'équipe projet a accès à toutes les données liées aux produits. A titre d'exemple, un commercial cherchant à donner une estimation de prix d'une bouteille à son client peut se connecter via internet au réseau de l'entreprise afin d'avoir accès aux projets similaires antérieurs. De même, un spécialiste (interne Verallia) du moulage pourra consulter les plans moules en ligne.

Nous allons maintenant tirer les premiers constats de cette étude industrielle.

#### IV. CONSTATS IN SITU

Le temps passé en entreprise, et les interviews réalisées nous ont permis d'effectuer trois constats, utiles comme point de départ pour notre réflexion sur la conception d'un environnement collaboratif amont. Sur le plan industriel, la problématique d'optimisation de la collaboration amont est d'actualité chez Verallia. Ainsi, le responsable du développement de nouveaux produits indique : "Il faut faire en sorte que tous les acteurs de la conception amont soient capables de travailler ensemble, en communiquant, et en négociant au mieux leurs contraintes respectives".

Notre premier constat est que, dans ce secteur où 300 projets sont lancés par an, avec un recouvrement naturel des phases de conception et des projets, la création représente de 25 à 30 % de l'activité. Le projet support (Beaumes de Venise) fait partie de cette catégorie, qui reste de la conception routinière, et plus précisément un projet de construction (Micaëlli et al. 2003). Les autres projets sont des projets d'amélioration, pour lesquels il n'y a pas lieu de refaire des études amont, et sont donc moins demandeurs d'environnement support. Cependant, le processus de conception en place doit pouvoir s'adapter aux phases de conception amont, ce qui n'est pas le cas pour le moment.

Un second constat est que, pour le développement des produits nouveaux, les échanges entre le client, l'agence de design et le BE comptent de nombreuses itérations pour arriver à une solution acceptable aux yeux de tous. La Figure 73 ci-dessous représente les échanges entre ces différentes entités, à l'image des retards que cela peut introduire dans le processus de conception. Le Tableau 10 associé quantifie les temps consacrés à ces itérations de conception. En synthèse, sur un projet standard de conception d'une nouvelle bouteille, les itérations amont non couvertes par l'outil DNP durent en moyenne quatre semaines et demie. Même si ce temps est occupé par la multitude d'autres projets, le client doit, quant à lui, patienter afin d'obtenir son produit.

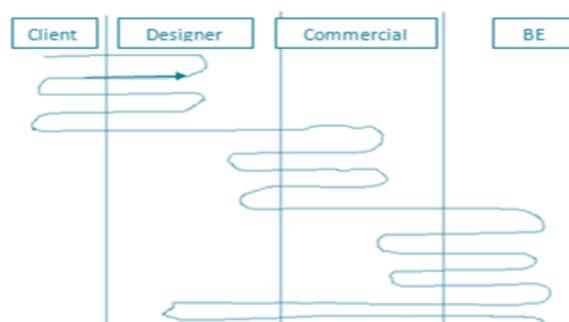


Figure 73 : illustration des itérations de conception lors du développement d'une bouteille

Entités	Nombre moyen d'itérations	Temps associé
Client/Designer	3	3 semaines
Designer/Commercial	3	3 jours
Commercial/BE-BM	2	1 jour
BE-BM/Designer	1	1 semaine
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>4,5 semaines</b>

Tableau 10 : quantification des temps moyens d'itérations lors du développement d'une bouteille.

Enfin, un dernier constat est que le développement d'un environnement collaboratif amont passe, en raison de sa nature peu ordonnée, par une mûre réflexion préalable sur la gestion des droits ainsi que des rôles de chacun dans le processus. Par exemple, dans le cadre de notre projet, les questions suivantes se sont posées : "quelle est la structure la plus adéquate pour héberger l'outil? qui gouverne cette structure? qui peut attribuer les rôles? etc.". En effet, les utilisateurs sont des éléments centraux de tout outil collaboratif. Ce sont eux qui produisent les contenus, qui les commentent et les font vivre. Il est donc logique d'accorder aux utilisateurs un statut spécifique, associé à un mode de gestion couvrant de multiples dimensions. Généralement le système de droit est fondé sur une combinaison permissions/rôles/utilisateurs. Une permission est un droit simple portant sur une opération par exemple : "créer un nouveau projet". Un rôle est un ensemble de permissions et un utilisateur est la manière dont l'outil doit identifier une personne. Par défaut on définit généralement trois rôles fondamentaux :

- Le rôle "utilisateur identifié", qui est associé automatiquement à tout utilisateur qui est connu, c'est-à-dire qui dispose d'un compte d'accès avec un identifiant et un mot de passe.
- Le rôle "utilisateur anonyme", qui est associé automatiquement à un visiteur.
- Le rôle "administrateur", qui est associé à un seul utilisateur qui a toutes les possibilités sur l'outil.

C'est en particulier ce dernier rôle qu'il convient d'attribuer correctement. Dans le cadre de nos expérimentations, nous considérons que les développements logiciels réalisés le sont en externe (société *ad-hoc*), et que les acteurs de la conception amont font appel à cet outil par l'intermédiaire de cette structure externe. Ainsi, l'administration de l'outil est externalisée, et chaque utilisateur est un utilisateur identifié, avec des droits spécifiques.

## SYNTHESE SUR... L'ENTREPRISE VERALLIA ET LA CONCEPTION AMONT DES PRODUITS

Dans le cadre du développement d'une méthode d'aide à la création d'un environnement collaboratif amont, le précédent chapitre nous amène, en synthèse, à réaliser plusieurs constats liés à la première phase de "Délimitation" de notre protocole expérimental :

- Tout d'abord, l'intégralité des produits conçus sont issus d'un processus de conception routinière. Dans ce cadre, un outil de type SGDT a été implémenté dans l'entreprise afin de répondre principalement aux besoins de la phase de conception détaillée des produits d'amélioration. Afin d'avoir une vision la plus exhaustive possible des échanges amont, nous en déduisons que les projets de construction comme celui étudié sont les plus porteurs.
- Ensuite, les itérations de conception retardent les projets de construction d'en moyenne quatre semaines et demie à cause d'un manque d'outils supports de la collaboration. Nous constatons donc que les phases amont nécessitent un environnement support.

- Enfin, la gestion des droits et des rôles dans la configuration d'un outil collaboratif est un facteur clef de réussite de la mise en place de cet outil, en particulier quand plusieurs sociétés collaborent. Il convient, dans le cadre de nos expérimentations, de se positionner en tant que structure externe qui fournit un prototype de logiciel et qui désigne, en accord avec l'équipe projet, un administrateur interne de l'outil.

Suite à ces constats liés à notre première étude des pratiques industrielles dans le domaine de la conception de produits verriers, nous allons maintenant identifier le processus de conception amont auprès de notre deuxième partenaire industriel issu de la conception de produit textile : l'entreprise Devanlay. Cette entreprise, dont le cycle de développement de produit est interne (pas de sous-traitance dans cette partie), nous permet d'analyser les collaborations amont en conception de produit sous un prisme différent et complémentaire.

### 2.3.2.2 L'ENTREPRISE DEVANLAY ET LA CONCEPTION AMONT DES PRODUITS

La deuxième étude des pratiques industrielles est effectuée suite à un retour positif à nos sollicitations de l'entreprise Devanlay, située à Paris (75), qui répond à nos critères de sélection. Elle est complémentaire de la première étude car les temps de développement et les situations de collaborations sont différentes. Nous nous sommes rencontrés à de multiples reprises afin, dans un premier temps, d'identifier les pratiques de conception puis, dans un second temps de réaliser des tests utilisateurs. Un étudiant en projet de fin d'études et un groupe de quatre étudiants en projet métier ont également contribué sur une durée de six mois à ce travail Cette étude participe à la réalisation de la première phase de "Délimitation" de notre protocole, représentée en pourpre sur la Figure 74 ci-dessous.

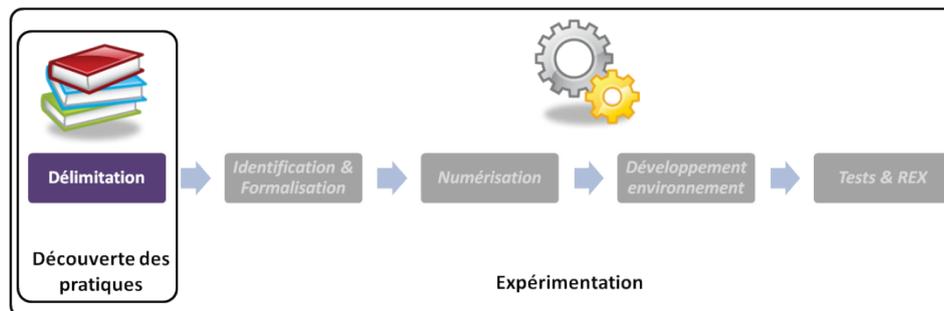


Figure 74 : initiation du protocole expérimental en cinq phases.

#### I. CONTEXTE INDUSTRIEL

L'entreprise Devanlay est historiquement liée à Lacoste, fabriquant en particulier de textiles connus mondialement. Cette marque emblématique est créée par René Lacoste, joueur de tennis qui gagne la coupe Davis en 1927 avec l'équipe des "Mousquetaires". La presse américaine le surnomme "le crocodile" à la suite d'un pari avec le capitaine de l'équipe de France de coupe Davis, celui-ci vise à gagner une valise en crocodile. En 1933, René Lacoste s'associe avec André Gillier (propriétaire et président d'une importante industrie de bonneterie) pour fonder une compagnie innovante, la première à développer les polos de sport ainsi que le logo brodé sur les polos. Ce polo, le petit piqué, révolutionne l'habillement de sport pour homme sur les courts de tennis. De plus c'est la première fois qu'une marque devient visible sur un vêtement. En 1962, Devanlay S.A. rachète l'entreprise Gillier pour être à son tour rachetée, en 1998, par le groupe Suisse Maus Frères. En 2000, le groupe Devanlay stoppe son activité sous-vêtement pour se

focaliser sur les vêtements Lacoste. Devanlay devient le licencié mondial pour la création, l'industrialisation et la distribution des vêtements Lacoste, jusqu'en 2025.

LACOSTE S.A. est détenue à 65% par la famille Lacoste et à 35 % par la société Devanlay. Aujourd'hui Lacoste est diversifiée et possède une grande gamme de produits. Pour tous, Lacoste S.A. possède des licenciés chargés de fabriquer et distribuer les produits Lacoste. La Figure 75 ci-dessous présente l'ensemble des produits Lacoste :

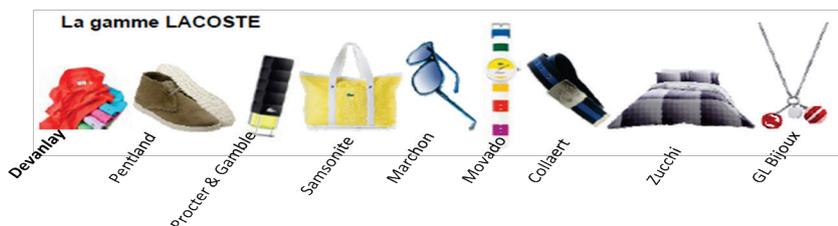


Figure 75 : la gamme des produits Lacoste.

Notre étude industrielle s'est principalement déroulée sur le site de Paris (75), qui regroupe en particulier la direction création et marketing du groupe. Ce site est en étroite collaboration avec la plateforme de développement central, située à Troyes (10), qui prend en charge le développement des produits (voir Figure 76).

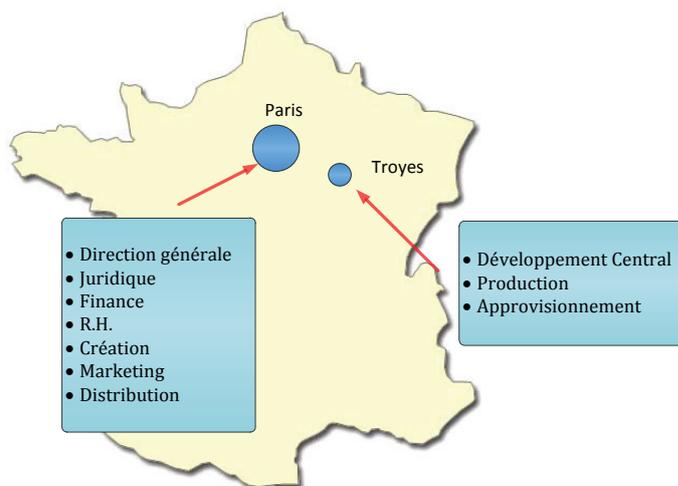


Figure 76 : implantation des sites Devanlay en France.

## II. LE DEVELOPPEMENT DE NOUVEAUX PRODUITS

Dans l'industrie textile, le cycle global de développement intègre les phases comprises entre la mise sur le marché et le retrait du marché, mais ce sont les phases de définition et développement du produit qui sont les plus importantes en terme de temps et de ressources. Le cycle de développement est par ailleurs immuable puisqu'il correspond à une saison. A titre d'exemple, la Figure 77 ci-dessous présente l'évolution des quantités en stock en fonction des différentes phases de développement d'un polo, article le plus vendu par la société Lacoste. Nous retrouvons certaines phases classiques d'un développement de produit (définition, conception, développement et industrialisation, fabrication, livraison). D'autres sont plus spécifiques, comme la structuration de la collection ou le réassortiment qui consiste à réorganiser les produits nécessaires dans les réserves (mais il peut désigner également le fait de commander les produits

après des fournisseurs en réaction à des ventes plus fortes que prévues). Les volumes de production sont de l'ordre de 250 000 pièces par référence.

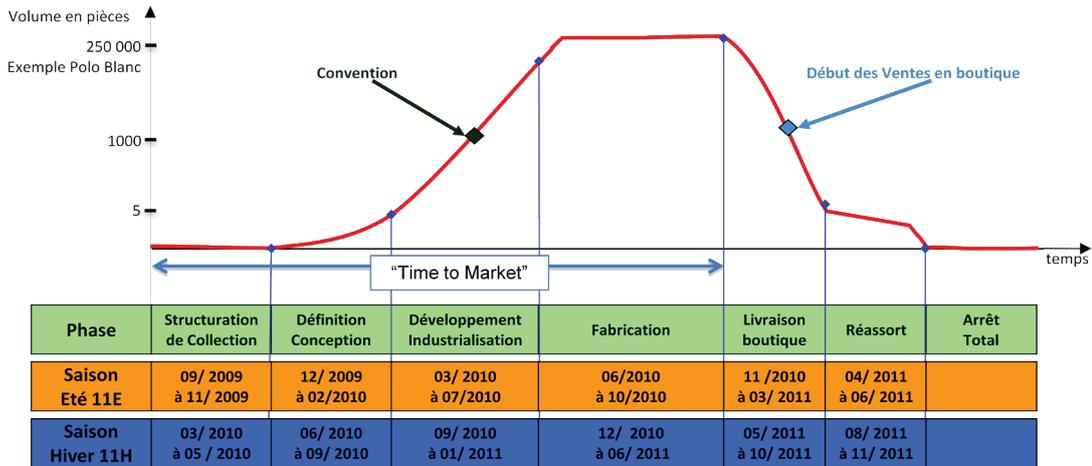


Figure 77 : cycle de développement d'un produit textile Devanlay, exemple des saisons été et hiver 2011.

Pour un produit permanent qui est reconduit sur une période de caractéristiques climatiques différentes (par exemple un polo, qu'il est possible de se procurer toute l'année), ces cycles se chevauchent (voir exemple des saisons 2010 et 2011 sur la Figure 78 ci-dessous), induisant des pics successifs de modifications des données liées au produit (voir Figure 79) qui sont principalement situés lors des phases de conception et de développement du vêtement.

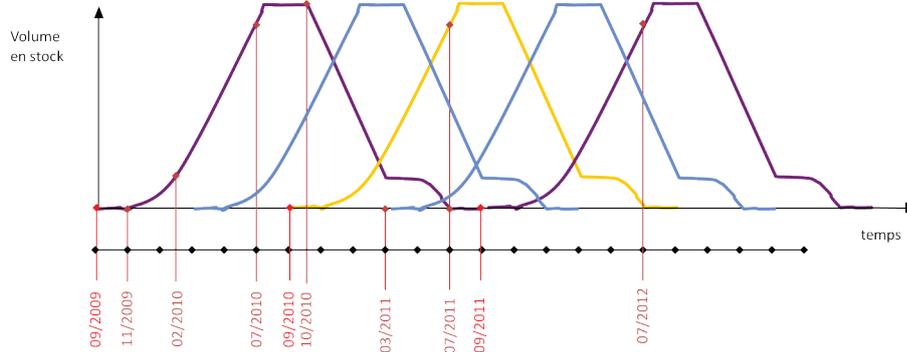


Figure 78 : chevauchement des cycles de développement d'un produit saisonnier.

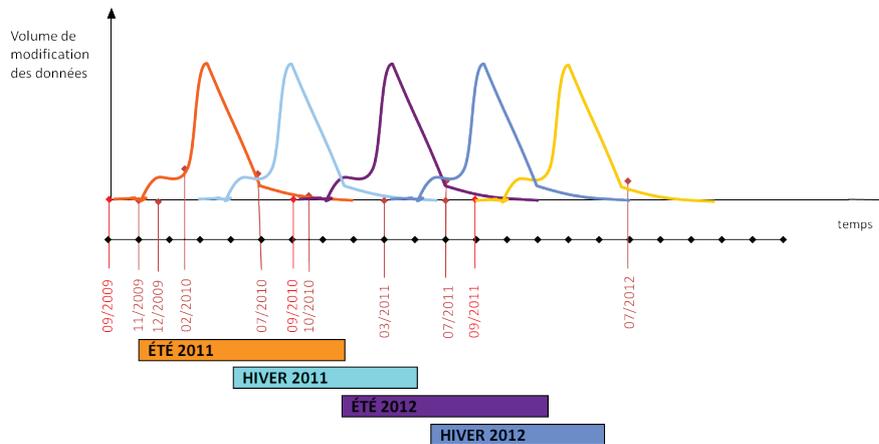


Figure 79 : volume de modification des données pour les collections 2011 et 2012.

La conception d'un vêtement est un métier cyclique dans le sens où la réalisation d'une collection commence par l'analyse de la précédente. Le cycle de développement produit dure actuellement entre vingt et vingt-deux mois suivant les collections, jusqu'à l'arrêt total. Le "time to market", ou temps de mise sur le marché du produit, est d'environ dix-huit mois, jusqu'à la livraison en boutique. A titre de comparaison, des entretiens téléphoniques nous ont permis de dresser le Tableau 11 ci-dessous, qui recense les principaux time to market d'autres marques textile.

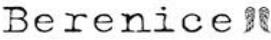
MARQUE	Time to Market	Source
 Lacoste	18 mois	Mkgt SI Devanlay
 Celio, AT, Berenice	6 mois	Stylistes de chacune des entreprises
  Zara 	15 jours	(Perotti-Reille 2007)

Tableau 11 : analyse de quelques temps de mise sur le marché de l'industrie textile.

Nous remarquons que ce délai de dix-huit mois est assez long et induit des coûts importants et un manque de réactivité par rapport à la concurrence. Nous verrons que la structure collaborative mise en place a sa part de responsabilités dans ce délai, en particulier dans les phases de conception et de développement. Afin de comprendre le cycle de développement d'un produit textile, nous allons maintenant détailler les principales étapes qu'il comporte.

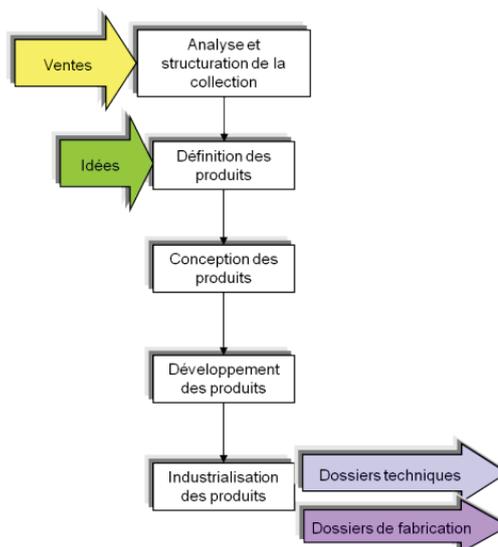


Figure 80 : les principales étapes de la conception d'un vêtement.

Les cinq principales étapes de la conception d'un vêtement, issues de la Figure 80, sont les suivantes :

- l'analyse et la structuration de la collection : l'objectif de cette phase est de définir quels vêtements et combien d'entre eux seront commercialisés dans la future collection, en analysant au préalable les chiffres des ventes antérieures, les besoins du marché ainsi que les nouvelles tendances.
- la définition des produits : l'objectif est de définir chaque produit de la collection (une collection compte de 250 à 300 références) par ses caractéristiques couleur/thème/matière/coupe. Une donnée intermédiaire de cette phase est, de la part des designers produits, une "fiche remise croquis", dont on peut voir un exemple à la Figure 81. Ce document est normé avec une qualité de 300 dpi et une échelle de 16%. Cette remise croquis intervient lorsque les modèles sont représentés et validés par le marketing produit. On y retrouve toutes les informations du produit (description détaillée, dimension, matières, fournitures, etc.) Les équipes de style (les stylistes) et les chefs de produit se déplacent alors à Troyes, le développement central de Devanlay, afin de lancer la conception du produit, et ainsi commander les prototypes. La compilation et la simplification de ces fiches de remise croquis donne lieu au "book P0", dont un extrait est donné sur la Figure 82 ci-après, véritable bible de la collection à venir.

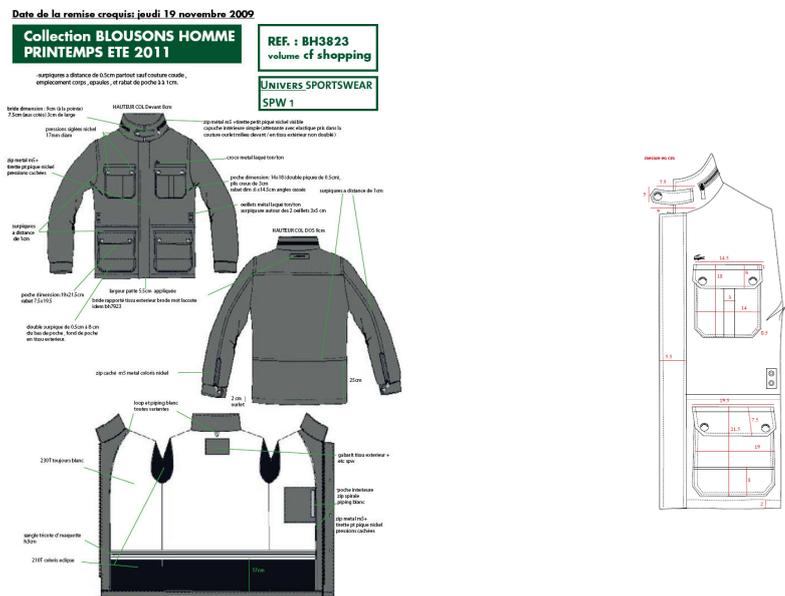


Figure 81 : exemple de fiche remise croquis.

LACOSTE  COLLECTION PRINTEMPS/ETE 2012

<b>AF1059</b>	◆ TRICOT COL ROND MANCHES COURTES XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 34-36-38-40-42-44-46
JERSEY RAYE 100% COTON EXTRA FIN STRIPED JERSEY 100% EXTRA FINE COTTON	
SPORTSWEAR - DELIVERY 3 BORDS COTÉS - 3ème COULEUR	
SPORTSWEAR - DELIVERY 3 RIBBINGS - 3RD COLOUR	
TARIFS	



Figure 82 : extrait de book P0 Femme collection 2012 pour un tricot col rond.

- la conception des produits : l'objectif est de concevoir et valider les prototypes de vêtements (quelques dizaines de pièces de chaque référence), selon les critères de couleur/thème/matière/coupe définis auparavant.
- le développement des produits a pour but de valider la collection définitive et de rédiger les documents finaux de collection.
- l'industrialisation des produits : l'objectif est de constituer le dossier technique de fabrication en vue du lancement des ordres de fabrication.

En synthèse, la Figure 83 ci-dessous présente la répartition chronologique des tâches à effectuer lors de la création d'un vêtement, sur l'exemple de la collection hiver 2010-2011.

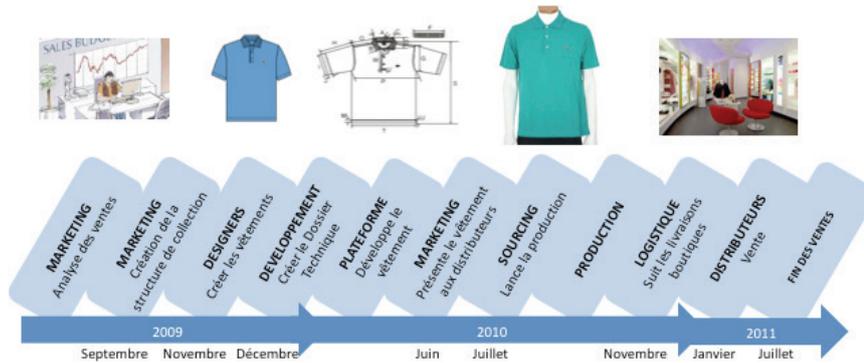


Figure 83 : répartition chronologique des tâches lors de la création d'un vêtement.

Maintenant que nous avons défini plus précisément le processus de développement d'un vêtement, nous positionnons la conception amont, identifions ses limites et ses acteurs.

### III. LA CONCEPTION AMONT

#### A. LES LIMITES DE LA CONCEPTION AMONT

L'objectif de nos travaux de thèse est de proposer un environnement collaboratif dédié à la conception amont. Nous avons vu au chapitre 2.2.1.2, p.47, que la conception amont regroupe les phases de définition et planification du projet, de recherche et validation du concept ainsi que les premières étapes de la conception architecturale, jusqu'à la génération d'un tracé préliminaire. Cette définition, appliquée à la conception d'un vêtement, nous permet de limiter le périmètre de la conception amont. Dans ce cas, le tracé préliminaire de conception est la fiche de remise croquis, regroupant et détaillant chaque article de la collection future.

Ainsi, la conception amont dans l'industrie textile correspond à la structuration des collections et la définition des processus de conception. On retrouve ces phases au début du cycle de vie d'un produit textile. Chez Devanlay, ces phases sont réalisées par les équipes de marketing style, de marketing produit avec les outils et procédures mis en place par le marketing SI (Système d'Informations), toutes situées à Paris. Le processus de conception amont se compose de deux phases principales qui sont l'analyse et la structuration de collection ainsi que la définition des produits (voir encadré rouge sur la Figure 84) :

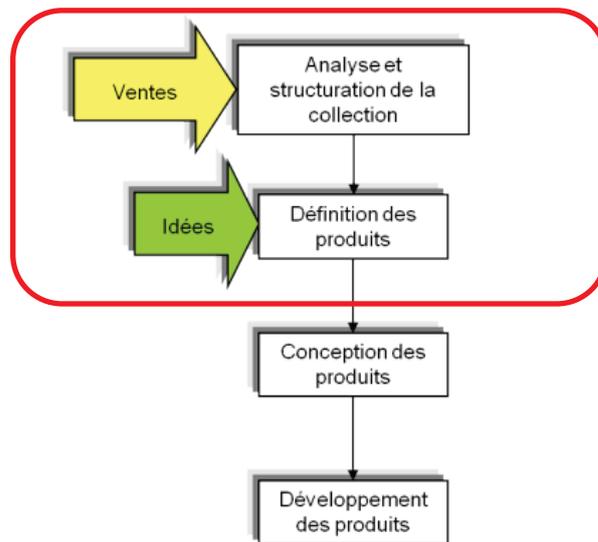


Figure 84 : le cycle de développement d'une collection, et position de la conception amont.

En mettant en correspondance les principales RI échangées au cours du projet, nous obtenons la Figure 85 ci-dessous.

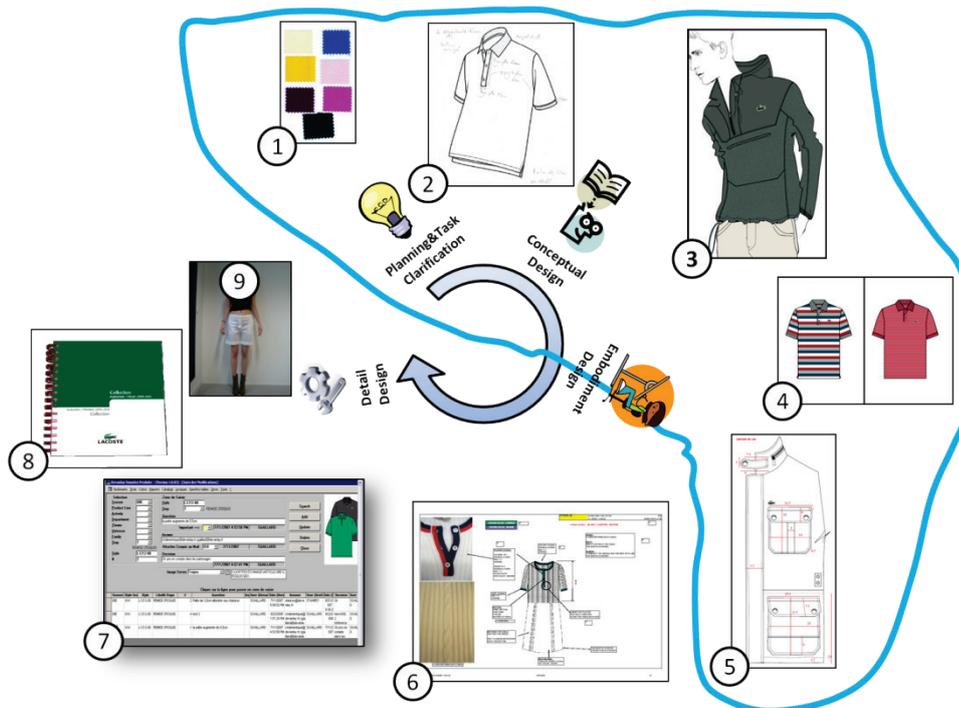


Figure 85 : principales RI échangées au cours du développement d'un produit textile, et position de la conception amont.

La première étape consiste en l'analyse des ventes des modèles précédents, ainsi que l'analyse des tendances actuelles. Cette étape est cruciale, car l'équipe marketing doit alors se projeter au moment de la commercialisation du produit, soit dix-huit mois plus tard. Ensuite débute la phase de conceptual design, où les idées des designers sont dans un premier temps formalisées sous forme de croquis papier, puis sous forme informatique (RI n°2). Ensuite, le vêtement est attribué à une silhouette (RI n°3), afin de tester son intégration dans l'environnement choisi, aussi appelé univers. Il s'agit de groupements qui visent des marchés de consommateurs différents. Il existe quatre familles d'environnements : Club (élégant, raffiné), Sport (confort, tradition), Sportswear (adapté au sport, technique) et enfin Live (Jeune, pour les 18-25 ans). Puis, le vêtement est décliné en croquis, et en variantes croquis (RI n°4) où certains paramètres (souvent la teinte) vont être modifiés. Enfin, la RI n°5, qui est la remise de la fiche croquis, détaille de manière

préliminaire le vêtement ainsi que toutes les caractéristiques attendues. Il s'agit de la fin de la phase de conception amont. Viennent ensuite la fiche technique, qui annexe des photos de matière et de piqué à la fiche remise croquis (RI n°6), puis la fiche "données produit" qui est intégrée dans le SGDT de l'entreprise, et enfin le plan de collection (RI n°8) et l'essayage des prototypes.

En ce qui concerne les acteurs de la conception amont, la tâche s'avère plus difficile que lors de notre précédente expérience industrielle. En effet, la taille de l'entreprise fait qu'il est délicat d'identifier directement les acteurs concernés (plusieurs centaines d'acteurs différents). Cependant, nous avons pu, en accord avec l'entreprise, formaliser le processus de développement d'un produit chez Devanlay, à travers les départements impliqués. La synthèse de travail est présentée sur le Tableau 12 ci-dessous.

PHASE	Nombre d'étapes	DEPARTEMENTS IMPLIQUES
<b>1- Analyse et structuration de la collection</b>	35	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribution</li> <li>• Marketing d'étude</li> <li>• Marketing produit</li> <li>• Marketing style</li> </ul>
<b>2- Définition produit</b>	45	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marketing style</li> <li>• Marketing produit</li> <li>• Industrialisation produit</li> </ul>
<b>3- Conception produit</b>	49	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marketing produit</li> <li>• Industrialisation produit</li> <li>• Production</li> <li>• Direction artistique</li> <li>• Marketing communication</li> </ul>
<b>4 - Développement produit</b>	74	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marketing produit</li> <li>• Industrialisation produit</li> <li>• Logistique</li> <li>• Distribution</li> </ul>
<b>5- Industrialisation des produits</b>	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marketing produit</li> <li>• Industrialisation produit</li> <li>• Bureau industriel</li> </ul>

*Tableau 12 : départements impliqués lors de la conception d'un produit chez Devanlay, nombre d'étapes du processus et frontière de la conception amont (en rouge).*

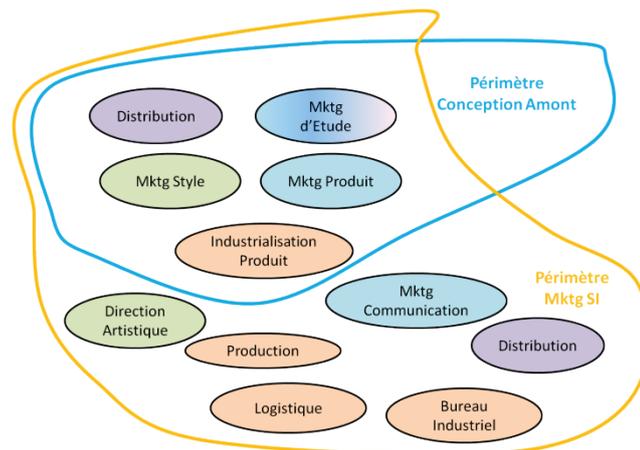
On y retrouve, en fonction des étapes du cycle de développement d'un produit, le nombre d'étapes à réaliser pour chaque phase, ainsi que les départements prenant part au processus.

Nous présentons rapidement chacun de ces services :

- la Distribution : son rôle est d'assurer la distribution des vêtements dans les points de vente, elle intervient également en début de collection afin de livrer les chiffres de vente de la saison précédente (S-1).
- le Marketing d'étude : il réalise les études de ventes, article par article (nombre de références, volumes, coloris, CA etc.), à partir des données de la Distribution.
- le Marketing produit : il établit les principes de la structure de la collection générale, définit le produit en relation avec les autres départements.
- le Marketing style : recherche les coloris, matières, thèmes, crée les silhouettes et les croquis.

- l'Industrialisation produit : construit le cahier des charges prototype, réalise les prototypes, finalise les patrons.
- la Production : commande les matières premières, fabrique les échantillons de collection et de matière.
- la Direction artistique : valide les choix faits par le Marketing style et participe aux réunions de validation de la collection.
- le Marketing communication : conçoit le guide de communication, réalise les photos de promotion.
- la Logistique : ajoute les données logistiques relatives au produit, réceptionne les échantillons, stocke et livre la documentation de collection.
- le Bureau Industriel : crée la nomenclature produit, réalise la gamme opératoire, constitue les dossiers de fabrication, lance les ordres de fabrication, affecte les articles aux sites de fabrication.

Nous remarquons que, lors des phases de conception amont, c'est-à-dire les étapes une et deux ci-dessus, les principaux départements concernés sont la Distribution, le Marketing d'étude, l'Industrialisation produit, le Marketing produit et le Marketing style. Ces deux derniers départements sont transverses aux phases de conception amont, ce qui représente un atout majeur dans nos futures expérimentations. En support à ces départements, le Marketing SI a pour fonction de fournir les outils supports aux échanges liés au processus de conception. Il est donc primordial de l'inclure dans nos réflexions sur un environnement collaboratif amont. La Figure 86 ci-dessous reprend le périmètre des différents départements impliqués.



**Figure 86 : départements impliqués lors de la conception d'un produit chez Devanlay, périmètre de la conception amont (en bleu) et périmètre couvert par le Marketing SI (en jaune).**

Nous allons maintenant nous intéresser aux outils supports de cette activité de conception amont.

### B. QUELS OUTILS SUPPORTS POUR LA CONCEPTION AMONT DE PRODUIT?

Au vu de la complexité des processus collaboratifs mis en jeu lors du développement d'un produit textile et du nombre d'acteurs concernés, la caractérisation des échanges qui ont lieu est un point de départ important pour cerner les activités de l'entreprise. Ainsi, afin de préconiser au mieux un environnement de travail collaboratif amont, la première étape de nos travaux consiste en la recherche des principaux modes de communication utilisés dans l'entreprise. Pour cela, nous réalisons une première série de six entretiens avec un panel représentatif de la conception amont, soit deux personnes du marketing style, deux personnes du marketing produit et deux personnes du marketing Système d'Information (SI). Ce dernier n'intervient pas directement sur le développement de la collection. Néanmoins, comme évoqué plus haut, il nous a semblé pertinent de nous entretenir avec deux personnes de ce département car il est le support à la mise en place d'outils correspondant aux méthodes de travail des équipes marketing. C'est donc

typiquement ce service qui pilote la mise en place d'environnements collaboratifs de travail. Enfin, c'est également ce département qui se situe à la croisée des chemins entre les designers (basés à Paris, que ce soit le marketing style ou le marketing produit) et les ingénieurs du Développement produit (basés à Troyes). Ainsi, les personnes de ce service sont très au fait des améliorations éventuelles à fournir à leurs outils de collaboration. Le marketing produit et le marketing style travaillent en étroite collaboration durant tout le processus de conception amont. Ce sont les deux principaux intervenants de la conception amont d'une collection. L'un des principaux objectifs des entretiens est d'identifier les modes de communication prépondérants dans l'entreprise. En effet, l'organisation interne de Devanlay sur deux sites géographiquement distants rend les communications centrales afin de mener à bien un projet. Leur analyse est donc un préalable nécessaire à tout développement de support à la collaboration.

Le choix de la méthode d'entretien a été mûrement réfléchi. En effet, l'entretien est une méthode de recueil d'informations qui consiste en des entretiens oraux, individuels ou de groupes, avec plusieurs personnes sélectionnées soigneusement afin d'obtenir des informations sur des faits ou des représentations, dont on analyse le degré de pertinence, de validité et de fiabilité en regard des objectifs du recueil d'informations. Les questions peuvent être ouvertes, semi-ouvertes ou fermées. Chaque type de question donne lieu à des types d'entretien différents. Chaque entretien s'applique dans un contexte propre. Il doit être préparé à l'avance en planifiant les thèmes centraux à aborder. Cela permet d'orienter progressivement le discours vers les points d'intérêt recherchés, et d'assurer une cohérence entre les informations recueillies sur plusieurs entretiens (Baccino et al. 2005). Les principaux types d'entretiens sont synthétisés sur le Tableau 13 ci-dessous, extrait de (De Ketele et al. 1993) :

Entretien dirigé	Entretien semi-dirigé	Entretien libre
Discours qui suit l'ordre des questions posées	Discours "par paquets", dont l'ordre peut être plus ou moins déterminé	Discours continu
-Questions préparées à l'avance et posées dans un ordre précis -Informations partielles et raccourcies	-Quelques points de repère pour l'interviewer -Informations de bonne qualité, orientées vers le but poursuivi	-Aucune question préparée à l'avance -Information de très bonne qualité, mais pas nécessairement pertinente
Information recueillie rapidement ou très rapidement	Information recueillie dans un laps de temps raisonnable	Durée de recueil d'informations non prévisible
Inférence assez faible	Inférence modérée	Inférence forte

Tableau 13 : les différents types d'entretiens, adapté de (De Ketele et al. 1993).

Une inférence forte, par exemple en entretien libre, est le fait de recueillir des verbalisations sans questionnement explicite, et de reconstruire *a posteriori* les connaissances que l'on veut en extraire. Une inférence faible (entretien dirigé par exemple), est le fait d'obtenir directement les données que l'on souhaite, principalement par des questions précises. En fonction de nos objectifs, nous concluons que l'entretien qui correspond le mieux à nos besoins est l'entretien semi-dirigé, avec une inférence modérée bénéfique dans notre cas. En effet, il permet un recueil d'informations précises, dans un laps de temps raisonnable et il installe un réel dialogue entre l'interviewer et l'auditionné, tout en gardant une trame orientée vers les objectifs du projet. Le choix de ce type d'entretien a été privilégié afin de recueillir à la fois les informations quantitatives dont nous avons besoin pour comprendre le développement, mais également afin de laisser l'interlocuteur parler avec quelques questions ouvertes (données qualitatives). Lors de ces rencontres, les questions concernent les outils de communication qu'utilisent les intervenants. La trame des questions est présentée sur le Tableau 14 ci-dessous. Le document réponse à disposition des utilisateurs est présenté en Annexe 1.

Communication	Moyen de communication	Avec qui? (Département, fonction,...)	Périodicité	Quelles informations transmises?
Expériences personnelles	Problèmes récurrents	Propositions	Commentaires	

Tableau 14 : trame de la première série d'entretiens semi-dirigés.

Afin d'avoir une meilleure visibilité de nos résultats, nous classons sur la Figure 87 ci-dessous ces modes de communication grâce à la matrice de (Johansen 1988), en fonction :

- Du temps (axe horizontal) : communication synchrone ou asynchrone
- De l'espace (axe vertical) : même lieu ou lieux différents

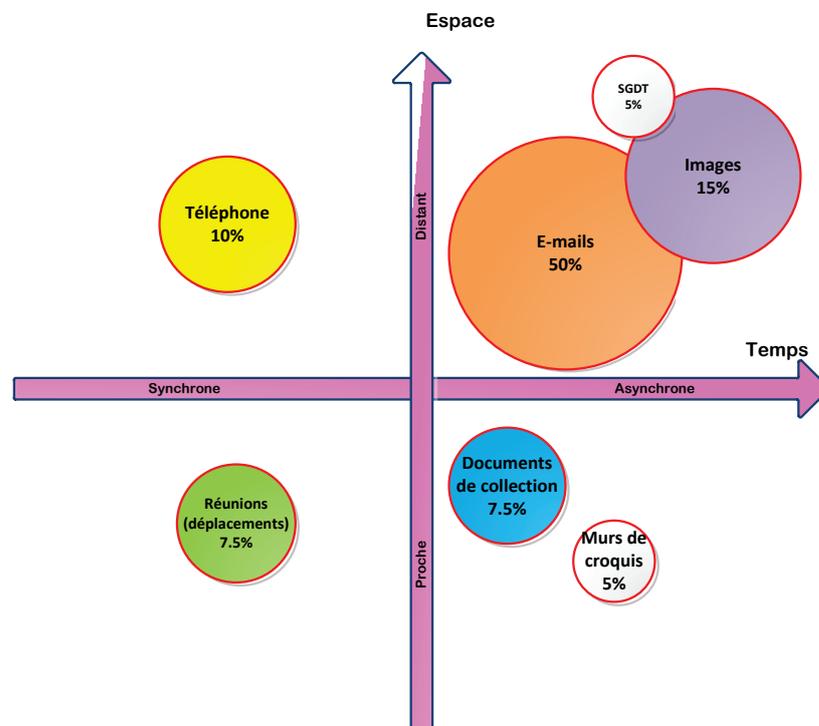


Figure 87 : représentation moyenne des principaux outils collaboratifs utilisés chez Devanlay.

Ce type de représentation est une représentation par cadrans. La position de chaque mode de communication dans le cadran ne reflète pas l'importance des deux critères dans le classement (par exemple l'e-mail n'est pas "moins" asynchrone que la communication par l'image). Chaque cercle représente un outil de communication. La taille du cercle illustre l'importance de l'utilisation de ces outils. A titre d'exemple, l'e-mail est utilisé par les personnels dans 50% de leurs cas de communication, et, bien entendu, la somme des % vaut 100%. On note que le moyen de communication privilégié est l'e-mail. Ce constat abonde dans le même sens que l'étude de (Brown 2006) évoquée auparavant (p 52). C'est le moyen de communication privilégié par les intervenants du processus amont de développement. On en déduit qu'un outil collaboratif amont doit proposer ce mode de communication, s'il n'est pas fourni par ailleurs par un logiciel de traitement des mails.

Puis, les images produites sont également un vecteur de communication répandu (15%). En effet lors des phases amont du développement de la collection, les RI du produit sont des images (croquis, photos, silhouette, etc.). La communication se fait alors par l'apport d'annotations directement sur les croquis.

Nous pouvons également citer le "mur de croquis", qui consiste à regrouper par univers tous les éléments d'une même collection sur un mur magnétique afin d'avoir une vision d'ensemble de l'harmonie de la collection.

Ensuite, le téléphone tient encore une place importante dans les échanges actuels (10%) chez Devanlay. Celui-ci prend souvent le relai du mail lors de discussion techniques et pointues sur des détails de conception du produit.

Puis, les documents de collection (papiers), les murs de croquis ainsi que les déplacements ne sont pas intégrables dans une chaîne numérique. Les derniers outils collaboratifs sont les outils de gestion et de restitution de données liées aux produits, autrement appelés SGDT, utilisés dans 5% des cas de communication au cours du cycle de vie du produit. Les fonctionnalités inhérentes à ce type d'outils sont donc à introduire dans une proposition d'environnement collaboratif amont.

Ces observations sont importantes pour le développement d'un prototype, tant pour les outils collaboratifs, que pour le type d'information à fournir. En effet, il apparaît à la lumière de ces résultats que le produit, et surtout les RI du produit sont au centre des informations que doit fournir une maquette. Ainsi, cette étude des pratiques industrielles appliquée dans le domaine du vêtement nous amène à faire deux principaux constats, utiles à la suite de nos travaux, que nous détaillons dans le chapitre suivant.

#### IV. CONSTATS IN SITU

Les entretiens précédents ont été enregistrés et les discours ont été verbalisés. A partir de ces comptes-rendus, nous avons fait une analyse des principaux constats d'échec de l'environnement collaboratif actuellement proposé aux designers et autres acteurs de la conception amont.

Voici, dans le Tableau 15 ci-dessous, quelques extraits organisés de ces verbalisations, qui nous amèneront naturellement à nos constats :

CONSTAT GENERAL	EXTRAIT DE VERBALISATION
<b>Environnement de travail peu adapté et ne prenant pas en compte les besoins de l'utilisateur/collaborateur</b>	<i>"C'est vrai que quand je suis arrivée [dans l'entreprise] je me suis dit que tout allait être carré, organisé. Et on arrive à un point où le carré devient bloquant et on se dit qu'on pourrait passer au-dessus"</i>  <i>"Un des points important dans la transmission des données, en particulier la transmission des données images, c'est "Quel est le besoin de mon client ? De quoi a-t-il besoin pour travailler ?"</i>
<b>Multiplication des outils, des données et donc du travail quotidien des acteurs de la conception</b>	<i>"Exemple quand on fait les remises croquis, c'est une période assez courte pour nous, et on se retrouve à faire la fiche de remise croquis sous InDesign*, il faut créer la référence sous [notre ERP], il faut rentrer dans cette référence et mettre les données dans [notre SGDT], en plus de rencontrer les gens. Ça fait pour la même référence, trois choses différentes dans un temps où normalement on devrait juste passer l'information à Troyes, et on a un support derrière qui est très lourd. Sans parler des personnes qui n'ont pas l'habitude de travailler comme ça et qui, une fois que vous avez rempli toutes vos données produits, vous disent "ça serait pas mal un petit tableau récapitulatif sous Excel". Donc vous rentrez quatre fois la même information."</i>

*"Il faut imprimer cinq exemplaires papiers pour les remettre à Troyes, et en plus graver un CD par référence ou par variante."*

*"Aujourd'hui il y a cinq personnes qui font des annotations pour aller dans leur coin travailler. Mais il n'y a pas un endroit où l'on recense l'ensemble de ces annotations."*

#### IHM améliorable

*"Autre chose, je trouve que [notre SGDT] n'est pas forcément évident dans le rendu de l'information, ce n'est pas facile à lire. Pour sortir la moindre information, c'est compliqué."*

Tableau 15 : principaux constats suite à la première série d'entretiens.

\* InDesign : Adobe InDesign® est un logiciel qui permet de réaliser des mises en pages pour l'impression ou la diffusion numérique à l'aide d'outils de création intégrés et d'un contrôle étroit de la typographie.

Nous arrivons ainsi à trois principaux constats, utiles à la définition d'un environnement collaboratif amont appliquée au domaine du textile.

- Tout d'abord, l'environnement actuellement proposé ne répond pas bien aux besoins des acteurs de la conception amont. En effet, la plupart des outils ont été développés en interne par le service SI, et ne sont que très peu adaptables aux pratiques des phases amont de conception. Ceci explique également les remarques sur l'IHM des outils que nous avons relevés.
- Ensuite, la multiplication des outils tout au long du processus de conception n'est pas un élément favorable à la collaboration. En effet, cela induit une multiplicité de saisie de données, avec autant de risques d'erreurs. De plus, chaque utilisateur peut continuer à avoir ses habitudes (fichier excel, etc.). Dans le cadre d'un environnement global, il convient donc de privilégier un outil principal, qui peut être connecté aux outils existants et qui réplique, si c'est inévitable, les données redondantes de manière automatisée. Enfin, les données liées au produit doivent être regroupées sur une base de données unique, uniformisée entre les plateformes internationales afin d'éviter les erreurs.

### SYNTHESE SUR... L'ENTREPRISE DEVANLAY ET LA CONCEPTION AMONT DES PRODUITS

Dans le cadre du développement d'une méthode d'aide à la création d'un environnement collaboratif amont, les précédents chapitres nous amènent, en synthèse, à réaliser plusieurs constats liés à la première phase de "Délimitation" de notre protocole expérimental :

- Tout d'abord, l'extension du périmètre des outils de conception détaillée à la conception amont ne répond pas efficacement aux besoins des acteurs.
- Ensuite, les acteurs de la conception textile portent une attention particulière à l'image du produit, qui sert de support collaboratif. Cette RI doit donc être gérée par un environnement collaboratif amont.
- Enfin, si nous avons déjà relevé qu'une suite logicielle unique ne peut répondre de manière exhaustive à l'ensemble des besoins collaboratifs, nous notons que la multiplication des outils n'est pas profitable car elle augmente le risque de confusions. De plus, la lourdeur générée encourage les pratiques individuelles, non formalisables et donc sans possibilité de support.

Maintenant que nous avons tiré ces constats de notre seconde étude des pratiques industrielles, nous allons faire une synthèse de ces pratiques.

### 2.3.3 SYNTHÈSE DES PRATIQUES INDUSTRIELLES

A ce stade, il convient de faire une synthèse des pratiques industrielles étudiées. Pour cela, nous nous appuyons sur l'adaptation des travaux de (Birkhofer et al. 2005) présentée au chapitre 2.1.1. La Figure 88 ci-dessous situe le travail réalisé jusqu'à présent, à savoir :

- Etape 1 : la réalisation d'un état de l'art scientifique sur la conception et la collaboration amont, dans le domaine de ce que la "Science" peut offrir en matière de méthodologie de conception.
- Etape 2 : l'analyse de l'application industrielle de cette collaboration amont, réellement utilisée par l'industrie.

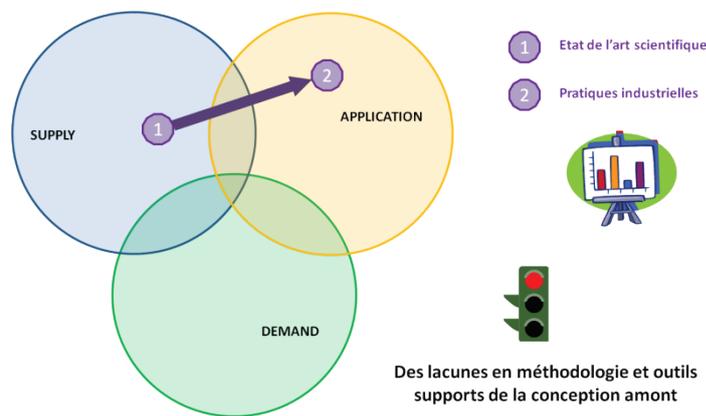


Figure 88 : positionnement de notre étude des pratiques industrielles.

Le constat initial réalisé grâce à cette démarche comporte trois idées majeures, ainsi qu'une limite, que nous développons et synthétisons dans ce chapitre.

- Tout d'abord, le développement d'un environnement de travail collaboratif est, à l'heure actuelle, en plein essor mais l'intégration des phases amont de la conception ne répond pas encore suffisamment aux besoins des acteurs. Il existe donc des lacunes en méthodologie et outils supports de la conception amont. Les phases plus en aval ont, quant à elles, déjà fait l'objet d'une intégration numérique plus grande. C'est ce que montrent les travaux de (Skander et al. 2008) sur le "Design for Manufacturing" (DFM, ou conception en vue de la fabrication en français), où les auteurs spécifient une méthode et un modèle afin de sélectionner un procédé de fabrication et d'intégrer les contraintes ainsi générées, dès que possible dans la conception du produit. Cependant, contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'intégration des métiers de la phase amont n'est pas une simple "extension" des outils dédiés à la phase de conception détaillée, comme un SGDT ou une CAO par exemple. En effet, la maîtrise de l'outil est souvent un frein à son utilisation et les habitudes de travail ainsi que les RI recherchées ne sont pas les mêmes (Segonds

et al. 2009b). A titre d'exemple, la Figure 89 ci-dessous présente la variété des RI en conception de produit.

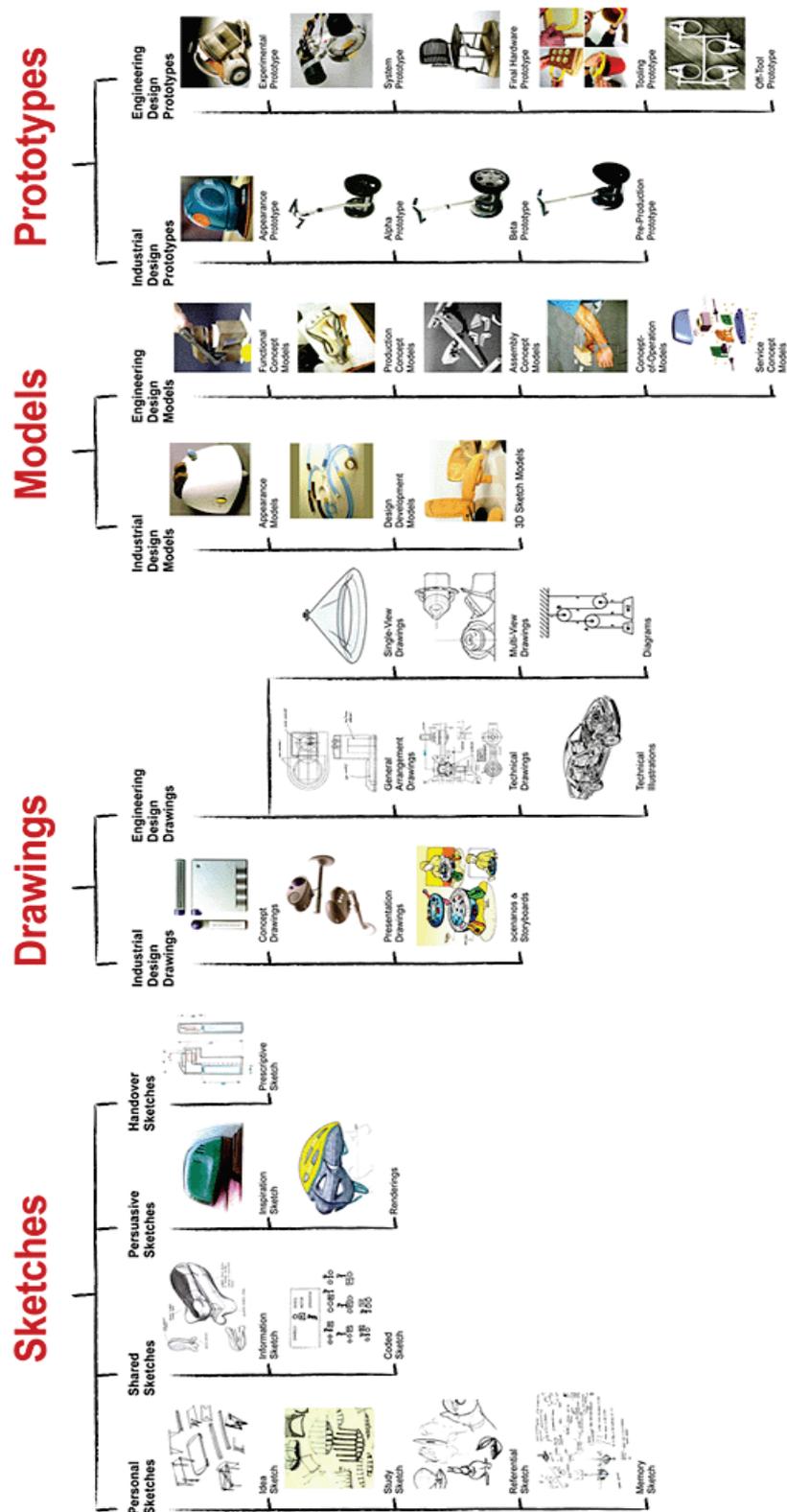


Figure 89 : exemples de RI en conception de produit, adapté de (Pei et al. 2011).

Cette non-adéquation des outils, qui nous a été également signalée lors nos entretiens avec l'équipe de designers de Devanlay, a tendance à évoluer. Ainsi, on note une évolution particulière ces dernières années dans ce domaine, mais qui ne couvre pas tous les besoins. Par exemple, la

société Dassault Systèmes® développe le "Design Studio" qui prend en compte les contraintes des designers afin de faire émerger une maquette numérique au plus tôt. L'objectif de cet outil est de pouvoir passer à la maquette numérique en trois dimensions en partant d'une feuille blanche ou de dessins 2D, issus par exemple d'un designer (voir Figure 90). Le but est de faciliter les communications interne et externe au projet, et d'améliorer la compréhension des intentions de conception par tous les acteurs impliqués dans le projet. La collaboration en conception amont passe donc avant tout, selon Dassault Systèmes®, par une dissémination de la maquette numérique le plus tôt possible. Cependant, lors de nos entretiens avec l'équipe des designers de Terre-Neuve, nous avons fait une démonstration des possibilités de ce module de Catia®, "Imagine and Shape", qui ne répondait pas à leurs attentes, tant en terme de rendu qu'en terme d'habitudes d'utilisation.



Figure 90 : le "Design Studio" de Dassault Systèmes®.

- Ensuite, en support à cet environnement, se pose la question de la multiplicité des outils utilisés pour générer les RI et gérer les données techniques. Notre constat est que, si cette multiplicité ne pose pas de problème à l'échelle d'une petite structure (échanges Terre-Neuve/Verallia, deux sites, moins de vingt personnes concernées) cela devient vite un frein lorsque l'entreprise est plus développée (Devanlay, plusieurs sites, plusieurs centaines de personnes concernées). Nous retiendrons donc que le développement de l'environnement collaboratif doit être fait au juste besoin, et en rapport avec les attentes et la taille des entreprises concernées.
- De plus, les données de conception amont sont souvent stratégiques pour une entreprise. Nous avons, au cours de nos travaux, essuyé de nombreux refus pour nous ouvrir certaines portes de la conception amont. La raison invoquée est souvent la même : les données qui sont traitées sont confidentielles et les entreprises ne souhaitent pas communiquer sur ces phases de conception. Il est donc important, lors du développement d'un environnement collaboratif amont, de structurer à l'avance ce processus (par exemple avec l'outil SADT, Structured Analysis and Design Technique) afin de comprendre quels sont les échanges entre les parties prenantes, quels sont les risques de conflit d'intérêt entre des sous-traitants. La question de l'administration d'un tel outil et des rôles à donner à chaque acteur de la conception doit également être résolue avant toute tentative de déploiement, et en accord avec tous les acteurs.
- Enfin, une limite à nos études et nos futures propositions est que le contexte culturel et environnemental dans lequel l'outil aura à s'intégrer est un facteur important. C'est, selon (Tseng et al. 2008) l'un des facteurs clefs de réussite. Nous touchons ici l'une des limites de l'exploration de nos pratiques industrielles. En effet, celles-ci ont été effectuées dans le contexte d'entreprises françaises et nous n'avons pas investigué les méthodes de conception de produit dans une entreprise hors métropole. Cependant, la méthode que nous avons développée, fondée sur les entretiens et la définition des besoins avant la validation d'un prototype, est tout à fait adaptable quelle que soit l'entreprise concernée.

## SYNTHESE DES APPORTS LIÉS A... L'ETAT DE L'ART AINSI QU'A L'ETUDE DES PRATIQUES INDUSTRIELLES

Dans le cadre du développement d'une méthode d'aide à la création d'un environnement collaboratif amont, notre état de l'art scientifique ainsi que nos études des pratiques industrielles dans deux secteurs complémentaires vis-à-vis de nos critères d'analyse (time to market large, nombre d'acteurs présents, types de collaborations couvertes multiples et représentatives) nous ont permis de formaliser sept apports qui nous servent de base pour les expérimentations à venir :

- **Apport n°1 :** nous définissons en premier lieu **la conception amont** comme le regroupement des **phases de définition et planification du projet, de recherche et validation du concept ainsi que les premières étapes de la conception architecturale**, jusqu'à la génération d'un tracé préliminaire du produit.
- **Apport n°2 :** nous défendons, de même que (Noël et al. 2003), une **intégration au juste besoin de ressources informatiques** diversifiées dans un environnement collaboratif global. Ces ressources doivent être en mesure de gérer la multitude des **RI** générées au cours du processus de conception, car celles-ci sont des **vecteurs importants de collaboration**.
- **Apport n°3 :** nous avons montré les avantages que présente l'utilisation d'une **méthode agile de développement informatique**. Nous avons constaté que le développement, fût-il "agile et adaptatif", de ce type d'environnement ne peut être bénéfique que **dans les cas de conception routinière**, *i.e.* lors des projets de construction et d'amélioration au sens de (Micaëlli et al. 2003). **L'étude des pratiques industrielles nous a permis de restreindre notre champ expérimental à celui des produits issus de projets de construction**, qui balayent un spectre plus large de métiers que ceux d'amélioration.
- **Apport n°4 :** lors du développement d'un prototype d'environnement collaboratif, nous proposons dès l'étape de conception des interfaces (Levan et al. 1994) des **maquettes dynamiques et non statiques**, animées selon un scénario défini lors d'entretiens semi-dirigés préalables à ce développement. Une **évaluation du prototype basée sur les scénarios** (SBE) est la meilleure solution afin de recueillir le besoin, en accord avec (Carroll 2000).
- **Apport n°5 :** nous avons montré que **l'intégration des phases amont de conception ne répond pas encore suffisamment aux besoins des acteurs**. Il existe **des lacunes en méthodologie et outils supports de la conception, en particulier pour les aspects collaboratifs amont**. Cet apport légitime nos orientations de recherche dans le but de proposer une méthodologie de définition d'un environnement collaboratif amont.
- **Apport n°6 :** nous avons montré que si la **multiplicité des outils utilisés pour générer les RI** ne pose pas de problèmes à l'échelle d'une petite structure (Verallia et Terre-Neuve, quelques dizaines de personnes concernées), celle-ci devient **sujet de blocage à plus grande échelle** (Devanlay, plusieurs centaines de personnes concernées), et une harmonisation devient alors nécessaire.
- **Apport n°7 :** nous pensons qu'une **structuration préalable du processus**, par exemple à l'aide de l'outil SADT, permet de **formaliser de manière efficace les échanges** entre acteurs de la conception. Cette structuration doit être validée par les utilisateurs (ou leurs représentants), et les rôles ainsi que droits d'accès à un outil support doivent être discutés de manière collégiale.

A la lumière de ces apports liés à notre état de l'art scientifique ainsi qu'aux études de cas industriels, nous présentons dans la partie suivante notre problématique de recherche ainsi que les hypothèses de résolution associées et la démarche structurée que nous proposons afin d'y répondre.



### 3 PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE MODELISATION





### 3.1 PROBLÉMATIQUE : DÉFINIR UN ENVIRONNEMENT COLLABORATIF MULTI-CONTRAINTES

A la lumière de l'état de l'art scientifique et de la synthèse des pratiques industrielles réalisés, nous présentons dans cette partie la problématique de nos travaux de thèse ainsi que les hypothèses que nous émettons afin d'y répondre.

L'état de l'art a montré la nécessité de définir des environnements collaboratifs, et ce dès les phases amont du processus de conception. En effet, dans la perspective d'intégration des différents acteurs de la conception, et étant donné que c'est dans ces phases de conception que la majorité des coûts liés au futur produit sont engagés (Michaels et al. 1989), on comprend la nécessité de leur prise en compte. Cependant, il existe des freins à cette intégration :

- tout d'abord, contrairement aux phases de conception architecturale ou détaillée (Pahl et al. 2007), le processus de conception amont est moins formalisé. Ceci engendre une difficulté à analyser quels sont les acteurs qui interviennent, dans quel ordre, etc. En un mot, le workflow associé à la conception amont est difficilement modélisable en un seul et même modèle universel.
- ensuite, la multitude des acteurs, de métiers différents, rend une intégration totale délicate.
- enfin, et cela découle des deux points précédents, les outils supports de la conception amont sont extrêmement diversifiés, rendant leur intégration totale dans une plateforme collaborative illusoire, même à long terme, dans le contexte évolutif des NTIC.

Il est donc nécessaire de définir un **environnement collaboratif multi-contraintes visant à favoriser le travail collectif dans le cadre de la conception amont**. Pour cela, il est important d'identifier les RI manipulées par les concepteurs et de trouver lesquelles sont essentielles au travail collectif des phases amont. **Afin de définir un environnement collaboratif, nous formulons l'hypothèse qu'il est nécessaire d'avoir des RI identifiées et numérisées, et de les définir au préalable**. D'autre part, **nous proposons la prise en compte, grâce aux RI, des contraintes métiers dans l'environnement amont** : nous pensons que ces informations, pour la plupart visuelles, peuvent servir de vecteur de communication et favoriser la collaboration entre les acteurs de la conception.

Nous insistons sur le fait qu'il y a des lacunes en méthodologie et outils supports de la conception amont (apport n°5 de la synthèse précédente). Ainsi, notre constat est qu'il n'existe pas de méthode permettant de définir un environnement collaboratif adapté aux besoins des industriels, et ce dès les phases amont du processus de conception. En conséquence, il n'existe pas d'outils logiciels d'aide à la définition d'environnement collaboratif amont. Une telle méthode est cependant nécessaire pour produire des outils supports à l'activité de conception en phase amont. Dans une tendance globale de numérisation du processus de conception, le périmètre de notre recherche intègre la dimension informatique de la conception en visant à développer un démonstrateur d'outil logiciel d'environnement collaboratif.

Notre problématique de recherche vise donc à proposer et valider une méthodologie afin de définir un environnement collaboratif multi-contraintes pour favoriser le travail collectif, dans le cadre de la conception amont.

**Problématique : Comment définir un environnement collaboratif multi-contraintes visant à favoriser le travail collectif dans le cadre de la conception amont ?**

Elle se situe dans le domaine de la conception collaborative de produits, avec une implication forte des parties prenantes dans l'objectif de concevoir le produit. Le côté pluridisciplinaire de la conception de produit induit nécessairement plusieurs vues métiers du produit, et ainsi la génération de contraintes propres à chaque métier qu'il convient d'intégrer au plus tôt dans la conception. Nous verrons que les contraintes métiers peuvent être supportées, en partie, par les RI du produit. L'environnement collaboratif a comme objectif de favoriser le travail collectif en diminuant les temps "inutiles" de conception. Pour cela, nous construisons des indicateurs afin de suivre l'évolution des pratiques de conception. Enfin, l'ensemble de cette problématique a pour périmètre d'action la conception amont des produits, qui est définie comme le regroupement des phases de définition et planification du projet, de recherche et validation du concept ainsi que les premières étapes de la conception architecturale, jusqu'à la génération d'un tracé préliminaire du produit (apport n°1).

Afin de répondre à cette problématique, nous nous appuyons sur les apports formalisés lors de notre état de l'art, qui nous amènent naturellement à justifier notre protocole expérimental (voir Figure 91 ci-dessous). Nous pensons que, suite à l'**identification** des leviers d'actions pour optimiser la collaboration, une **formalisation** des échanges entre les acteurs au cours du processus de conception est nécessaire (apport n°7). Suite à cette formalisation, la multiplicité des RI utiles à la collaboration doivent être intégrées à un outil collaboratif support, après une phase d'harmonisation (si nécessaire) et de **numérisation** en vue de l'intégration à la chaîne numérique (apport n°6). Puis, le **développement de l'environnement** par des méthodes agiles et fondé sur des entretiens semi-dirigés avec les utilisateurs finaux est réalisé (apports n°3 et 4). Des maquettes intermédiaires dynamiques sont présentées (apport n°4), **testées** et évaluées jusqu'à une adéquation satisfaisante avec les besoins exprimés.

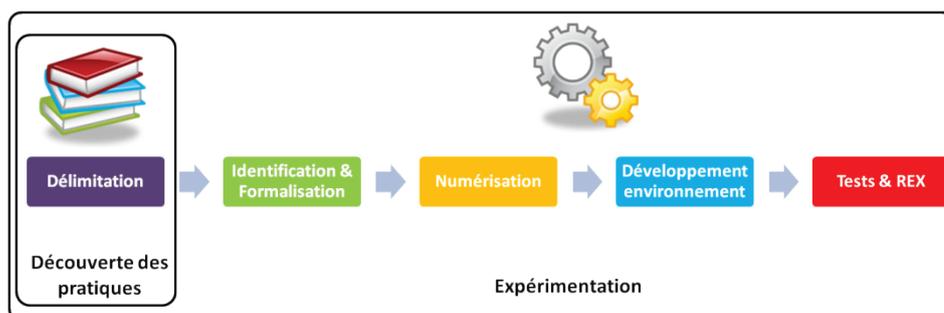


Figure 91 : protocole expérimental en cinq phases.

La partie gauche de notre protocole (Découverte des pratiques, voir Figure 91) a déjà été réalisée lors de l'état de l'art, nous allons donc maintenant nous concentrer sur la suite du protocole de nos expérimentations, en quatre phases, identifiées à droite.

Le périmètre de nos travaux se situe, comme le montre la Figure 92, dans le cadre d'un environnement collaboratif au juste besoin (apport n°2) intégrant les concepteurs et leurs outils numériques d'aide à la conception. Notre action est centrée sur l'identification et l'échange des RI entre les différents métiers en jeu dans la conception amont.

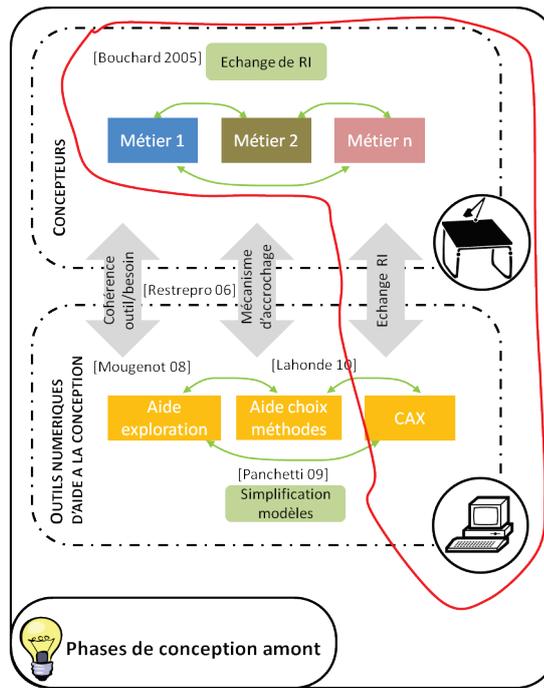


Figure 92 : périmètre de nos travaux de thèse (en rouge).

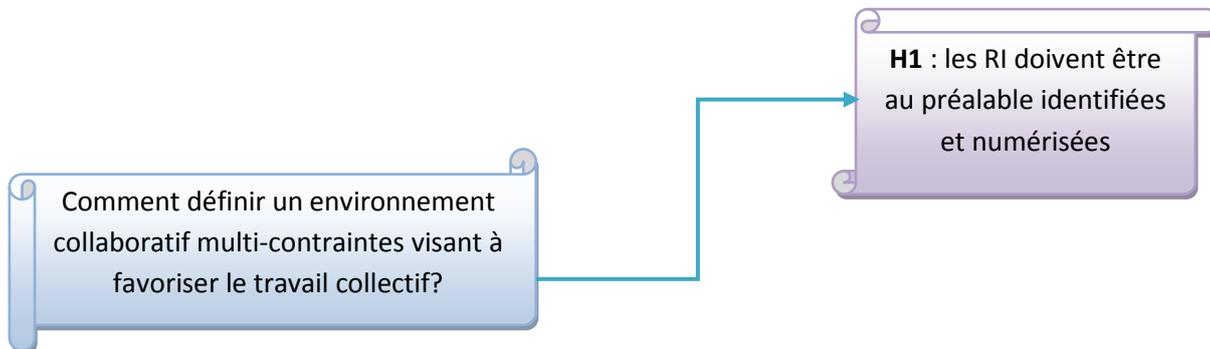
Afin de répondre à notre problématique, nous formulons deux hypothèses de travail, que nous chercherons à infirmer/valider au cours de nos expérimentations.

## 3.2 HYPOTHESES DE MODELISATION

### 3.2.1 HYPOTHESE 1 : IL EST NECESSAIRE D'AVOIR DES REPRESENTATIONS INTERMEDIAIRES IDENTIFIEES ET NUMERISEES

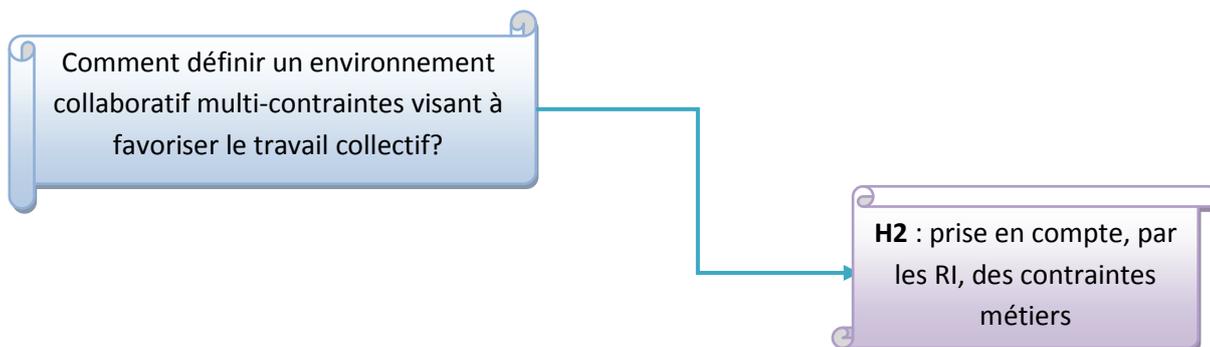
A l'heure actuelle, le développement d'environnements de travail collectif fait principalement appel aux NTIC, et donc à un processus majoritairement numérique. Ainsi, notre objectif explicite dans cette première hypothèse est non seulement d'identifier les RI échangées, mais également de s'assurer que celles-ci sont facilement intégrables dans un environnement virtuel. Notons que ce postulat nous éloigne des modèles et prototypes définis par (Pei et al. 2011) car ceux-ci font appel à des techniques de prototypage physique. Ce type de RI, fort utile afin de concrétiser des formes ou des détails du produit, ne peut être intégré à une continuité numérique. Cependant, la démocratisation récente de certaines technologies de prototypage rapide (à dépôt de fil d'ABS fondu par exemple) sont devenues courantes dans nos entreprises et peuvent être considérées comme une imprimante 3D. De cette manière, la RI peut être reproduite par l'acteur de la conception qui le souhaite. Nous pensons donc que, préalablement au développement d'un environnement collaboratif, les RI échangées lors de la conception du produit doivent être identifiées, et, si possible, numérisées. Cette affirmation est fondée sur l'étude de l'état de l'art et plus particulièrement sur l'apport n°7 qui nous engage à formaliser le processus de conception et les échanges entre les acteurs. Cette formalisation, que nous réalisons avec un outil SADT adapté, permet d'identifier les RI et de vérifier si celles-ci sont numérisables ou numérisées. Nous chercherons donc à identifier, avec l'aide d'actigrammes,

les RI échangées entre "l'entrée" et la "sortie" de chaque phase du processus de conception. Plus spécifiquement, nous pensons qu'il est possible de définir des RI support de l'activité amont de conception, compréhensibles et utilisables par chaque acteur.



### 3.2.2 HYPOTHESE 2 : IL FAUT PRENDRE EN COMPTE, GRACE AUX RI, LES CONTRAINTES METIERS DANS L'ENVIRONNEMENT AMONT.

L'intégration au plus tôt dans le développement d'un produit des contraintes liées aux différents métiers a déjà prouvé son efficacité, en particulier dans le lien entre la fabrication et la conception avec par exemple l'avènement du DFM (Skander 2006). Notre apport n°2 issu de l'état de l'art insiste sur le fait que les RI sont une composante importante de la collaboration entre les acteurs. Elles représentent en effet un point de passage de multiples points de vue et évoluent vers une concrétisation progressive du produit au fur et à mesure de l'avancée du projet. Elles sont donc un support idéal afin d'exprimer les contraintes relatives aux métiers en jeu lors de la conception, mais cela implique que les RI soient partagées entre les métiers. Nous pensons que, en amont du développement d'un environnement collaboratif, les contraintes métiers doivent être prises en compte dès les phases amont de conception. La formalisation préalable du processus de conception du produit nous permet de dresser une liste exhaustive des RI échangées entre les acteurs de la conception. Parmi ces RI, nous proposons une méthode de cartographie afin de déterminer lesquelles sont les vecteurs les plus importants de collaboration. Nous proposons ensuite de structurer l'environnement collaboratif autour de ces RI privilégiées, ou RI clefs, qui permettent de prendre en compte les contraintes au plus tôt.



### 3.3 RESUME DE LA PROBLEMATIQUE ET DES HYPOTHESES

Notre recherche vise à favoriser la collaboration en conception en agissant sur l'environnement support du processus de conception, et en particulier sur les phases amont du processus lorsque les décisions sont les plus influentes sur la suite de la conception et que les possibilités de modifications du produit sont les plus grandes. En effet, plusieurs auteurs ont montré que la conception pouvait être vue comme un processus de concrétisation progressive, où la marge de manœuvre des concepteurs diminue au fur et à mesure que le temps s'écoule (Midler 1995; Olsson et al. 2007). Ainsi, plus la détection du problème de conception est tardive, moins grand est le degré de liberté disponible pour résoudre le problème efficacement et à moindre coût (Midler 1993). Cette tendance est illustrée par la Figure 93 ci-dessous, extraite des travaux (Olsson et al. 2007).

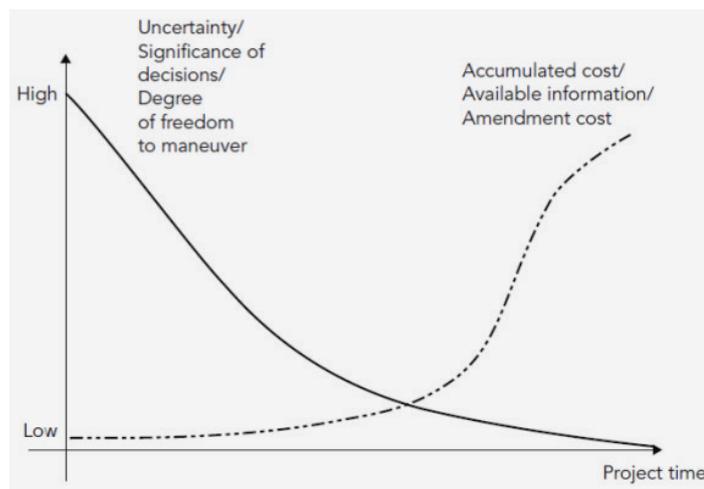
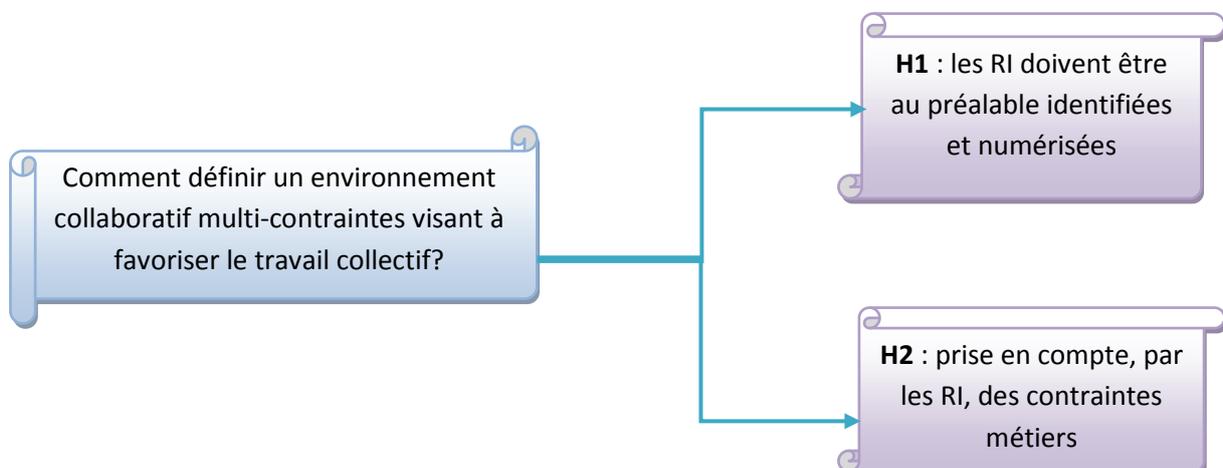


Figure 93 : Evolution de la marge de manœuvre des concepteurs et du coût des modifications en fonction du temps, extrait de (Olsson et al. 2007).

Afin de favoriser la définition d'un environnement collaboratif amont, nous faisons d'une part l'hypothèse que les RI échangées au cours du processus de conception doivent être identifiées et numérisées afin de devenir un vecteur d'information efficace. D'autre part, nous pensons que la définition d'un environnement collaboratif multi-contraintes passe par la prise en compte, grâce aux RI, des contraintes métiers propres à chaque acteur, et ce dès les phases amont de conception.



Afin de répondre à la problématique, nous structurons notre intervention à deux niveaux complémentaires, un niveau "Modèle" et un niveau "Outil" :

- tout d'abord une réflexion sur la méthode à suivre afin de proposer un modèle de définition d'un environnement collaboratif amont (niveau "Modèle"). C'est le modèle de plus haut niveau de nos travaux.
- ensuite un protocole opérationnel afin de mener à bien les actions nécessaires à la réalisation et à l'optimisation d'un environnement collaboratif amont (niveau "Outil"). C'est le modèle pratique, à suivre sur le terrain dans l'objectif de créer un environnement collaboratif amont.

La Figure 94 ci-dessous présente l'articulation entre notre modèle et les outils qui en découlent lors de son application en milieu industriel.

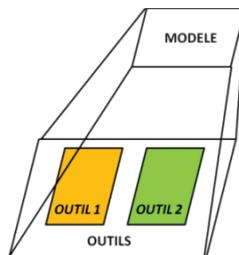


Figure 94 : articulation entre notre modèle d'environnement collaboratif et les outils développés à partir du modèle.

### 3.4 DEMARCHES SUIVIES AU NIVEAU MODELE ET OUTILS

#### 3.4.1 NIVEAU MODELE

La démarche suivie s'inscrit dans la continuité du chapitre 2.3.1, p.79, et est représentée sur la Figure 95 ci-dessous. La finalité de cette démarche est de proposer un modèle permettant de supporter le développement d'un environnement collaboratif amont, dans un contexte industriel.

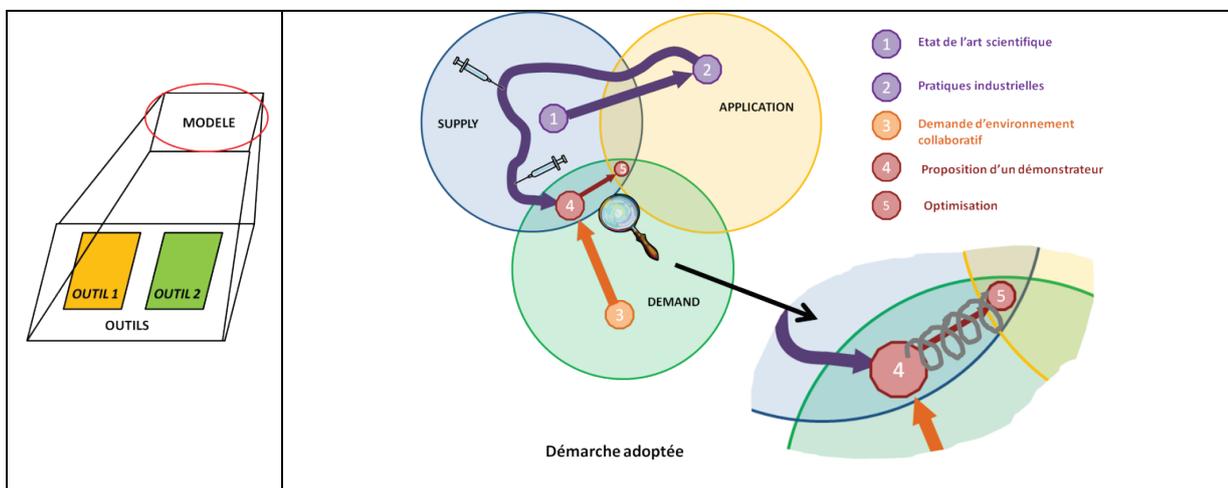


Figure 95 : démarche niveau "modèle" de nos travaux de thèse afin de définir un environnement collaboratif amont.

Celle-ci se décompose en cinq phases, classées chronologiquement.

La première étape de la démarche consiste à réaliser un état de l'art exhaustif ainsi qu'une veille technologique sur les environnements collaboratifs adaptés à la conception de produit. Cette étape doit être réalisée de manière permanente afin de suivre l'évolution de ce domaine, grandement lié à l'évolution des NTIC. Nous sommes ici dans le domaine "Supply", où le monde scientifique peut fournir des outils et des méthodes de conception d'environnement collaboratif à l'industrie.

La deuxième étape a pour but d'analyser les pratiques industrielles en place dans plusieurs industries afin de s'imprégner des besoins en collaboration. En effet, avant d'implémenter un environnement collaboratif, il convient de comprendre la problématique de terrain, pour adapter la réponse aux besoins des utilisateurs finaux. Le but de cette étape est d'alimenter l'état de l'art scientifique avec des pratiques industrielles *in situ*, qui ont donc généralement fait leurs preuves. On se situe alors dans le domaine de l'application, où des méthodes ou outils collaboratifs sont utilisés par l'industrie.

La troisième étape est la demande d'un industriel "lambda" afin de lui proposer un environnement collaboratif adapté à ses besoins. On a alors une convergence vers l'étape 4 suivante avec deux principaux flux :

- le flux de l'étape 2 vers 4, qui montre un enrichissement scientifique (symbolisé par des seringues) ciblé vis-à-vis de la problématique industrielle de l'industriel "lambda". Par exemple, si la problématique est de concevoir un environnement collaboratif adapté aux besoins des entreprises du bâtiment, la compréhension de la problématique de terrain passe par l'étude de la bibliographie issue du domaine, comme le concept de Building Information Model etc. (Segonds et al. 2011c). Une veille concurrentielle est également réalisée une fois le périmètre d'action ciblé.
- le flux de l'étape 3 vers 4, qui montre un enrichissement lié à l'échange avec l'industriel afin de mieux comprendre les attentes respectives.

La quatrième étape est une étape de convergence vers le domaine à l'intersection entre "Supply" et "Demand". Dans ce domaine, les outils et méthodes de conception fournis sont utiles, mais encore non appliqués industriellement. En effet, il convient de tester ces environnements dans des conditions réelles avant de l'implémenter (voir par exemple les procédures de test citées dans (Mankins 1995), ou de manière plus spécifique pour les groupware (Restrepo 2006)). Le livrable principal de cette étape est un démonstrateur dont le but est de prouver la viabilité du concept. Ici, on recherche un développement informatique rapide afin de répondre au mieux aux besoins des utilisateurs. Par exemple, on préférera des maquettes simplifiées à de véritables logiciels ou sites internet, beaucoup plus chronophages.

La cinquième étape est une étape d'optimisation de l'environnement suite aux tests utilisateurs. Elle fait intervenir des utilisateurs finaux de l'environnement collaboratif afin de recueillir leurs impressions et leurs voies d'amélioration du prototype. Le but est d'arriver à un prototype optimisé avec la plus grande réactivité possible. Ce processus, forcément itératif, doit aboutir au domaine central du diagramme présenté Figure 95 qui est l'intersection optimale, où la recherche scientifique répond à la demande industrielle et où les utilisateurs peuvent travailler efficacement avec les outils et méthodes mis à leur disposition. Cette étape nécessite également le passage d'un démonstrateur à un outil "réel" et nécessite donc une étape importante de codage informatique. A titre indicatif, lors de nos expérimentations industrielles, le temps moyen constaté pour cette étape est de six mois minimum.

### 3.4.2 NIVEAU OUTILS

Un protocole opérationnel afin de mener à bien les actions nécessaires à la réalisation et à l'optimisation d'un environnement collaboratif amont a été suivi (niveau "Outil"). Une étape préalable de délimitation a déjà été effectuée lors de notre état de l'art. C'est le modèle pratique, à suivre sur le terrain dans l'objectif de créer un environnement collaboratif amont.

Notre protocole d'expérimentation se divise en cinq phases qui sont présentées à la Figure 96 ci-dessous.

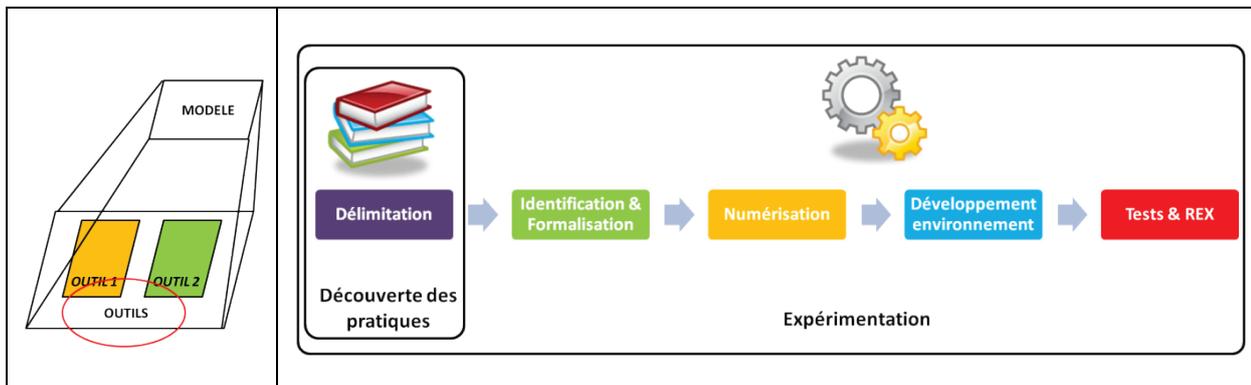


Figure 96 : protocole d'expérimentation en cinq phases, niveau "Outils".

Pour rappel, la phase de délimitation consiste à aller dans l'entreprise et, par l'intermédiaire d'entretiens ciblés (une à deux personnes clefs du processus) et de divers supports informatiques, à découvrir les pratiques et comprendre la manière dont un produit est conçu afin de fixer la limite de la conception amont et des acteurs à rencontrer. Ce premier contact avec la société permet d'analyser avec un œil neutre les pratiques collaboratives. Cette étape a été développée dans la partie "état de l'art des pratiques industrielles", de la 2<sup>ème</sup> partie.

La phase d'identification et de formalisation vise à analyser, à l'aide dans un premier temps des documents de la phase de délimitation, le processus de développement du produit concerné afin de déterminer quels sont les éventuels obstacles à la collaboration, quelles sont les RI échangées, entre quels acteurs, sous quel format etc. En fonction des besoins, de nouveaux entretiens sont réalisés avec un panel plus conséquent. Par la suite, le processus est structuré grâce à un formalisme particulier.

La phase de numérisation définit, si c'est possible, des RI numérisées du produit. Ceci est réalisé afin de préserver la continuité numérique du produit conçu (Bernard et al. 2002).

La phase de développement de l'environnement consiste à maquetter un environnement collaboratif amont de manière dynamique, à l'aide de divers logiciels du commerce, répondant aux spécifications exprimées par les utilisateurs finaux dès la phase d'identification.

Enfin, la phase de tests et Retour d'EXpérience (REX), permet en fonction des retours utilisateurs d'améliorer le prototype fonctionnel d'environnement collaboratif présenté en vue d'atteindre la zone A définie par (Birkhofer et al. 2005). Il est à noter que cette phase peut être itérative, comme le sont beaucoup de processus de conception tels que ceux (Aoussat 1990; Ullman et al. 2003; Pahl et al. 2007).

Nous allons, dans la partie suivante, présenter nos expérimentations qui suivent le protocole niveau "Outils" pour chaque industriel partenaire. Leur but est de valider la pertinence de nos hypothèses. Nous faisons ensuite une proposition plus détaillée de méthodologie au niveau "Modèle", qui consiste en une généralisation de nos travaux expérimentaux.

## 4 EXPERIMENTATIONS





## 4.1 CADRE DES EXPERIMENTATIONS ET STRATEGIE EXPERIMENTALE

Nos expérimentations sont menées au travers de projets industriels au sein des laboratoires d'accueil. Ces projets, tous en relation avec la création d'un environnement collaboratif amont, nous permettent de recueillir des données précieuses sur les modes de collaboration des acteurs, dans le but de proposer un environnement adéquat. Les entreprises avec lesquelles nous avons mené des développements significatifs sont :

- Une entreprise fabricant des contenants en verre, Verallia, anciennement Saint-Gobain Emballage, et plus précisément le bureau de développement des produits nouveaux basé à Chalon-sur-Saône.
- Une entreprise concevant des produits textile, Devanlay, qui est chargée de la conception/fabrication/vente des produits licenciés Lacoste.

Nous rappelons que ce choix a été effectué en accord avec nos critères de sélection d'entreprise ; à savoir la conception d'un produit cible de type "conception routinière" car c'est à ce type de projet que notre outil support d'environnement s'adresse ; ainsi qu'une intégration pluridisciplinaire forte au cours du cycle de développement du produit, afin de mettre en exergue les collaborations.

Ces deux entreprises, dont nous avons préalablement présenté l'activité, nous ont ouvert leurs portes afin de définir, ensemble, un environnement collaboratif répondant à leurs besoins. Ce travail a été l'occasion de mettre en pratique la démarche expérimentale que nous défendons. La Figure 97 ci-dessous présente le positionnement de nos expérimentations (en vert, orange et rouge) ainsi que notre stratégie expérimentale par rapport au rôle que nous prenons (descriptif ou prescriptif), et en fonction du nombre d'acteurs du processus de conception.

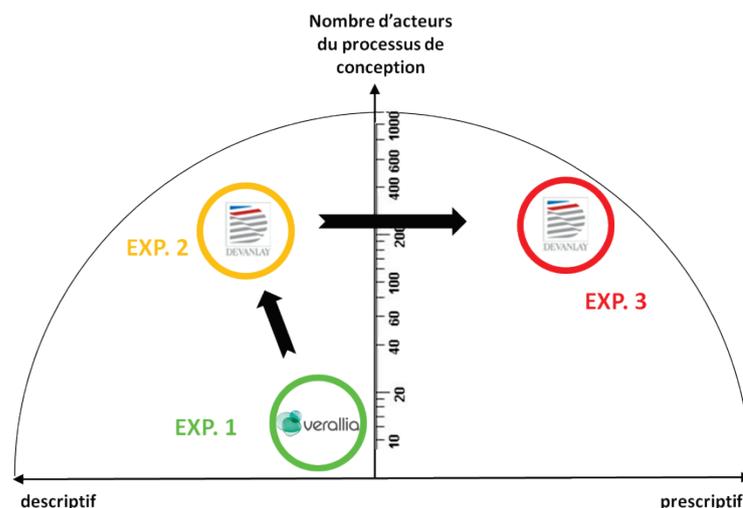


Figure 97 : stratégie expérimentale retenue afin de répondre à la problématique posée.

Dans le but de répondre à la problématique énoncée plus haut, l'objectif des expérimentations est de formaliser dans un premier temps de manière descriptive (expérimentations 1 et 2) le processus de

conception des produits concernés, tout au long du cycle de vie du produit. En effet, la compréhension détaillée de la conception du produit nous permet par la suite d'identifier les RI utiles à la collaboration, ainsi que les acteurs qui participent à cet environnement. La première expérimentation, faite dans l'entreprise Verallia, porte sur un panel d'une dizaine de personnes concernées par la conception d'un produit verrier. Elle est ensuite complétée par la deuxième expérimentation, chez Devanlay, avec un produit plus complexe et environ trois cents concepteurs impactés par le processus de développement du produit textile. Dans un second temps (expérimentation 3), le but des expérimentations est de proposer (prescriptif) un environnement collaboratif centré sur les RI, applicable à la conception amont, dans le cadre de notre collaboration avec Devanlay.

Nous allons maintenant détailler les objectifs de nos expérimentations, au niveau de la mise en place des outils collaboratifs de manière opérationnelle.

## 4.2 OBJECTIFS DES EXPERIMENTATIONS

Notre protocole expérimental est celui décrit dans la partie précédente, niveau "Outils". Nous rappelons celui-ci sur la Figure 98 ci-dessous, il sera affiné par la suite.

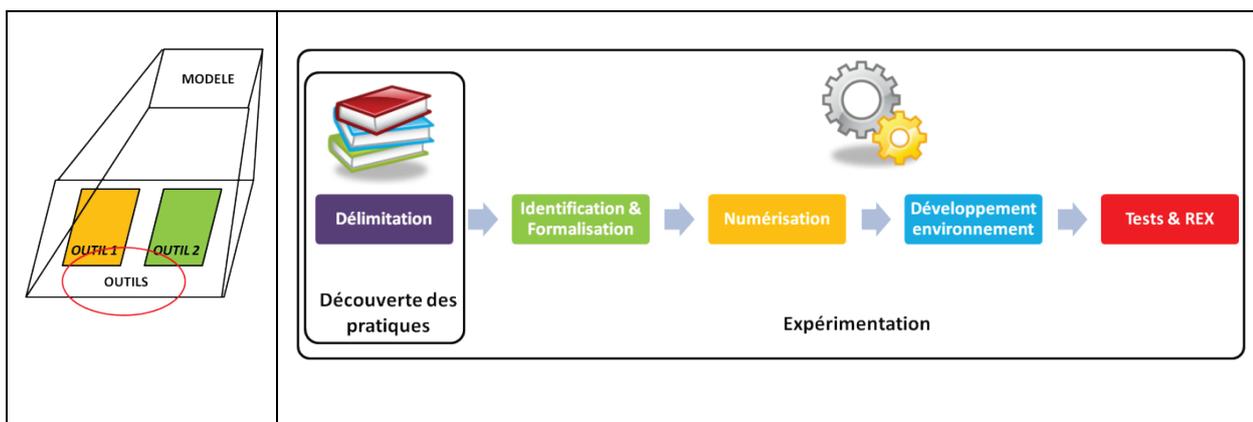


Figure 98 : protocole d'expérimentation en cinq phases, niveau "Outils".

La phase de délimitation du processus de conception a été réalisée dans la 2<sup>ème</sup> partie. Nous allons, au travers des expérimentations 1 et 2 nous intéresser à l'identification et la formalisation du processus de conception en vue de sa numérisation. Ces expérimentations correspondent à une approche descriptive fondée sur des entretiens et visent à décrire le processus de conception d'un produit, afin de comprendre plus particulièrement quelles sont les RI échangées, entre quels acteurs, dans quels délais et dans quels buts. De ces expérimentations émergent les RI clefs, qui servent de support à la définition de l'environnement collaboratif amont. Une fois cette description de processus établie, nous souhaitons investiguer plus finement le rôle des RI clefs : en ce sens, l'expérimentation 3 vise à proposer et à faire tester par des utilisateurs finaux un démonstrateur d'outil collaboratif appliqué à la conception amont de produit, conçu autour de ces RI, avec l'entreprise Devanlay.

Nos expérimentations sont donc complémentaires et s'enchaînent logiquement avec le travail d'état de l'art réalisé au préalable.

Notre état de l'art a mis en lumière le rôle majeur des RI dans le processus de conception de produits. L'objectif de ces expérimentations est de décrire plus en détail le rôle des RI en conception collaborative, tout en gardant l'esprit industriel lié aux contraintes des entreprises partenaires.

Les questions de recherche auxquelles nous souhaitons répondre sont :

- Quelles est (sont) la (les) RI vecteur d'information qui peut (-vent) servir de support à un environnement de conception collaborative de produit?
- Ces RI varient-elles en fonction du type de produit concerné?
- Toutes les RI générées peuvent-elles être numérisées et cela a-t-il une influence sur la collaboration entre les acteurs?
- Le travail collectif peut-il être favorisé par un environnement adéquat? Si oui, comment structurer cet environnement autour des RI, et existe-t-il des RI privilégiées?

Nous allons, dans le chapitre suivant, analyser quelles sont les RI échangées lors de la conception d'un produit, dans le cadre de nos études industrielles.

## **4.3 TYPOLOGIE DE REPRESENTATIONS INTERMEDIARES ECHANGEES LORS DE LA CONCEPTION D'UN PRODUIT (EXP. 1 ET 2)**

### **4.3.1 OBJECTIFS DES EXPERIMENTATIONS 1 ET 2**

Ces deux expérimentations visent à recueillir, sur le terrain industriel, des données concernant l'activité de collaboration amont entre les principaux acteurs en présence, afin de les formaliser pour en tirer des leviers d'actions sur l'efficacité de la conception amont.

De manière plus détaillée, nous souhaitons :

- comprendre par quel cheminement l'équipe de conception passe du cahier des charges produit aux calques préliminaires de conception.
- formaliser le processus de conception amont et analyser ses éventuelles faiblesses, pertes de temps etc. qui peuvent nuire à l'efficacité du travail des concepteurs et identifier les principales RI échangées entre les acteurs lors de ces phases.

Afin de valider la pertinence de notre première hypothèse, nous avons mené deux expérimentations en partenariat avec les entreprises Verallia et Devanlay, que nous présentons dans les chapitres suivants.

### **4.3.2 VERALLIA : EXPERIMENTATION 1**

Au cours de cette expérimentation, nous montrons l'importance de la formalisation du processus de conception du produit, ainsi que de l'identification et de la numérisation des RI générées tout au long du

processus de conception. Nous montrons que le type de RI le plus échangé est de type "Image", et que certaines RI ne sont pas numérisées à l'heure actuelle. Ce travail est réalisé dans le cadre de la création d'un produit verrier, et reprend la suite de notre état de l'art des pratiques industrielles.

#### 4.3.2.1 PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Nous sommes pour cette expérimentation dans une phase descriptive du processus de conception, couvrant la conception d'un produit verrier (voir Figure 99), impactant un panel de douze personnes réparties entre Verallia et l'agence Terre-Neuve.

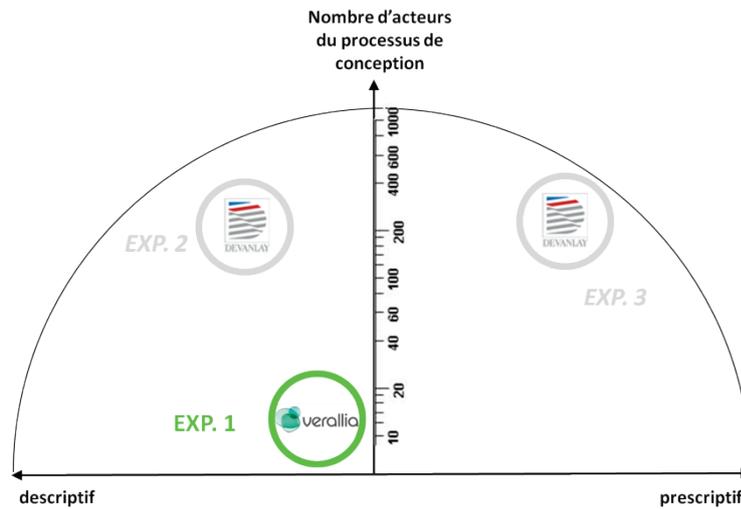


Figure 99 : positionnement de l'expérimentation 1.

Comme nous l'avons expliqué dans une précédente partie, lors des premières phases de conception d'un contenant en verre, les principaux acteurs en présence sont :

- une agence de design, composée de six personnes, dont l'objectif est de fournir des esquisses et vues réalistes de la bouteille,.
- le bureau de développement des produits nouveaux de Verallia, composé de six personnes en R&D, dont quatre orientées BE et deux orientées BM.

Dans le cadre du projet suivi, nous avons eu à notre disposition un panel de douze personnes (voir Tableau 16).

Designers	6
Ingénieurs Développement produits Nouveaux BE	4
Ingénieurs Développement produits Nouveaux BM	2

Tableau 16 : panel pour l'expérimentation 1.

Afin de comprendre le développement d'un nouveau produit verrier, plusieurs journées de travail préalables sont nécessaires. La formalisation du processus de conception amont est réalisée grâce à des entretiens semi-dirigés menés auprès des douze personnes concernées, dont la trame est présentée au Tableau 17.

Description du travail	Position dans le cycle de conception	Rôle	Tâches à effectuer		
Données traitées	Types de données	A quel moment?	Création ou Modification	Reçu de qui?/ Envoyé à qui?	Formats d'origine et après modif.
Outils utilisés	Logiciels professionnels utilisés	Logiciels de communication	Autres?		
Communication	Moyen de communication	Avec qui? (Département, fonction,...)	Périodicité	Quelles informations transmises?	
Expériences personnelles	Problèmes récurrents	Propositions	Commentaires		

Tableau 17 : trame d'entretien semi-dirigé mené chez Verallia.

Cette trame d'entretien aborde cinq principaux thèmes utiles à la compréhension du processus de conception. Tout d'abord, nous demandons à la personne interrogée de décrire son travail, puis de nous expliquer les données qu'elle traite au quotidien ainsi que les outils métiers et de communication qu'elle utilise. Enfin, nous abordons les problèmes possibles dans la gestion du travail, ainsi que d'éventuels commentaires.

En complément, l'agence de design nous fournit également le classeur de suivi du produit dans lequel sont archivées toutes les pièces nécessaires à la constitution d'une réponse à appel d'offre. Il nous permet de retracer, *a posteriori*, le développement d'une bouteille de vin.

Nous allons maintenant analyser les résultats de ces entretiens, en suivant notre démarche expérimentale.

#### 4.3.2.2 RESULTATS

##### I. PHASE D'IDENTIFICATION ET DE FORMALISATION

L'outil d'identification et de formalisation choisi pour cette expérimentation est l'actigramme SADT. En effet, celui-ci permet d'avoir une vision claire des étapes qui sont réalisées au cours du cycle de développement du produit. Afin de décrire le développement d'un produit chez Verallia, nous avons rencontré le panel défini sur le Tableau 16. Ces entretiens ont fait l'objet de validations de la part des personnes interrogées, et ont abouti à une cartographie fidèle à leur processus de conception.

##### A. IDENTIFIER LES REPRESENTATIONS INTERMEDIAIRES ET FORMALISER LE PROCESSUS DE CONCEPTION AMONT

##### 1. FORMALISER LE PROCESSUS DE CONCEPTION AMONT

La fonction principale de notre processus est de concevoir un contenant en verre, en partant des besoins exprimés par le client afin de les concrétiser en un produit industrialisable. La Figure 100 ci-dessous exprime cette fonction principale.

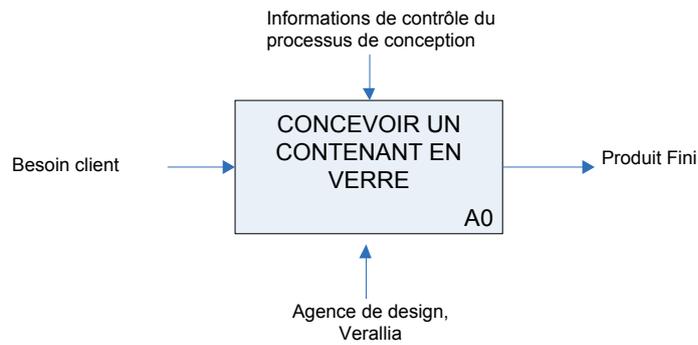


Figure 100 : fonction principale du processus étudié.

Afin de mieux identifier les RI échangées tout au long du processus de conception, nous avons légèrement modifié la manière de représenter nos actigrammes SADT. La Figure 101 présente une synthèse de ces modifications. Ainsi, nous retrouvons la matière d'œuvre entrante et sortante, avec une action centrale (verbe à l'infinitif). La partie supérieure (données de contrôle ou influant l'action) nous sera peu utile dans la modélisation car nous cherchons ici à identifier les principaux vecteurs de l'information, sans nous concentrer sur les consignes qui permettent l'action. Ensuite, nous positionnons en partie basse du diagramme, les acteurs (en mauve) et outils (en orange) employés afin de mener à bien l'action. Enfin, nous consignons en partie basse du SADT global les RI générées au cours de la phase concernée, en les classant en trois catégories distinctes, avec un code couleur afin de les identifier rapidement :

- T : RI générée sous forme de Texte (couleur noire).
- I : RI générée sous forme d'Image (couleur verte).
- P : RI générée sous forme d'objet Physique (couleur bleue).

Ceci a pour but de classifier et de comptabiliser les types de RI présents lors de la conception du produit, en particulier dans les phases amont. Il est à noter qu'une RI peut combiner plusieurs de ces catégories : par exemple, un document de synthèse d'étude de conditionnement présentant une partie rédigée avec une note de calculs (T) ainsi que des images de la palettisation envisagée (I), sera classifié T&I.

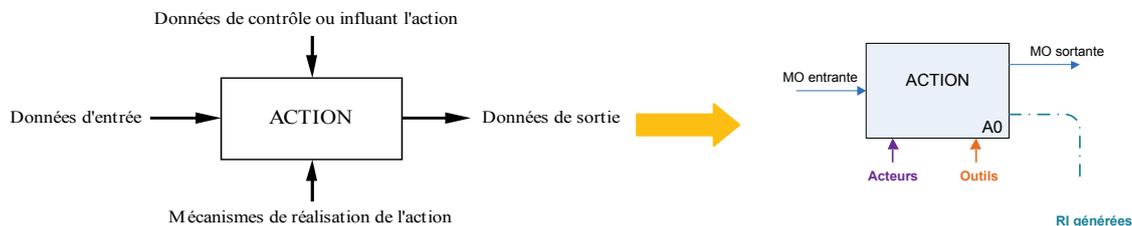


Figure 101 : adaptation du formalisme SADT à nos besoins.

La présentation générale est réalisée selon une adaptation du formalisme de (Aoussat 1990) comme schématisé à la Figure 102, qui décompose la conception d'un produit en quatre principales phases : la traduction du besoin, l'interprétation du besoin, la définition puis la validation du produit.

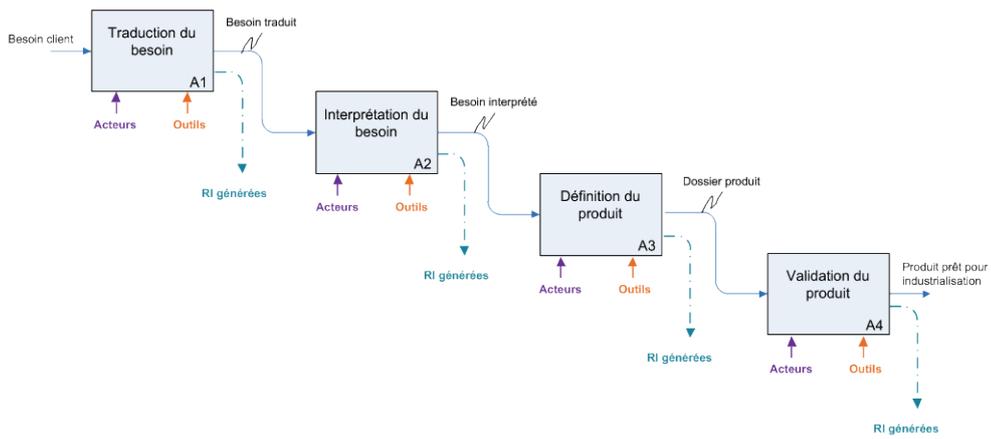
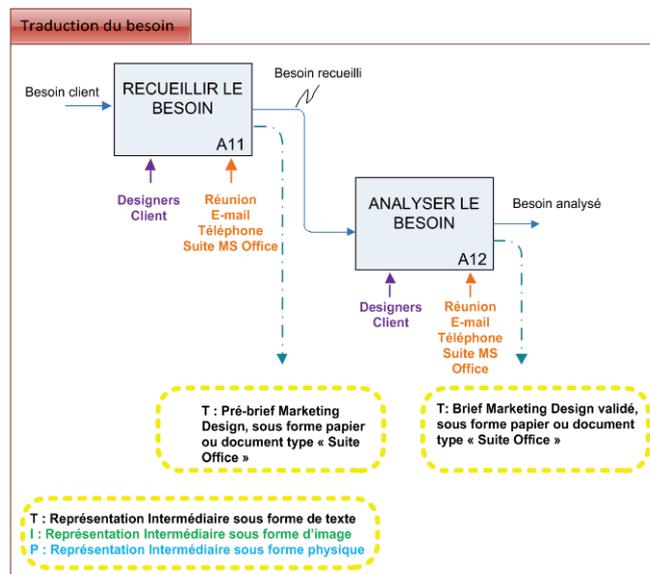


Figure 102 : formalisme utilisé pour nos expérimentations, adapté de (Aoussat 1990).

Chacune de ces phases va maintenant être détaillée afin de mieux comprendre le déroulement de la conception d'un produit verrier, dans la collaboration entre le client, l'agence de design et Verallia. Toutes les données présentées sont issues des entretiens réalisés chez Verallia et à l'agence de design Terre-Neuve.

**a. LA TRADUCTION DU BESOIN**

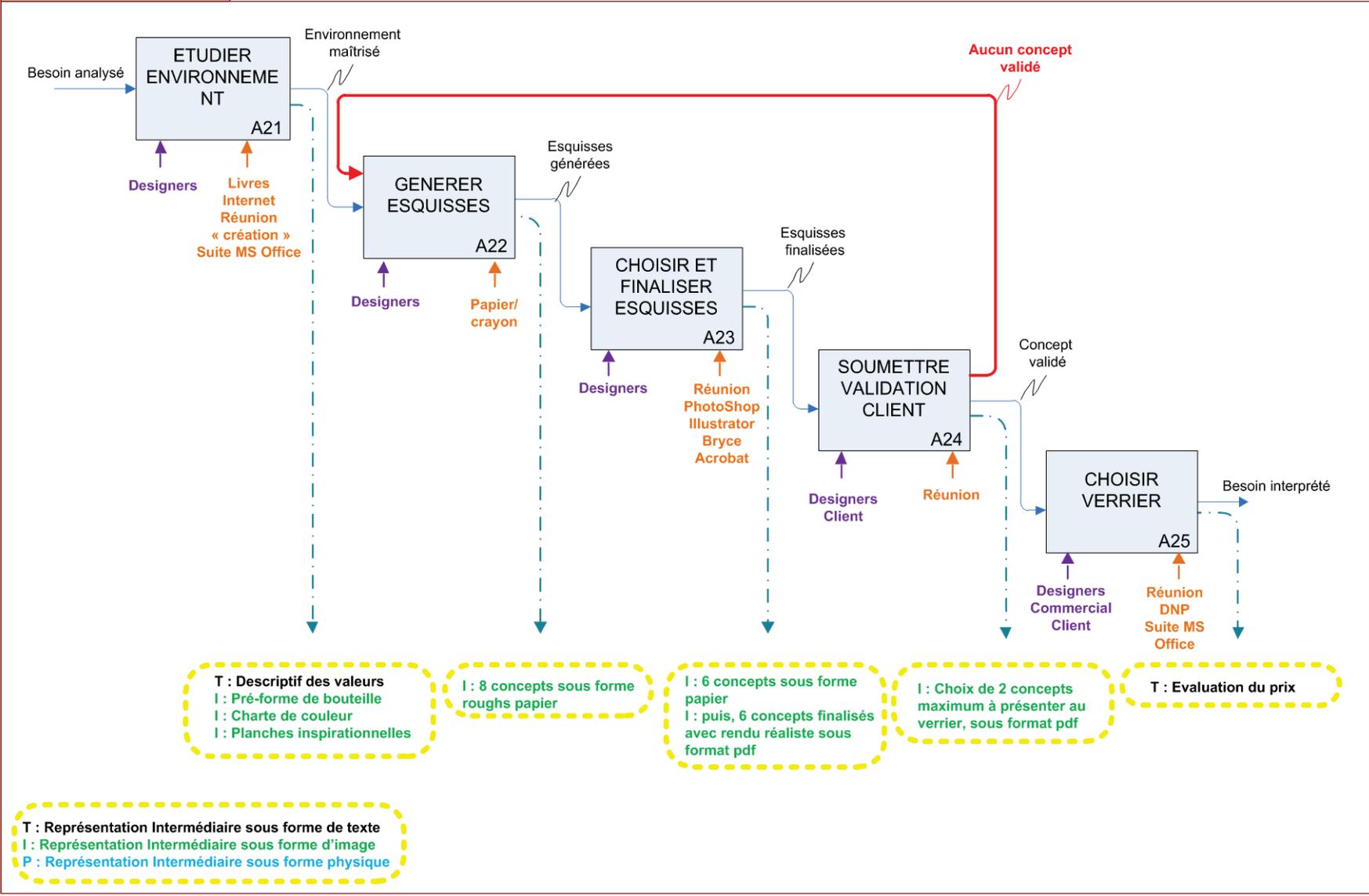


Cette phase de traduction du besoin implique de le recueillir et d'analyser le besoin du client. Généralement, le client a une idée de l'identité qu'il veut donner à son produit (vin par exemple). Il contacte donc l'agence de design afin d'exprimer ce besoin, souvent au travers d'un texte ou, plus rarement, de schémas. Suite à cela, les designers formalisent ce besoin en un Brief Marketing&Design, qui sera validé par le client. Dans cette phase de traduction du besoin, les principales RI générées sont sous forme de texte. Le tableau ci-dessous fait la synthèse des différentes RI échangées au cours de la phase de traduction du besoin :

PHASE	T	I	P	Total RI
Traduction besoin	2	0	0	2

**b. L'INTERPRETATION DU BESOIN**

Interprétation du besoin



Dans cette phase, les principaux acteurs sont les designers ainsi que le BE de Verallia.

Une fois le besoin analysé, les designers commencent par étudier l'environnement dans lequel la création va devoir s'insérer. Cette étape passe par la description des valeurs portées par le contenu, l'attachement à une région, ou à un détail d'une région. A titre d'exemple, dans le projet suivi, "Beaumes de Venise", le client montre un attachement fort à un relief caractéristique de sa région : les dentelles de Montmirail. Ainsi, celui-ci souhaite retrouver ces dentelles sur la bouteille à concevoir. De cette étape sont générées les RI suivantes :

- un rapport succinct sur le descriptif des valeurs liées à la bouteille.
- une charte de couleur à employer, aussi bien pour la teinte de la bouteille que pour le code couleur de l'étiquette.
- des planches inspirationnelles, qui servent d'aide à l'exploration des designers (Mougenot 2008).
- enfin, une fois la forme globale de la bouteille retenue, les designers appliqueront une pré-forme de la bouteille désirée sur le fond de leur esquisse, à des fins de support. La bouteille est représentée de face, en vue isométrique ainsi qu'en vue de dessus. La Figure 103 ci-dessous présente la pré-forme de la bouteille type "Bourgogne" retenue.



Figure 103 : préforme de bouteille type "Bourgogne" et premières esquisses.

La phase suivante est la phase de génération d'esquisses. Elle se fait, dans un premier temps, sur papier. Généralement, de six à huit propositions sont faites sous forme de d'esquisses rapides (papier, crayon, marqueur), ou roughs en anglais.

Ensuite, parmi ces huit propositions (dans le cas de Beaumes de Venise), six sont sélectionnées lors d'une réunion entre designers. Les concepts retenus sont ceux qui respectent l'esprit voulu de la bouteille, ainsi que certains critères de faisabilité technique. En effet, étant donné que l'agence Terre-Neuve travaille depuis de nombreuses années avec Verallia, ses designers ont acquis des connaissances liées à la fabrication des bouteilles (notion d'épaisseur minimale, de plan de joint, de contre-dépouille par exemple). Ainsi, certains concepts jugés irréalisables ou techniquement difficiles sont abandonnés. Ces six concepts sont ensuite reproduits au propre sous forme papier. Une fois ce travail fait, les designers mettent leurs esquisses en forme avec des logiciels de graphisme et de rendu 2D et 3D tels que Photoshop®, Illustrator® ou Bryce®. Un exemple de rendu obtenu avec ce type de logiciel est présenté sur la Figure 104 ci-dessous, avec le détail des dentelles de Montmirail sur la droite.



Figure 104 : exemple de rendu photo-réaliste de bouteille.

Ces six concepts sont soumis à la validation finale par le client, lors d'une réunion. Généralement, au moins un et au maximum deux concepts sont retenus par le client. Cependant, il se peut qu'aucun concept ne lui convienne et il faut alors recommencer à générer des esquisses.

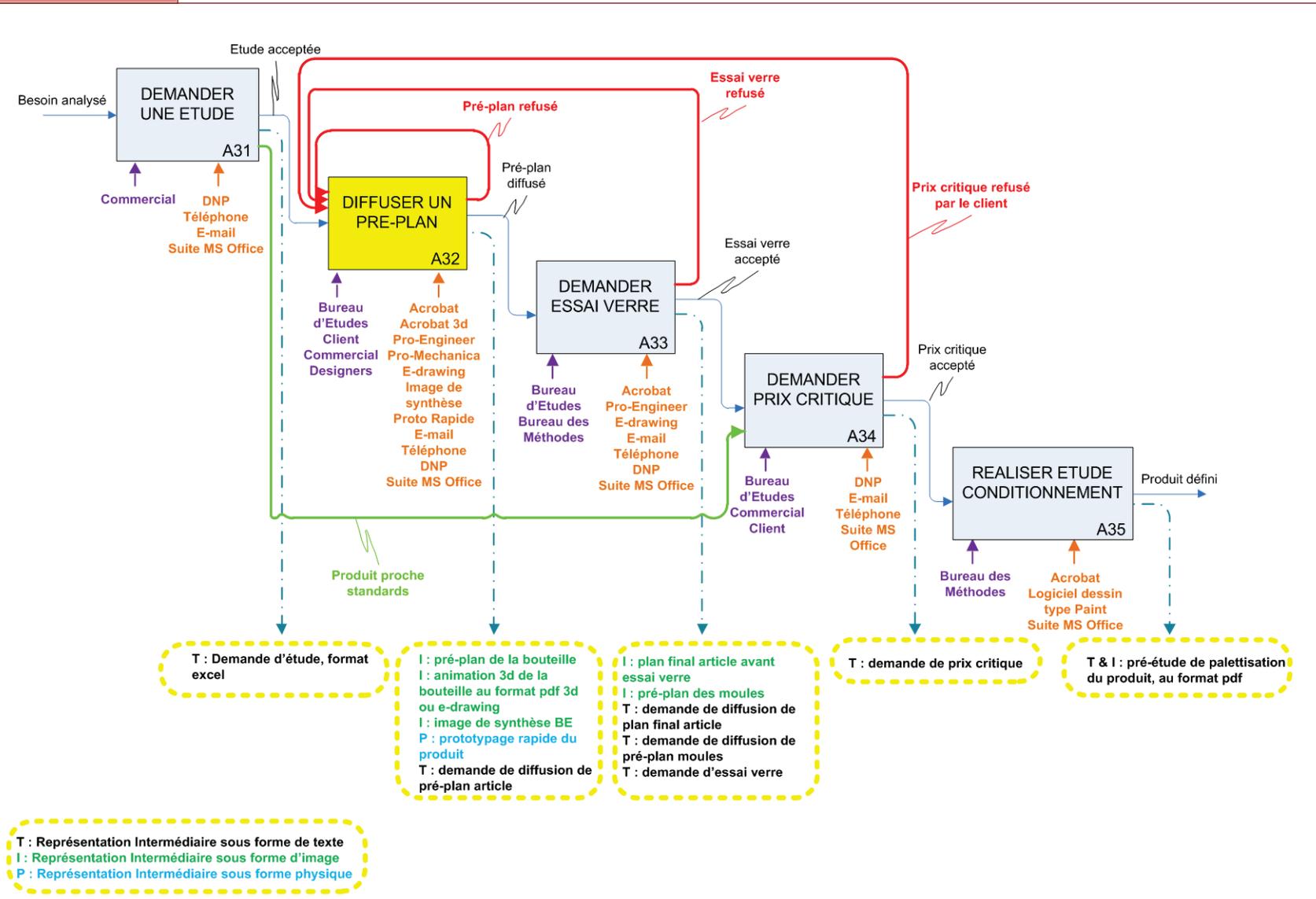
Enfin, un verrier est choisi. Soit l'agence de design est habituée à travailler avec un verrier (ce qui est le cas pour le projet que nous avons suivi) et elle se met en relation avec le BE de celui-ci. Soit le client ou son représentant sont habitués à travailler avec un verrier spécifique, et il peut l'imposer à l'agence de design. Lors d'une réunion avec le commercial du verrier choisi, une première approximation du coût de la bouteille est faite, par l'intermédiaire de l'accès aux données d'un projet jugé "proche" sur l'outil DNP (dans le cas de Verallia). Cette étape clôture la phase d'interprétation du besoin.

Le tableau ci-dessous fait la synthèse des différentes RI échangées au cours de la phase d'interprétation du besoin :

PHASE	T	I	P	Total RI
Interprétation besoin	2	7	0	9

### **C. LA DEFINITION DU PRODUIT**

## Définition du Produit



Dans cette étape, les principaux acteurs sont ceux de l'entreprise Verallia.

La première étape consiste en la demande, par le commercial, d'ouverture d'une nouvelle étude. Une fois que cette demande d'étude est acceptée par le responsable du BE, deux alternatives se présentent :

- soit le projet est innovant (rappel : 25% à 30% des projets traités par le BE de Verallia, appelés "créations", sont de ce type), auquel cas le BE se met au travail afin de réaliser un pré-plan (voir Figure 68) de la bouteille et de s'assurer de sa faisabilité. Ces étapes peuvent être, en cas de choix de deux concepts de la part du client, réalisées en double.
- soit le projet se rapproche d'un projet déjà traité auparavant. A ce moment, la demande de prix critique peut être lancée dès la fin de l'étape de demande d'étude, en parallèle des étapes A32 et A33 du diagramme précédent.

Le prix critique est la valeur du prix payé par le client pour chaque bouteille. Ce prix dépend de nombreux paramètres, qui sont intégrés dans une feuille de calcul type "Excel". On peut citer, comme données d'entrée de ce calcul : le nombre de bouteilles à produire, la masse de la goutte de verre utilisée, le rendement de la bouteille *i.e.* le rapport entre la masse de la goutte de verre et la masse de la bouteille, les éventuelles difficultés techniques sur le moule (tiroir pour un blason sur l'épaule par exemple). Anticiper cette demande de prix permet la consultation de l'usine avec tous les éléments nécessaires, même si le plan de détail n'est pas terminé. Une fois le plan terminé, cela permet la diffusion directe du plan sans validation complète du responsable BE et une économie, en moyenne, d'une journée de délai.

L'étape suivante surlignée en jaune, A32, marque la fin de la conception amont du produit. C'est une étape relativement lourde en échanges. En effet, c'est lors de cette étape que :

- le pré-plan va être généré, suite à un accord (ou non) lors d'une réunion avec le client et le designer.
- sont concentrées toutes les contraintes des différents métiers, présentées au chapitre 2.3.2, p.81. En effet, le client veut que la bouteille respecte l'esprit qui lui est cher, et le designer souhaite que l'harmonie de son travail soit suivie en priorité face aux contraintes techniques. Il s'agit donc d'une étape de collaboration et de compromis entre les parties prenantes. Un exemple de la complexité de cette phase nous est fourni par le responsable du BE, au sujet d'un autre projet que celui exposé ici, mais qui nous semble révélateur : lors de la conception d'une bouteille d'alcool fort pour un grand groupe, l'équipe de design de ce même groupe a envoyé sur place au BE pendant deux jours entiers un de ses membres car il y avait une variation entre son idéal stylistique et ce que le verrier pouvait fabriquer. Au final, les négociations portaient sur une réduction du diamètre de l'épaule de la bouteille de 1mm, soit un passage d'une masse de 1kg à 925g. Le choix final est remonté jusqu'au PDG du groupe...

Les RI générées au cours de cette étape sont :

- le pré-plan de la bouteille réalisé à l'aide de Pro-Engineer®, éventuellement simulé en éléments finis à l'aide de Pro-Mechanica®, puis diffusé au format pdf.
- une animation 3D de la bouteille, diffusée soit au format pdf3d soit au format e-drawing (fichier exécutable qui permet la visualisation 3d de pièces conçues avec un logiciel de CAO).
- une (ou plusieurs) image(s) de synthèse issue(s) de la maquette numérique (voir Figure 105 ci-dessous).
- éventuellement, si le client a du mal à visualiser les formes de la bouteille, un modèle 3D physique obtenu en prototypage rapide par dépôt filamentaire de plastique ABS.

- enfin, un formulaire texte de demande de diffusion du pré-plan, une fois le consensus obtenu.

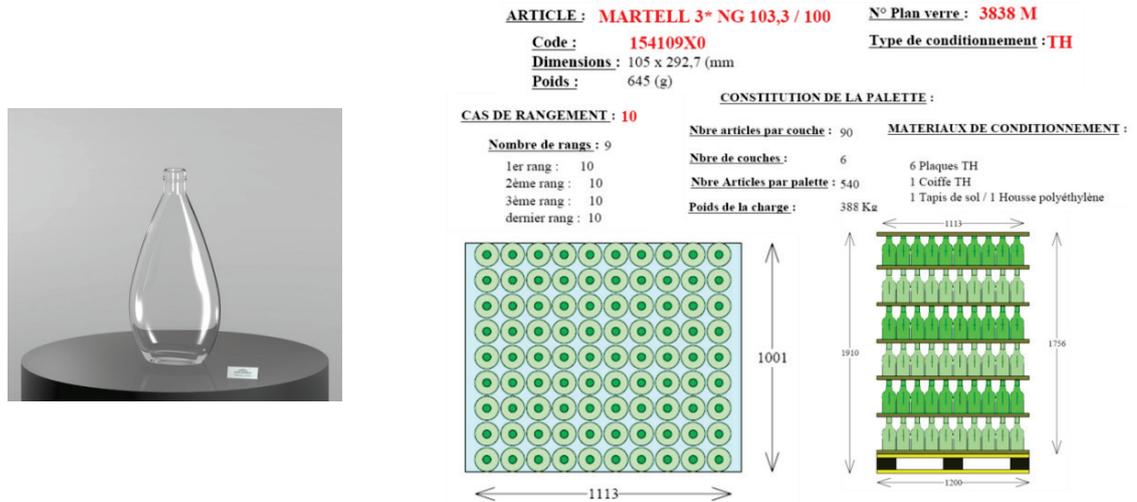


Figure 105 : image de synthèse d'une bouteille réalisée à partir du fichier CAO (à gauche), et étude de palettisation (à droite).

Ensuite vient la phase "Demander un essai verre" qui est elle aussi importante. En effet, elle regroupe la mise au point du plan article définitif ainsi que la réalisation des pré-plans moules en conséquence. Ainsi, les RI générées dans cette phase sont :

- les demandes de diffusion du plan final article, du pré-plan moule, ainsi que l'essai verre.
- le plan final article au format pdf.
- le pré-plan moule au format pdf.

Reste ensuite la phase de demande d'un prix critique, déjà explicitée plus haut, avant la réalisation de l'étude de conditionnement. Cette étude vise à savoir comment sont conditionnées les bouteilles, combien de bouteilles peuvent rentrer sur une palette, dans un camion etc. afin d'avoir une idée des coûts de transport liés à la conception de la bouteille. La RI générée ici est une étude de pré-palettisation, au format pdf dont un exemple est fourni sur la Figure 105 ci-dessus.

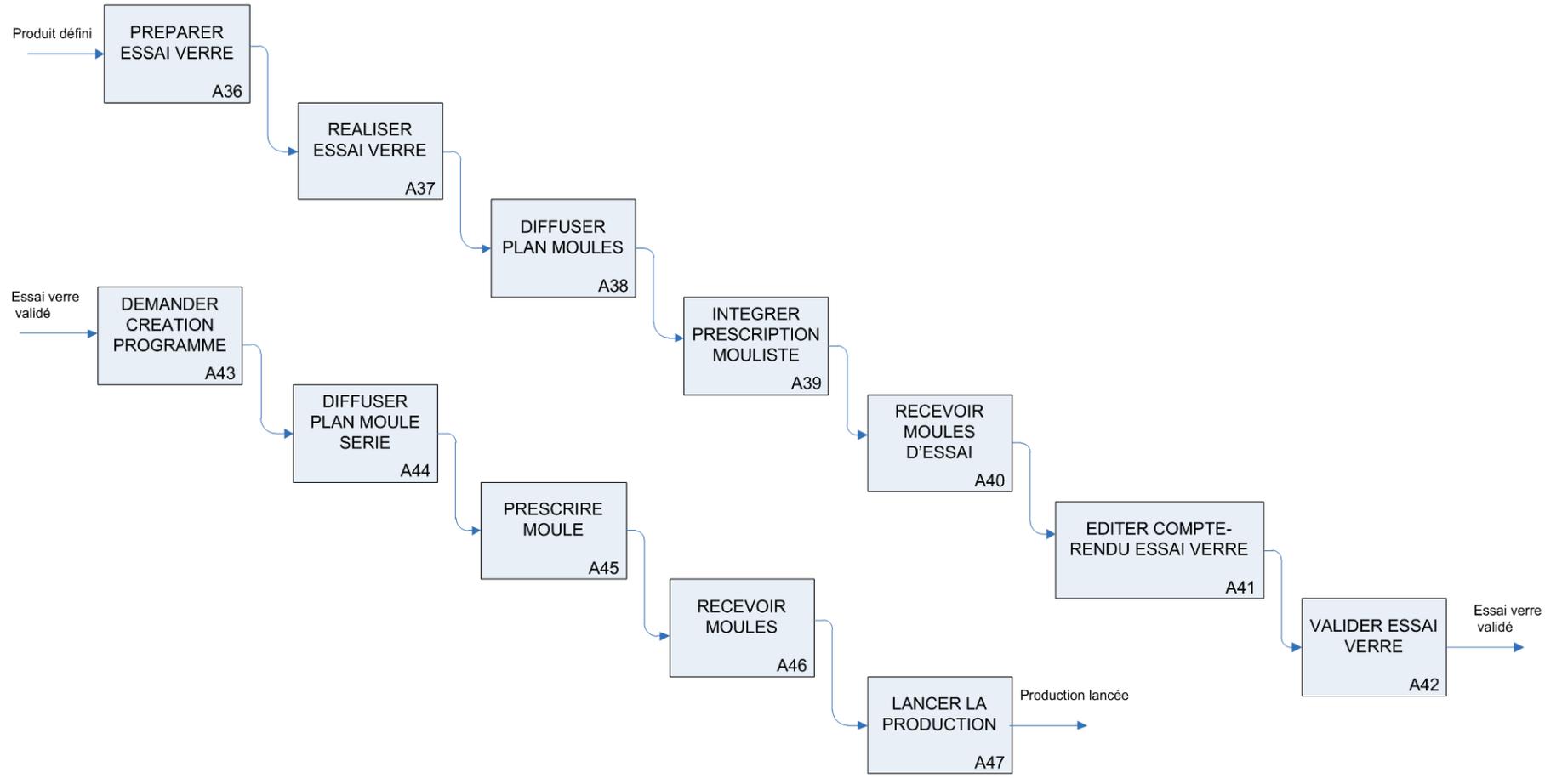
Le tableau ci-dessous fait la synthèse des différentes RI échangées au cours de la phase de définition du produit ainsi que celles spécifiques à la conception amont. Les RI indicées X&Y attribuent 0,5 point au facteur X et 0,5 point au facteur Y.

PHASE	T	I	P	Total RI
Définition produit	6,5	5,5	1	13
<i>dont conception amont</i>	2	3	1	6

**d. LA VALIDATION DU PRODUIT**

Les étapes de validation du produit sont présentées, de manière synthétisée sur la page suivante. Ces étapes ne seront pas plus longuement développées dans ce manuscrit étant donné qu'elles ne font pas partie de la conception amont. Nous jugeons cependant intéressant de donner au lecteur un aperçu de la totalité du processus de conception, jusqu'à l'industrialisation produit.

Validation du produit



## 2. IDENTIFIER LES PRINCIPALES REPRESENTATIONS INTERMEDIAIRES ECHANGEES ENTRE LES ACTEURS LORS DE CES PHASES

Le chapitre précédent nous a permis, en formalisant le processus de conception d'une bouteille, d'identifier les RI échangées au cours du processus de conception amont.

En faisant la synthèse des échanges, nous obtenons le Tableau 18 ci-après. En ce qui concerne la phase de définition du produit, seules les RI situées dans le périmètre de la conception amont sont considérées.

PHASE	Texte	Image	Physique	Total RI
Traduction besoin	2	0	0	2
Interprétation besoin	2	7	0	9
Définition produit amont	2	3	1	6
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>17</b>

Tableau 18 : synthèse des différentes RI échangées lors de la conception amont d'un produit verrier.

Nous en déduisons, que, dans le cadre de notre expérimentation, la RI privilégiée pour les échanges est du type "image". En effet, près de 60% des échanges de RI sont réalisés via ce media.

En analysant un peu plus finement les résultats obtenus, on remarque que 80% des RI échangées sous forme d'image le sont sous une forme informatisée (voir Tableau 19), c'est-à-dire qu'il s'agit d'un fichier informatique qui est la source de l'échange. Le rôle des outils informatiques est donc prépondérant dans les phases de développement amont du produit. Ceci nous encourage à proposer un outil collaboratif amont intégrant des RI numérisées (au sens "qui font partie de la chaîne numérique").

PHASE	Image	...dont papier	...dont informatisée
Interprétation besoin	7	2	5
Définition produit amont	3	0	3
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>8</b>

Tableau 19 : numérisation des RI, cas de Verallia.

Enfin, parmi les huit RI informatisées identifiées, trois seulement sont issus d'une CAO, soit environ 38%. Ceci nous montre donc que, dans le contexte étudié, un outil de CAO ne peut suffire à générer l'ensemble des RI nécessaires à la conception amont du produit. Il faudra plutôt se fonder sur d'autres RI telles que les images numérisées d'esquisses, ou encore les concepts sous forme de rendus réalistes.

## II. PHASE DE NUMERISATION

Une fois les principales RI analysées, notre objectif est de comprendre si toutes sont numérisées afin de les insérer dans un outil informatique (continuité de la chaîne numérique).

Nous avons listé dans le Tableau 20 ci-dessous les RI générées au cours du processus de conception de la bouteille "Beaumes de Venise". Nous retrouvons donc les dix-sept RI du processus de conception amont.

PHASE	NOM	TYPE	NUMERISABLE	NUMERISEE
Trad. besoin	Pré-Brief Mktg&Design	T	oui	non
	Brief Mktg&Design	T	oui	oui
Interprét. besoin	Descriptif valeurs	T	oui	oui
	Pré-forme bouteilles	I	oui	oui
	Charte couleur	I	oui	oui
	Planche inspirationnelles	I	oui	oui
	<b>Roughs papier (8)</b>	<b>I</b>	<b>oui</b>	<b>non</b>
	<b>Concepts papier (6 au propre)</b>	<b>I</b>	<b>oui</b>	<b>non</b>

	Concepts finalisés	I	oui	oui
	Choix concepts	I	oui	oui
	Evaluation prix	T	oui	oui
<b>Définition produit</b>	Demande étude	T	oui	oui
	Pré-plan bouteille	I	oui	oui
	Animation 3d	I	oui	oui
	Image synthèse BE	I	oui	oui
	<b>Prototypage Rapide</b>	<b>P</b>	<b>non</b>	<b>non</b>
	Demande diffusion plan article	T	oui	oui

Tableau 20 : listing des RI du produit générées au cours du processus de conception, cas de Verallia.

Nous remarquons, que seize des dix-sept RI générées, soit 94% sont numérisables. La seule exception est le modèle réalisé en prototypage rapide, qui n'est pas un obstacle majeur étant donné que cette RI peut être reproduite à partir de la pièce CAO de base, pour peu que l'on possède la machine adéquate. Ce résultat est significatif car nous déduisons qu'il n'y a presque pas d'obstacle à la numérisation complète du processus de conception.

Ensuite, nous remarquons qu'il y a deux RI qui sont numérisables, mais non numérisées à l'heure actuelle. Il s'agit des esquisses réalisées par l'agence de design. En effet, à l'heure actuelle, ces esquisses sont réalisées sous forme papier et aucune numérisation n'en est faite. Ce point n'est pas bloquant car nous pourrions par exemple scanner ces concepts afin de les stocker dans l'environnement collaboratif amont. Ainsi, ce type de RI peut avoir une grande importance afin de faire, par exemple, une pré-validation du caractère fabricable du produit.

Nous allons maintenant faire la synthèse de cette première expérimentation.

#### 4.3.2.3 SYNTHÈSE DE L'EXPÉRIMENTATION

Ce chapitre nous permet de faire une synthèse des premiers résultats issus de notre expérimentation 1, aux deux niveaux "Outils" puis "Modèle" que nous défendons (voir Figure 106). Nous rappelons que cette expérimentation 1 est fondée sur une approche descriptive, à base d'entretiens et qu'elle vise à décrire le processus de conception d'un produit, afin de comprendre plus particulièrement quelles sont les RI échangées, entre quels acteurs, dans quels délais et dans quels buts. De cette expérimentation émergent des types de RI clés, qui servent de support à la définition de l'environnement collaboratif amont.

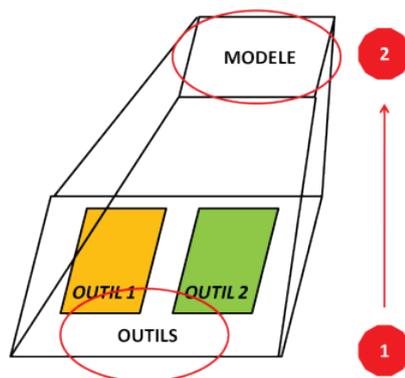


Figure 106 : synthèse de l'expérimentation 1, au niveau "Outils" puis au niveau "Modèle".

##### I. AU NIVEAU "OUTILS"

Notre première expérimentation nous a permis de mieux formaliser par quel cheminement l'équipe de conception passe du cahier des charges produit aux calques préliminaires de conception, ainsi que de

formaliser, à l'aide de l'outil SADT et de la méthodologie de conception développée par (Aoussat 1990), le processus de conception amont en identifiant les principales RI échangées entre les acteurs lors de ces phases.

Nous tirons de cette première expérimentation trois constats, qui sont utiles à la définition d'un environnement collaboratif amont :

- tout d'abord, la majorité des RI manipulées dans les phases de conception amont (60%) sont des fichiers de type image. Ceci tend à prouver que c'est donc l'image le type de RI clef de ces étapes de conception amont, dans le cas de Verallia.
- ensuite, les RI issues de la CAO ne sont pas majoritaires (38% des RI de type image). Cela signifie que, s'il faut intégrer dans l'environnement collaboratif amont des outils de visualisation, même légers (Ding et al. 2009), les représentations 3D ou planes issues de la CAO ne sont pas celles privilégiées comme vecteur d'information en conception amont.
- enfin, dans le cadre de la conception d'une bouteille en verre, il n'y a aucun obstacle à la numérisation totale du cycle de conception, ce qui serait bénéfique pour les développements à venir (Bernard et al. 2002).

A la suite de la phase de délimitation réalisée dans l'état de l'art, nous avons, lors de cette expérimentation 1 présenté les étapes d'Identification et de Formalisation ainsi que de Numérisation de notre protocole expérimental (voir Figure 107 ci-dessous). Afin d'avoir une vue d'ensemble du projet, la barre située en partie basse de la figure est destinée à quantifier le temps passé (et donc la masse totale de travail effectué) pour chacune des phases du modèle niveau "Outils" que nous défendons. Bien entendu, notre expérimentation avec Verallia et l'agence Terre-Neuve n'en est pas restée là. Nous avons par la suite développé un environnement de type CMS (Content Management System : technologie libre de création de site internet, largement utilisée et facilitant l'intégration des outils du web 2.0) répondant aux besoins des acteurs, puis codé un prototype de site internet que nous avons fait évaluer par les deux parties (Verallia et l'agence de design). Sous la contrainte du nombre de pages limité, et dans ce difficile exercice de rédaction de mémoire de thèse, qui force l'écrivain à un certain esprit de synthèse, ces travaux ne sont pas développés ici. Je tiens cependant à votre disposition l'intégralité des livrables fournis dans ces phases. Nous constatons que les phases d'Identification et de Formalisation puis de Numérisation constituent environ 30% du temps total. Par la suite, la partie Développement de l'environnement, quant à elle, représentera 60% du temps total, ce qui laissera assez peu de place aux tests et au REX.

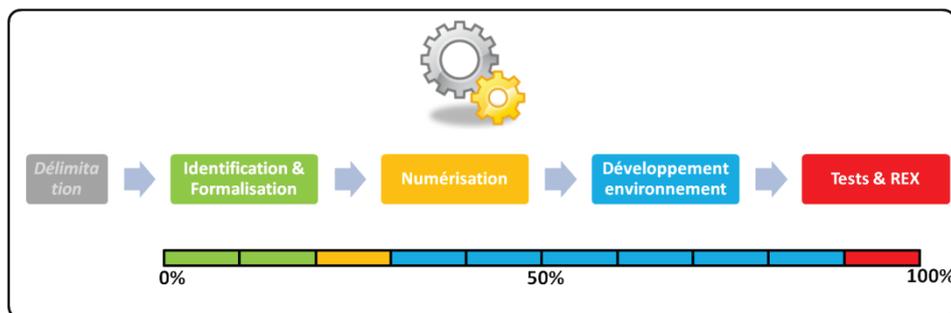


Figure 107 : répartition du temps au niveau "Outils" sur l'expérimentation 1.

Ainsi, un autre constat de cette expérimentation est que le codage et le développement "en dur", tel que celui réalisé pour cette première expérimentation, d'un outil d'ingénierie collaborative est très chronophage. Une capture d'écran de l'interface finale est présentée à la Figure 108 ci-dessous.

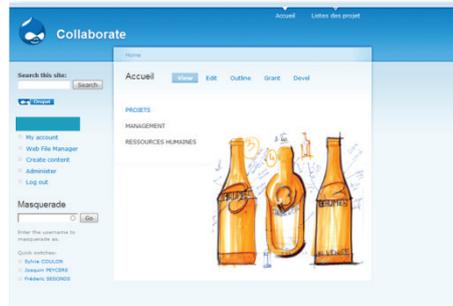


Figure 108 : prototype de site internet, développé en environnement CMS.

Nous verrons dans la suite de ce manuscrit que nous avons préféré pour nos futures expérimentations une méthode agile de développement.

## II. AU NIVEAU "MODELE"

Ensuite, en relation avec la démarche niveau "Modèle" que nous défendons dans cette thèse, les travaux menés lors de cette expérimentation nous permettent (voir Figure 109) :

- de produire un premier apport avec l'analyse *in situ* du développement d'un produit, ainsi que des outils supports en place tels DNP, en partant du constat qu'il y a des pertes de temps dues aux itérations de conception observées au chapitre 2.3.2, p.81.
- de préconiser des recommandations en vue de développer un prototype d'environnement collaboratif amont.

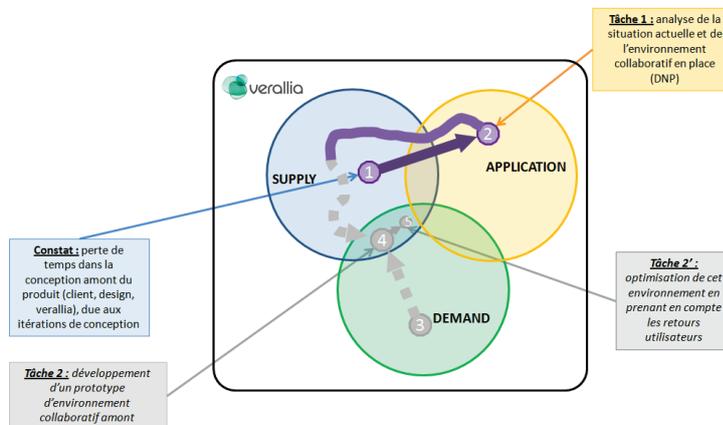


Figure 109 : démarche de définition d'un environnement collaboratif amont, niveau "Modèle", pour l'expérimentation 1.

La Figure 109 ci-dessus synthétise, en couleurs, les travaux présentés dans ce manuscrit et réalisés au cours de l'expérimentation 1. Nous grisons et mettons en pointillés les travaux réalisés dans la continuité de cet état des lieux, mais non intégrés dans ce manuscrit.

## DISCUSSION SUR... NOS APPORTS ET NOTRE POSITIONNEMENT PAR RAPPORT A LA PROBLEMATIQUE, AUX HYPOTHESES ET A LA BIBLIOGRAPHIE

Nous rappelons ici que notre problématique de recherche est la suivante : "Comment définir un environnement collaboratif multi-contraintes visant à favoriser le travail collectif dans le cadre de la conception amont ?". Afin de répondre à cette problématique, nous avons au cours de cette première expérimentation formalisé le cycle de développement d'un produit verrier. Ce travail nous a permis de valider les apports suivants :

- **Apport expérimental n°1** : la majorité des RI manipulées dans les phases de conception amont sont des fichiers de type image. Ceci tend à prouver que c'est donc l'image le type de RI clef de ces étapes de conception amont, dans le cas de Verallia. Parmi ces images, il existe deux types de RI du produit qui sont identifiées mais non numérisées. Celles-ci présentent cependant des caractéristiques importantes vis-à-vis de la conception et de la fabrication du produit mais ne sont pas diffusées.
- **Apport expérimental n°2** : dans le cadre de la conception d'une bouteille en verre, il n'y a aucun obstacle à la numérisation totale du cycle de conception.
- **Apport expérimental n°3** : l'analyse *in situ* du développement d'un produit, ainsi que des outils supports en place tels DNP nous permet de préconiser des recommandations en vue de développer un prototype d'environnement collaboratif amont

L'objectif de cette première expérimentation est de valider la pertinence de notre première hypothèse de recherche. En effet, afin de favoriser la définition d'un environnement collaboratif amont, nous faisons l'hypothèse que les RI échangées au cours du processus de conception doivent être identifiées et numérisées pour devenir un vecteur d'information efficace. Ainsi, notre objectif explicite pour valider cette première hypothèse est non seulement d'identifier les RI échangées, mais également de s'assurer que celles-ci sont facilement intégrables dans un environnement virtuel. Plus spécifiquement, nous pensons qu'il est possible de définir des RI supports de l'activité amont de conception.

- **Positionnement n°1 par rapport à H1** : nous validons ici le fait que les RI doivent être identifiées avant d'être intégrées dans le processus de conception, mais également que leur numérisation est un préalable nécessaire. Plus spécifiquement, nous pensons qu'il est possible de définir des RI supports de l'activité amont de conception, compréhensibles et utilisables par chaque acteur.
- **Positionnement n°2 par rapport à H1** : plus spécifiquement, nous montrons que les RI manipulées dans les phases de conception amont sont des fichiers de type image. Ceci tend à prouver que c'est donc l'image le type de RI clef, compréhensible et utilisable par chaque acteur de ces étapes de conception amont, dans le cas de Verallia.

Cette première expérimentation nous permet également de conforter notre positionnement par rapport à la bibliographie réalisée dans le cadre de l'état de l'art.

- **Par rapport aux travaux de (Noël et al. 2003) et de (Tseng et al. 2008)** : nous confirmons notre positionnement par rapport à ces travaux. En effet, notre terrain expérimental montre que les suites logicielles intégrées ne sont pas l'unique solution afin de concevoir un produit de manière collaborative. Dans le cadre de Verallia et l'agence Terre-Neuve, l'intégration d'une solution unique ne répondrait pas aux besoins des entreprises car les cultures métiers sont trop différentes : le contexte culturel et environnemental dans lequel l'outil aura à s'intégrer est donc primordial.
- **Par rapport aux travaux de (Micaëlli et al. 2003)** : notre expérimentation nous confirme que, au sein des projets de conception routinière, les projets de construction (*i.e.* visant à proposer une variante d'un produit existant), sont les plus à même, vis-à-vis des projets d'amélioration, d'être le support d'un environnement collaboratif amont car ils font intervenir des acteurs pluridisciplinaires.

Afin de répondre plus précisément à notre problématique de recherche et d'élargir le spectre des produits analysés, nous allons maintenant détailler notre deuxième expérimentation, en lien avec l'entreprise textile Devanlay.

### 4.3.3 DEVANLAY : EXPERIMENTATION 2

Au cours de cette expérimentation, nous montrons l'importance de l'identification et de la formalisation du processus de conception du produit, ainsi que de la numérisation des RI générées tout au long du processus de conception. Nous montrons que le type de RI le plus échangé est toujours de type "Image", et proposons une méthode de détermination des RI clefs du processus. Ensuite, nous recensons les contraintes métiers qui sont utiles en vue de valider notre deuxième hypothèse. Enfin, nous constatons le fait que, dans les grandes entreprises habituées aux processus de conception collaborative distribués, les RI qui peuvent être numérisées et partagées le sont, même si le domaine de la mode laisse une grande place au prototype physique. Ce travail est réalisé dans le cadre de la création d'un produit textile, et reprend la suite de notre état de l'art des pratiques industrielles de la 2<sup>ème</sup> partie.

#### 4.3.3.1 PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Nous sommes pour cette expérimentation dans une phase descriptive du processus de conception, couvrant la conception d'un produit textile (voir Figure 110), impactant un panel de trois cents personnes réparties entre les différents sites de Devanlay. L'expérimentation 2 est complémentaire de la première sur de nombreux critères (time to market allant de quelques semaines à plusieurs mois ; nombre d'acteurs différent d'un ordre de grandeur, types de collaboration et organisation des entreprises différents etc.), et elle nous permet de généraliser nos premiers constats.

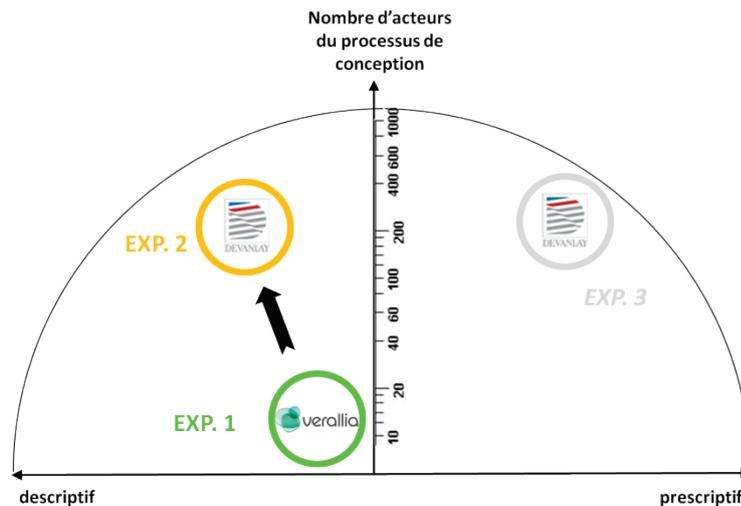


Figure 110 : positionnement de l'expérimentation 2, en orange.

Comme présenté au chapitre 2.3.2, p.81, les principaux acteurs en présence lors de la conception amont d'un vêtement textile chez Devanlay sont :

- les designers "style", rattachés au département Marketing style.
- les designers "produit", rattachés au département Marketing produit, qui font le lien entre le style et le développement produit.
- enfin, les ingénieurs du département "système d'informations", qui, même s'ils ne sont pas acteurs au quotidien de la conception amont, coordonnent les flux de données échangés entre les acteurs. Ils font partie du département Marketing SI.

Dans le cadre de l'expérimentation que nous avons menée, nous avons eu accès à un panel de six personnes représentatif de ces métiers (voir Tableau 21 ci-dessous), avec lesquelles nous avons mené deux séries d'entretiens. La première série avait pour objectif de cerner les moyens de communication utilisés à l'heure actuelle au sein de l'entreprise afin de faire un état des lieux des pratiques collaboratives, et des manques éventuels en terme d'environnement support. Les résultats ont été présentés dans une partie précédente.

Département	Poste
mktg style	Styliste Accessoire / Responsable CAO Assistant styliste Sportwear Homme
mktg produit	Chef de produit Enfant Assistante Chef de produit Live
mktg SI	Responsable mktg et collection Chef de projet mktg et collection

Tableau 21 : panel pour les entretiens réalisés chez Devanlay.

N.B. L'emploi, chez Devanlay du terme CAO signifie Création Assistée par Ordinateur, et non Conception Assistée par Ordinateur. Cela recouvre donc les logiciels de création et d'édition 2D type Illustrator®, InDesign® etc.

La deuxième série d'entretiens semi-dirigés est réalisée au siège de Devanlay, à Paris. La partie amont de la conception, telle que définie au chapitre 2.3.2.2. est du domaine quasi-exclusif du site Paris. La trame des entretiens réalisés, présentée sur le Tableau 22, est identique à celle utilisée chez Verallia. Ainsi, les données issues de ces deux séries d'entretiens seront directement comparables. Elle regroupe tous les thèmes abordés durant l'interview et permet de fixer un cadre à la discussion. Le but est de réaliser un état des lieux des pratiques des pôles métiers impliqués au cours du développement amont d'une collection. Ainsi, les principaux objectifs de nos entretiens sont :

- d'identifier les acteurs, les méthodes et les outils intervenant durant le cycle de création/développement d'une collection.
- d'établir une cartographie des échanges pour la collaboration.
- de définir un environnement collaboratif adapté aux méthodes, pour l'entreprise Devanlay.
- de relever les contraintes de chaque métier afin de les intégrer dans la conception d'un outil support.

Description du travail	Position dans le cycle de conception	Rôle	Tâches à effectuer		
Données traitées	Types de données	A quel moment?	Création ou Modification	Reçu de qui?/ Envoyé à qui?	Formats d'origine et après modif.
Outils utilisés	Logiciels professionnels utilisés	Logiciels de communication	Autres?		

Tableau 22 : trame d'entretien semi-dirigé mené chez Devanlay.

Cette trame regroupe les sujets abordés pendant l'échange. La durée des entretiens est fixée à trente minutes maximum, temps nécessaire et suffisant pour un recueil d'information conséquent sans perturber le fonctionnement des équipes de création/développement. Cette durée permet également de rencontrer un panel de personnes le plus significatif possible, dans chacun des métiers intervenant durant la conception amont d'une collection. Les entretiens sont enregistrés (avec accord des participants) à l'aide d'un magnétophone, afin de compléter la prise de notes et permettre le traitement des informations après l'intervention. Cette méthode de recueil d'information permet aussi à l'interviewer d'écouter



<b>mktg produit</b>	Recueillir les données du marché. Analyser les ventes des saisons précédentes. Structurer la collection en lien avec le style. Collaborer à la création des modèles avec le style. Etablir les documents de collection.
<b>mktg SI</b>	Sélectionner des logiciels de création adaptés aux besoins. Sélectionner les outils de base de données. Mettre en place les espaces de stockage avec des arborescences conçues pour respecter les critères de hiérarchisation de la collection. Garantir la qualité et la fiabilité des informations transmises.

Tableau 23 : intervenants et rôle au sein de la conception amont.

#### A. PAR QUEL CHEMINEMENT L'EQUIPE DE CONCEPTION PASSE DU CAHIER DES CHARGES PRODUIT AUX CALQUES PRELIMINAIRES DE CONCEPTION ?

Cette série d'entretiens permet de définir les grandes étapes de la conception d'un produit nouveau. Une analyse des acteurs présents, de leurs données d'entrée/sortie ainsi que des outils qu'ils utilisent est réalisée.

Il ressort de ces entretiens un point commun, une grande partie des données traitées sont des images, RI privilégiée dans le secteur textile. Les images telles que le croquis ou le dessin papier tiennent une place importante dans la transmission des informations au cours du cycle de développement d'un produit, et encore plus dans la conception amont d'une collection.

Afin d'identifier les RI clefs du processus de conception, c'est-à-dire celles le plus à même de supporter des échanges collaboratifs entre différents métiers, nous proposons de réaliser une cartographie des RI échangées. De cette manière, les principales RI fruits d'échanges multiples seront au cœur de cette cartographie. La Figure 112 illustre la cartographie des RI échangées au cours des premières phases de conception. Elle dresse un état des lieux des principaux intervenants de la conception amont d'une collection (marketing produit et style ; le marketing SI ayant un rôle de soutien logiciel, il n'apparaît pas ici), avec en bout de chaîne le développement produit situé à Troyes, chargé de toute la partie développement et fabrication.

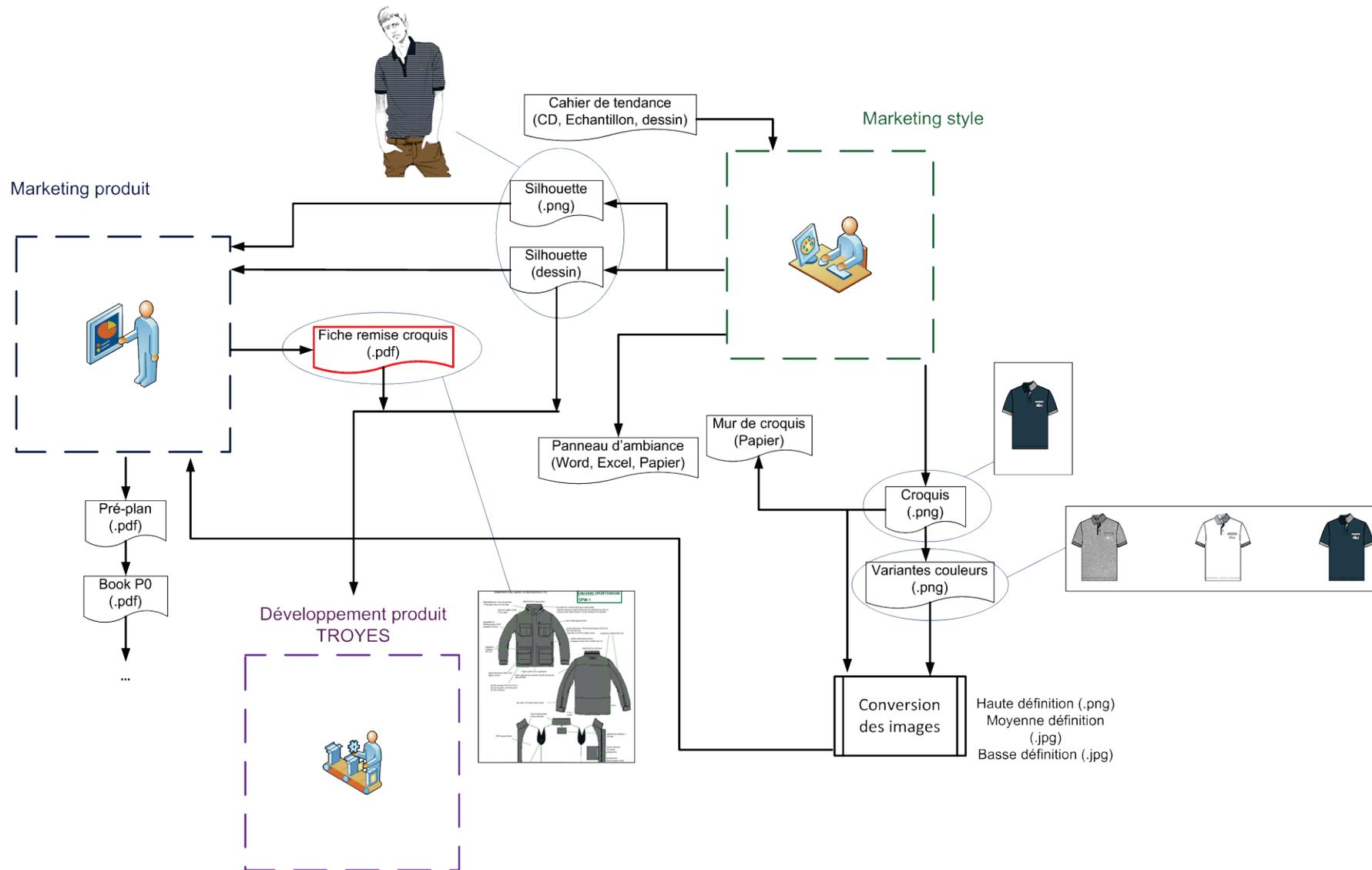


Figure 112 : cartographie des images échangées

Le département du marketing style, situé en haut à droite de l'image, a pour objectif de fournir trois principaux livrables, à partir de cahiers de tendances qui sont propres à l'entreprise et issus des analyses de tendances. Ces livrables sont, par ordre chronologique :

- les panneaux d'ambiances qui créent un univers autour du produit.
- les croquis, ainsi que les variantes couleurs, qui sont les images du futur vêtement. L'ensemble des croquis est regroupé par thème sur un mur de croquis afin de permettre aux designers d'avoir une vision d'ensemble de la collection.
- les silhouettes qui mettent en situation des croquis sur une silhouette de personnage, différente en fonction de l'univers concerné.

Ensuite, les images croquis générées sont converties afin d'être implémentées dans le SGDT propre à l'entreprise. La transformation peut se faire selon trois formats en fonction de l'objectif recherché (haute définition, moyenne définition ou basse définition).

L'ensemble de ces données est transféré au département du marketing produit dont la tâche principale est de générer, pour chaque article, une fiche remise croquis. Cette remise croquis (en rouge sur la Figure 112) intervient lorsque les modèles sont représentés et validés par le marketing produit. On y retrouve toutes les informations du produit (description détaillée, dimension, matières, fournitures, ...). Les équipes de style (les stylistes) et les chefs de produit se déplacent alors à Troyes, avec ces documents ainsi que les silhouettes générées par le marketing style dans l'objectif de lancer la conception du produit, et ainsi de commander les prototypes.

En parallèle, le marketing produit génère un pré-plan produit qui regroupe toutes les dimensions nécessaires à la réalisation des prototypes, ainsi que le "Book P0" qui recense tous les articles de la collection.

Nous pouvons identifier, grâce à cette formalisation graphique, que les RI clefs, au centre de tous les échanges entre les trois départements sont : les croquis, la fiche remise croquis, ainsi que la silhouette du futur produit (entourés sur la Figure 112). Nous en déduisons donc qu'un outil collaboratif amont doit permettre un accès et une collaboration efficace autour de ces trois RI du produit en cours de développement.

Cette première approche, qui synthétise la vision d'ensemble du développement d'un vêtement, est complétée par une formalisation plus pointue du processus afin d'analyser précisément les RI générées.

#### B. ANALYSE DES CONTRAINTES METIERS A PRENDRE EN COMPTE LORS DE LA CONCEPTION D'UN OUTIL COLLABORATIF AMONT

Lors de nos entretiens, nous avons pu comprendre les métiers des personnes interrogées, et également les contraintes liées à ces métiers. Nous entendons par contraintes les principaux éléments spécifiques liés à leur travail quotidien, et qui sont donc à intégrer dans les spécifications d'un environnement collaboratif amont. A titre d'exemple, une contrainte métier des designers sondés est "que l'outil permette l'intégration de documents issus de logiciels métiers".

Nous dressons dans le Tableau 24 ci-dessous une liste des contraintes métiers à prendre en compte, en vue de leur intégration dans un outil collaboratif amont.

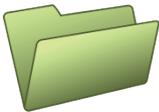
CONTRAINTES METIER	MARKETING PRODUIT (11 $\sigma$ )	MARKETING STYLE (5 $\sigma$ )	MARKETING SI (10 $\sigma$ )
<b>COLLABORATION</b>  <b>(8 <math>\sigma</math>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Communication par mail.</li> <li>• En cas d'urgence, utilisation de la visioconférence.</li> <li>• <i>Pour les essayages, nécessité de toucher la matière.</i></li> <li>• <i>Déplacement à Troyes pour la remise croquis.</i></li> <li>• <i>Chefs produits en lien avec Troyes.</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail collaboratif sur remise croquis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Annotations prises à la main sur image.</li> <li>• Problème de standardisation des documents de communication.</li> </ul>
<b>TACHES</b>  <b>(7 <math>\sigma</math>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Faire le lien entre les stylistes et le chef de produit.</i></li> <li>• Rôle de création des données et références produits.</li> <li>• Pré-plans en interne, livre de coloris pour commerciaux, plan de collection en interne.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail centré sur la représentation du produit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Métier = garantir la fiabilité des informations transmises.</i></li> <li>• Accès rapide et aisé à l'information dans le monde entier.</li> <li>• Information juste, bien saisie, image source à jour.</li> </ul>
<b>OUTILS</b>  <b>(11 <math>\sigma</math>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documents sous InDesign ou sur Illustrator (rarement).</li> <li>• <i>Côté développement, point de départ = croquis.</i></li> <li>• SGDT peu intuitif dans le rendu de l'information, difficile à lire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eviter multiplication des données.</li> <li>• Mise à jour simple à prévoir.</li> <li>• InDesign et illustrator (Adobe Creation).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un utilisateur Marketing produit a besoin outil intuitif.</li> <li>• Impossibilité de prendre en compte l'esthétique.</li> <li>• Système de base de données ne permet pas de générer de l'information subtile comme les annotations.</li> <li>• Pas d'endroit où l'on recense l'ensemble des annotations.</li> <li>• Idéal = une seule source d'information à utiliser.</li> </ul>

Tableau 24 : contraintes métiers des acteurs de la conception amont.

Nous avons classifié les contraintes métiers en trois catégories distinctes :

- "collaboration" : cette ligne présente les huit principales contraintes métiers citées lors de nos entretiens en lien direct avec les méthodes de collaboration actuellement utilisées chez Devanlay. Par exemple, on trouve ici le fait que le marketing produit communique essentiellement par mail lors de la conception du vêtement.
- "tâches" : cette catégorie comprend les sept principales contraintes métiers liées à la tâche quotidienne des personnes sondées. Par exemple, l'assistant chef de produit doit faire le lien permanent entre les stylistes et la chef de produit.
- "outils" : cette ligne présente les onze principales contraintes métiers vis-à-vis de l'utilisation des outils actuellement mis en œuvre chez Devanlay. Par exemple, le marketing style souhaite une mise à jour simplifiée des données, et il utilise les logiciels InDesign® et la suite logicielle Adobe Création®.

Ce sont donc au total vingt-six contraintes métiers identifiées, dans l'objectif de les intégrer lors du développement d'un prototype d'outil collaboratif amont. Cependant, il convient de noter que, si toutes ces contraintes métiers sont importantes vis-à-vis du processus de conception, certaines (six en l'occurrence) ne sont pas directement liées au développement d'environnement que nous envisageons, mais décrivent plutôt le rôle de l'acteur au quotidien. Celles-ci ne sont donc pas intégrables dans un quelconque outil collaboratif. Nous les présentons en italique dans le Tableau 24.

Ainsi, les vingt contraintes métiers restantes sont fondamentales et nécessaires à intégrer dans le développement d'un démonstrateur de logiciel. Il s'agit, certes, d'une petite partie du cahier des charges de développement, mais ces contraintes métiers ainsi que le processus de conception amont formalisé nous permettent d'émettre des propositions en lien avec les attentes des utilisateurs finaux.

**C. ANALYSE FONCTIONNELLE D'UN OUTIL SUPPORT A UN ENVIRONNEMENT COLLABORATIF AMONT**

Les résultats des entretiens semi-dirigés précédents nous assurent la validation du besoin d'un outil support à la collaboration amont chez Devanlay. Le recueil des besoins nous permet également de définir des contraintes métiers, qui se traduisent naturellement par des fonctions contraintes dans notre Analyse Fonctionnelle Externe, regroupées en sept thèmes sur le diagramme pieuvre de la Figure 113 ci-après.

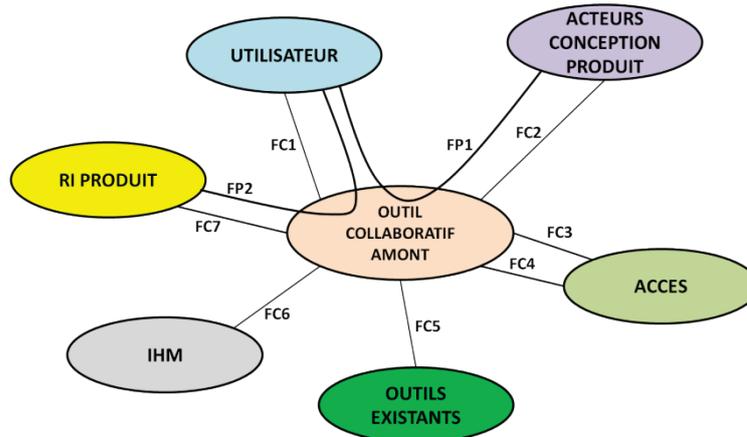


Figure 113 : diagramme pieuvre de l'outil support à la collaboration amont.

Les fonctions principales et contraintes attendues sont présentées sur le Tableau 25 ci-dessous.

FONCTIONS		INDICE
<b>FONCTIONS PRINCIPALES</b>	Permettre la collaboration entre acteurs	FP1
	Permettre un accès aux RI du produit	FP2
<b>FONCTIONS CONTRAINTES</b>	Permettre la visioconférence	FC1
	Permettre le travail collaboratif d'annotation sur remise croquis	FC2
	Permettre l'accès distant et rapide à l'information	FC3
	Gérer les droits d'accès	FC4
	Permettre l'intégration des outils existants	FC5
	Avoir une IHM conviviale et efficiente	FC6
	Permettre l'intégration des RI aux formats appropriés	FC7

Tableau 25 : fonctions principales et contraintes d'un outil collaboratif amont appliqué au domaine du textile.

Nous définissons deux fonctions principales de notre outil :

- "Permettre la collaboration entre acteurs" : pour cela, nous veillons à intégrer les fonctionnalités de communication les plus courantes issues des entretiens. L'outil support ne doit pas, en effet, être un frein à la communication mais il doit au contraire la favoriser.
- "Permettre un accès aux RI du produit" : comme nous l'avons vu, les RI du produit, en particulier les images, sont un vecteur important de communication et doivent donc être accessibles facilement pour les acteurs de la conception amont.

Nous recensons également sept fonctions contraintes :

- l'outil proposé doit permettre de faire des visioconférences.
- l'outil doit permettre le travail collectif par annotations sur croquis.
- il doit permettre également un accès distant, rapide et aisé aux informations contenues. En effet, certains fournisseurs n'ont pas forcément l'accès haut débit à internet et il faut donc choisir de manière précise le type de RI stocké, son format ainsi que sa taille (généralement proportionnelle à sa lourdeur) en Mo.
- l'outil doit permettre une gestion des droits d'accès, en fonction de rôles prédéterminés. Par exemple, un sous-traitant n'a qu'un droit de consultation d'une partie de la base de données alors qu'un chef de produit peut extraire toutes les données relatives aux produits concernés.
- il doit permettre l'intégration des outils métiers actuellement utilisés chez Devanlay. Pour cela, des liens entre l'outil et ces logiciels sont à prévoir. Ainsi, si la majorité des designers travaillent avec le logiciel InDesign®, un lien vers celui-ci sera intégré à l'outil. Les fichiers sources générés seront également importables et visualisables.
- il doit avoir une IHM conviviale et efficiente. Nous entendons par conviviale une interface simple au design attractif et respectant l'esprit de l'entreprise. Par efficiente, nous privilégions un accès rapide à la donnée et une mise en valeur des fonctionnalités les plus courantes sans avoir recours à une arborescence complexe.
- enfin, l'outil doit permettre une intégration des RI aux formats appropriés, c'est-à-dire à ceux des RI générées au cours du processus de conception et numérisables.

En synthèse, l'Analyse Fonctionnelle Externe de l'outil collaboratif amont nous permet de cerner les fonctions attendues du système. La formalisation du processus de conception facilite, quant à elle, la proposition de solutions en accord avec les habitudes en place.

#### D. IDENTIFIER LES REPRESENTATIONS INTERMEDIAIRES ET FORMALISER LE PROCESSUS DE CONCEPTION AMONT

##### 1. FORMALISER LE PROCESSUS DE CONCEPTION AMONT

Un premier état des lieux du processus amont de développement d'une collection a permis de délimiter les différentes phases comprises dans "l'analyse et la structuration de la collection" et la "définition des produits", définies comme étapes de la conception amont dans un chapitre précédent. Le but de cette seconde étape est d'identifier et de formaliser le processus de développement de produit.

L'actigramme de la Figure 114 ci-dessous présente la fonction principale du processus que nous allons maintenant étudier en détail. La fonction de l'entreprise Devanlay est de concevoir une collection de vêtements afin de satisfaire ses clients.

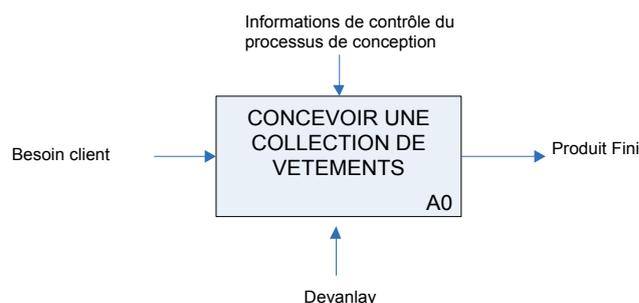


Figure 114 : fonction principale du processus étudié.

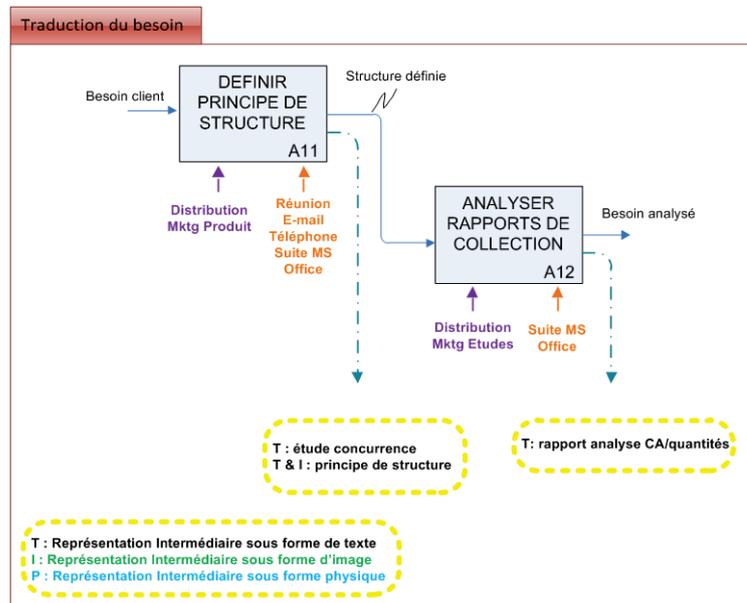
A l'image de l'expérimentation précédente nous mettons en œuvre les diagrammes SADT modifiés présentés Figure 101, page 132.

Enfin, nous consignons en partie basse du SADT global les RI générées au cours de la phase concernée, en les classant en trois catégories distinctes :

- T : représentation intermédiaire générée sous forme de Texte.
- I : représentation intermédiaire générée sous forme d'Image.
- P : représentation intermédiaire générée sous forme d'objet Physique.

De la même manière que pour notre première expérimentation, chacune des quatre phases du processus de conception de (Aoussat 1990) représentée à la Figure 102, page 133, est détaillée afin de mieux comprendre le déroulement de la conception d'un vêtement.

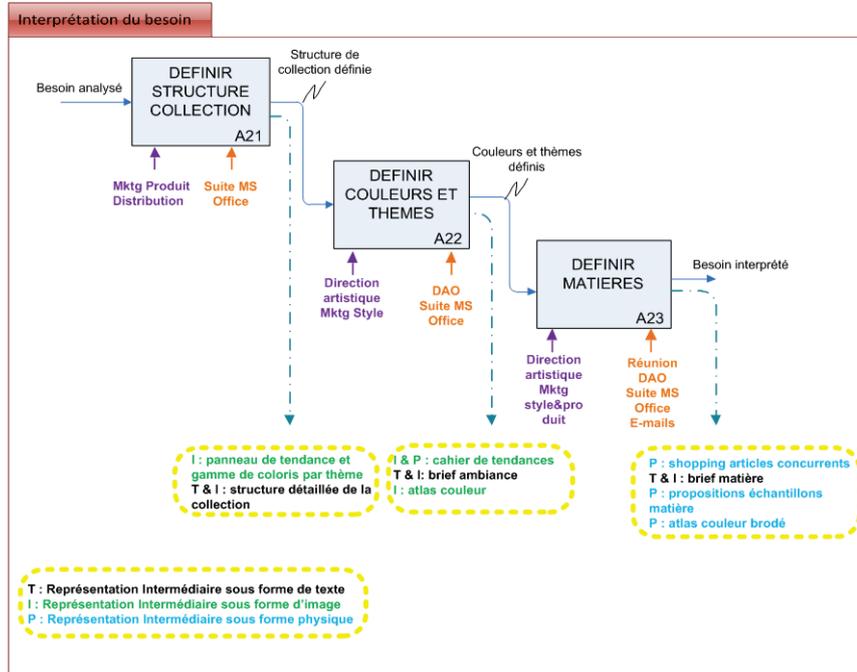
**a. TRADUCTION DU BESOIN**



Cette phase de traduction du besoin implique tout d'abord de définir un principe de structure de collection. Pour cela, la branche distribution (chargée de l'analyse des ventes) ainsi que le marketing produit réalisent une étude de la concurrence et analysent les quantités vendues lors de la saison S-1. Un rapport complété avec les CA générés est conçu, et les quantités à produire pour la nouvelle saison sont fixées. Le tableau ci-dessous fait la synthèse des différentes RI échangées au cours de la phase de traduction du besoin :

PHASE	T	I	P	Total RI
Traduction besoin	2,5	0,5	0	3

## b. INTERPRÉTATION DU BESOIN



Durant cette phase d'interprétation du besoin, l'objectif est de définir une structure de collection détaillée, ainsi que les couleurs et thèmes adoptés pour la saison à venir. Enfin, les matières utiles à la confection de la collection de vêtements doivent être choisies.

Pour cela, plusieurs RI sont générées, principalement par la direction artistique de l'entreprise ainsi que les marketings style et produit :

- un panneau de tendance et une gamme de coloris par thème : un panneau de tendance est un élément se rapprochant des planches de tendances utilisées par les designers (Bouchard 1997). Le but est de rassembler sur le même support des photos d'objets inspirant la même tendance (par exemple, la tendance "zen"). Ainsi, en amont de la création du produit par le styliste, les équipes marketing concrétisent les tendances du marché afin de faire ressortir les couleurs et les matières de la prochaine collection. Ces idées sont partagées au cours de réunions "Recherche axes matières". A partir de ce moment, une liste de matières et une liste de codes couleur sont transmises à la plateforme de développement pour la recherche de fournisseurs.
- la structure détaillée de collection : il s'agit d'un document pdf présentant l'ensemble des ramifications de la collection à venir, avec toutes les déclinaisons de formes/modèles envisagées.
- un cahier de tendances qui est un mélange d'images et de données physiques comme des objets et des échantillons, toujours à destination des designers.
- un brief ambiance qui décrit l'esprit des ambiances et des thèmes avec leur gamme de coloris.
- un atlas couleur, document issu d'un logiciel de DAO qui recense la définition de l'ensemble des couleurs de la saison.
- des articles achetés lors de sessions de shopping afin de faire une analyse des produits et matières utilisés par les concurrents.

- un brief matière, document word qui décrit les matières utilisées sur les vêtements en fonction des thèmes et ambiances. Pour la matière, le responsable envoie aux fournisseurs la liste des matières demandées. Les fournisseurs répondent sur leur capacité à fabriquer cette matière (possibilité, stock, quantité minimum de fabrication, prix) et proposent un échantillon. Celui-ci est testé visuellement par le responsable matière (apparence, toucher).
- un atlas couleur brodé : il s'agit d'une présentation exhaustive d'échantillons couleur en petit piqué (type de maille), collés sur une carte de coloris. Ce document permet d'identifier d'éventuelles différences entre la teinte "à l'écran" et le résultat une fois le tricotage réalisé. Dans cette optique, le responsable couleur Maille transmet la liste des codes couleurs aux fournisseurs de tissus. Ceux-ci renvoient quatre échantillons de tissus colorés (taille : 4x6cm) qui sont testés visuellement grâce à une machine émettant une lumière blanche afin de différencier les nuances de couleur. Ils sont commentés ou approuvés par le responsable couleur. La validation des couleurs prend environ dix jours et peut nécessiter jusqu'à quatre séries d'échantillons. Les coloris sont validés définitivement lors de la réception de la palette couleur envoyée par le fournisseur.

Le tableau ci-dessous fait la synthèse des différentes RI échangées au cours de la phase d'interprétation du besoin :

PHASE	T	I	P	Total RI
Interprétation besoin	1,5	4	3,5	9

### **C. DEFINITION DU PRODUIT**

La phase de définition du produit a pour objectif de définir le Cahier Des Charges (CDC) des prototypes de vêtements avant de réaliser ces prototypes et de les valider lors d'une réunion commune à tous les départements concernés.

Lors de cette phase, les principaux acteurs de la conception sont le marketing style et produit ainsi que le développement produit, situé à Troyes.

La première phase de définition des vêtements vise à générer les fiches croquis "vierges", c'est-à-dire non annotées et validées par le développement produit. Les outils utilisés sont la DAO ainsi que le papier/crayon pour les premiers croquis. C'est également lors de cette étape que l'on génère les silhouettes en fonction de l'univers concerné. Ensuite, un outil de travail des designers est le mur de croquis sur lequel on vient accrocher tous les croquis de la collection en cours afin d'observer l'harmonie de la collection, dans son ensemble. Enfin, la fiche remise croquis définit le produit dans ses fonctions marketing, techniques, forme et matière.

La deuxième phase de définition du CDC prototype a pour objectif d'optimiser les fiches croquis en les annotant. C'est ici une partie cruciale du processus de développement, où les acteurs écrivent tous leurs commentaires sur les fiches remises croquis. A l'heure actuelle, il n'y a pas d'archivage ou de traçabilité de ces annotations et aucun outil d'annotation automatisé n'a été implémenté. Ainsi, les fiches remises croquis annotées n'ont pas de forme standard. La Figure 115 en montre quelques exemples, issus du même document qui fait la synthèse de toutes les fiches remises croquis. Sur ce document, on retrouve divers types de représentations du vêtement, depuis le rendu des outils de DAO (polo rayé de gauche), au croquis annoté manuellement, au vêtement sur silhouette voire une photo du produit (à droite). Ce constat est important car nous rappelons que dans le cadre de la définition d'un environnement collaboratif amont, le processus de génération des RI doit être cadré afin d'éviter la redondance des informations sur des

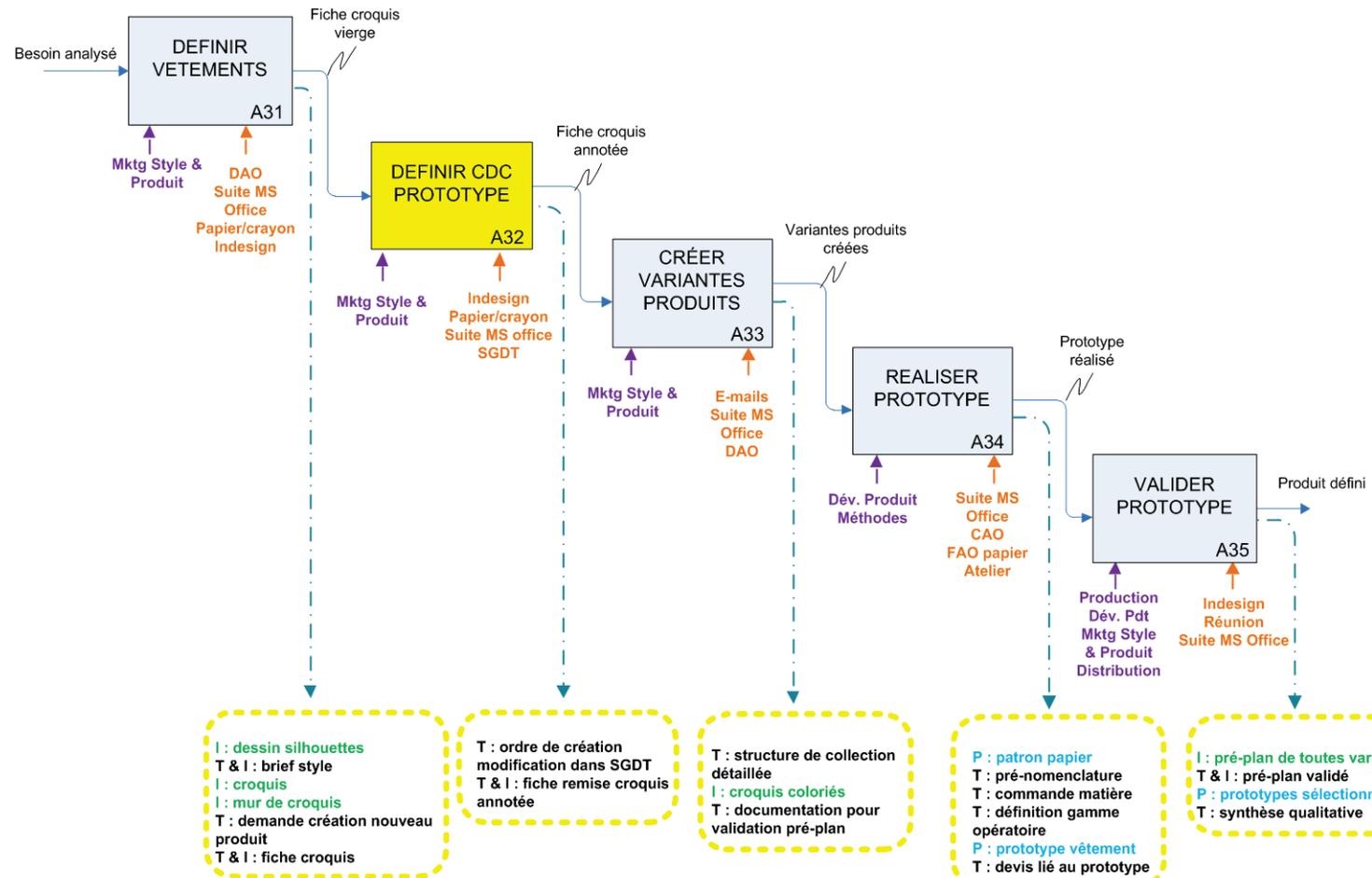
supports différents. Il conviendra donc d'harmoniser les pratiques de rédaction des fiches croquis. A titre d'exemple, la réception par les sites de fabrication des dossiers comprenant ces RI se fait, à l'heure actuelle, de manière laborieuse : cela génère l'échange d'en moyenne cinq mails par article pour vérifier que les informations sont comprises sur site, et autant lors de la réception des commentaires... Cette étape de définition du CDC produit marque la fin de la conception amont du vêtement.



Figure 115 : exemples de la diversité des fiches de remise croquis.

La troisième phase a pour objectif de créer des variantes de produits, par exemple en changeant le coloris. Une fois toutes les variantes réalisées, la structure de collection globale peut être éditée ainsi que la documentation en vue de la réalisation du prototype.

## Définition du Produit



T : Représentation Intermédiaire sous forme de texte  
 I : Représentation Intermédiaire sous forme d'image  
 P : Représentation Intermédiaire sous forme physique

Enfin, les deux dernières étapes ont pour but de réaliser et valider les prototypes. Ces prototypes sont fabriqués dans un atelier du site de Troyes. Ils sont conçus à partir d'un patron papier. Ensuite, la matière est commandée et une gamme opératoire de fabrication est préparée.

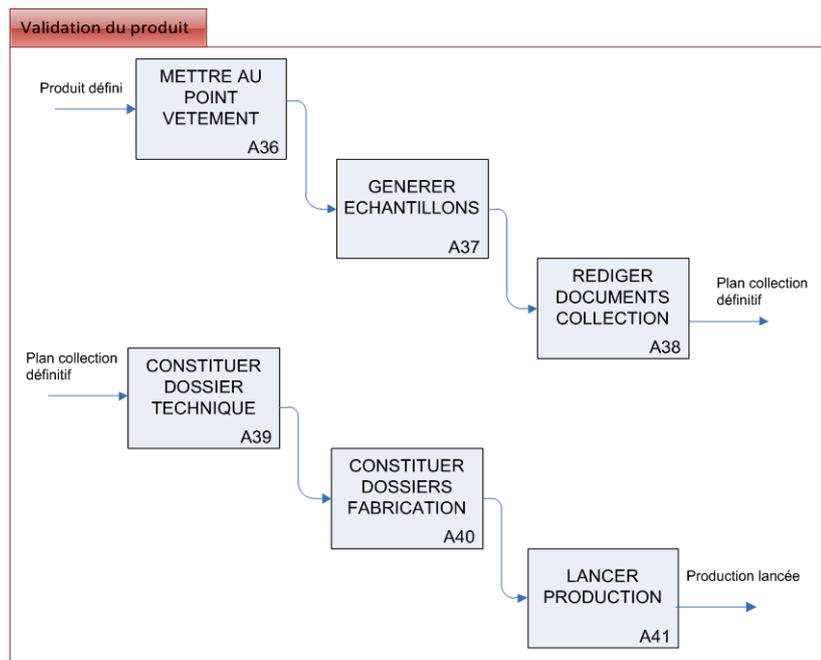
Une sous-étape, non présentée ici, qui complète le développement d'un produit est la recherche des fournitures de conception (boutons, fermeture-éclair, logo etc.). Un échantillon ou une description de l'objet est envoyé pour la fabrication du prototype. Le responsable des fournitures procède à une recherche de fournisseurs ; en général, c'est le fournisseur du produit qui l'approvisionne en fournitures. Les fournitures trouvées sont approuvées en interne, puis envoyées au fournisseur du produit pour qu'elles soient cousues. Elles sont validées ou commentées par les départements français lors des essayages des prototypes. Une fois le prototype de vêtement monté, celui-ci est envoyé au siège de Devanlay accompagné du devis, pour essayages et validation par l'équipe projet. A l'échelle de toute la collection, cela représente plusieurs dizaines de vêtements prototypes. Une synthèse qualitative sur les prototypes reçus est rédigée par l'ensemble des acteurs présents aux réunions de validation. Les prototypes sélectionnés seront ensuite industrialisés.

Le tableau ci-dessous fait la synthèse des différentes RI échangées au cours de la phase de définition du produit, ainsi que lors de la conception amont c'est-à-dire jusqu'à la phase A32 incluse :

PHASE	T	I	P	Total RI
<b>Définition produit</b>	11	7	3	21
<i>dont conception amont</i>	3,5	4,5	0	8

#### d. LA VALIDATION DU PRODUIT

Les étapes de validation du produit sont présentées, de manière synthétisée sur la figure suivante. Ces étapes ne seront pas développées dans ce manuscrit étant donné qu'elles ne font pas partie de la conception amont. Nous jugeons cependant intéressant de donner au lecteur un aperçu de la totalité du processus de conception, jusqu'à l'industrialisation produit.



## 2. IDENTIFIER LES REPRESENTATIONS INTERMEDIAIRES

Les chapitres précédents nous ont permis, en formalisant le processus de conception d'un vêtement, d'identifier les RI échangées au cours du processus de conception amont.

En faisant la synthèse des échanges, nous obtenons Tableau 26 suivant :

PHASE	Texte	Image	Physique	Total RI
Traduction besoin	2,5	0,5	0	3
Interprétation besoin	1,5	4	3,5	9
Définition produit amont	3,5	4,5	0	8
<b>TOTAL</b>	<b>7,5</b>	<b>9</b>	<b>3,5</b>	<b>22</b>

Tableau 26 : synthèse des échanges de RI, cas de Devanlay.

Nous en déduisons, que, dans le cadre de notre expérimentation, la RI privilégiée pour les échanges est du type "image". En effet, environ 40% des échanges de RI sont réalisés via ce media. Cependant, nous remarquons que cette RI est moins utilisée que pour la conception d'une bouteille (on obtenait alors 60%). Ceci s'explique par le fait que de nombreuses RI de type "texte" sont également générées chez Devanlay (34%). Notre positionnement afin d'expliquer le nombre important de RI du type "texte" est que, comme nous l'avons analysé dans notre synthèse des pratiques industrielles, le processus de conception amont a été réalisé par une extension des pratiques du développement produit, basé à Troyes. Il en découle une série de pratiques (rédactions de notes de synthèse, demande d'ordre de création dans le SGDT) qui peuvent parfois être relativement consommatrices de temps, sans avoir une efficacité prouvée sur la qualité du produit final. Ceci est d'autant plus vrai que l'architecture support de ce SGDT est principalement orientée vers le document, plus que vers le produit en lui-même. Nous pensons qu'un environnement collaboratif amont basé sur une RI clef, telle que celle identifiée à la Figure 112 serait en tout point profitable aux acteurs de la conception amont. C'est ce que nous démontrerons au travers de la troisième expérimentation. Nous constatons également le rôle marqué des RI à base de représentation physique du produit ou de la matière, à hauteur de 16% des RI totales. Ceci s'explique par le fait que le secteur du textile laisse une grande part au toucher du vêtement et privilégie les échantillons "réels" aux images de synthèse afin de le caractériser. En terme de recommandations dans la conception d'un environnement collaboratif amont, cela implique forcément un affaiblissement de la chaîne numérique globale étant donné que ce genre de pièce n'est pas numérisable facilement. Cependant, il faut noter que ces RI sont généralement destinées à un seul service (pas de pluridisciplinarité pour ces RI), qui est souvent situé dans un même lieu.

En analysant plus finement les résultats obtenus, on remarque que 90% des RI images échangées le sont sous une forme informatisée, c'est-à-dire que c'est un fichier informatique qui est la source de l'échange. Par exemple, en ce qui concerne les fiches remises croquis annotées, il s'agit d'une image annotée à la main mais qui est scannée afin d'être intégrée au dossier du produit. Dans notre volonté de développer un environnement collaboratif amont, centré sur les RI, celle-ci est donc potentiellement indexable et visible dans l'outil support. La seule RI à ne pas l'être est le mur de croquis. On comprend aisément que l'objectif même de ce mur est d'avoir une vision d'ensemble de la collection et que ceci ne peut être numérisé en vue d'une telle utilisation sur un ordinateur personnel. Le rôle des outils informatiques est néanmoins prépondérant dans les phases de développement amont du produit. Ceci nous encourage à proposer un outil collaboratif amont intégrant des RI numérisées (au sens "qui font partie de la chaîne numérique").

PHASE	Image	...dont papier	...dont informatisée
Traduction besoin	0,5	0	0,5
Interprétation besoin	4	0	4
Définition produit amont	4,5	1	3,5
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>8</b>

Tableau 27 : numérisation des RI, cas de Devanlay.

Enfin, parmi les huit RI informatisées identifiées (voir Tableau 27), aucune n'est issue de la CAO, au sens où nous l'entendons. En effet, le domaine de la CAO appliquée au textile est encore assez peu exploré par les éditeurs de solutions logicielles car le rendu réaliste et les simulations de comportement des vêtements sont délicats.

## II. PHASE DE NUMERISATION

Une fois les principales RI analysées, notre objectif est de comprendre si toutes sont numérisées afin de les insérer dans un outil informatique.

Nous avons listé dans le Tableau 28 ci-dessous les RI générées au cours du processus de conception d'un vêtement.

PHASE	NOM	TYPE	NUMERISABLE	NUMERISEE
Trad. besoin	Etude concurrence	T	oui	oui
	Principe de structure	T&I	oui	oui
	Rapport analyse CA/qtés	T	oui	oui
Interprét. besoin	Panneau tendance + coloris	I	oui	oui
	Structure détaillée collection	T&I	oui	oui
	<b>Cahier de tendances</b>	<b>I&amp;P</b>	<b>non</b>	<b>non</b>
	Brief ambiance	T&I	oui	oui
	Atlas couleur	I	oui	oui
	<b>Shopping</b>	<b>P</b>	<b>non</b>	<b>non</b>
	Brief matière	T&I	oui	oui
	<b>Proposition échantillons</b>	<b>P</b>	<b>non</b>	<b>non</b>
	<b>Atlas couleur brodé</b>	<b>P</b>	<b>non</b>	<b>non</b>
	Définition produit	Dessins silhouettes	I	oui
Brief style		T&I	oui	oui
Croquis		I	oui	oui
<b>Mur de croquis</b>		<b>I</b>	<b>non</b>	<b>non</b>
Demande création NP		T	oui	oui
Fiche croquis		T&I	oui	oui
Ordre modification SGDT		T	oui	oui
Fiche remise croquis annotée		T&I	oui	oui

Tableau 28 : listing des RI du produit générées au cours du processus de conception.

Nous remarquons, que dix-sept des vingt-deux RI générées, soit 77% sont numérisables. En comparaison avec Verallia (94%), ce processus de conception est donc plus difficilement numérisable. Par contre, toutes les données numérisables ont été numérisées. C'est le signe d'une volonté de travailler le plus possible en conception collaborative distribuée.

#### 4.3.3.3 SYNTHÈSE DE L'EXPERIMENTATION 2

Cette partie nous permet de faire une synthèse des premiers résultats issus de notre expérimentation 2, aux deux niveaux "Outils" puis "Modèle" que nous défendons (voir Figure 116). Nous rappelons que cette expérimentation 2 est fondée sur une approche descriptive, à base d'entretiens et qu'elle vise à décrire le processus de conception d'un produit, afin de comprendre plus particulièrement quelles sont les RI échangées, entre quels acteurs, dans quels délais et dans quels buts. De cette expérimentation ont émergé des RI clefs, qui servent de support à la définition de l'environnement collaboratif amont.

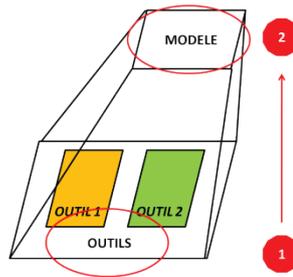


Figure 116 : synthèse de l'expérimentation 2, au niveau "Outils" puis au niveau "Modèle".

##### I. AU NIVEAU "OUTILS"

Cette deuxième expérimentation nous a permis de mieux comprendre par quel cheminement l'équipe de conception passe du cahier des charges produit aux calques préliminaires de conception, ainsi que de formaliser, à l'aide de l'outil SADT et de la méthodologie de conception développée par (Aoussat 1990), le processus de conception amont et identifier les principales RI échangées entre les acteurs lors de ces phases.

Nous tirons de cette deuxième expérimentation trois constats, qui sont utiles à la définition d'un environnement collaboratif amont :

- tout d'abord, les RI de type "Image" manipulées dans les phases de conception amont prennent encore une place importante. Cependant, les RI de type "Physique" sont plus développées que dans l'expérimentation précédente. Ceci tend à prouver que :
  1. c'est l'image la RI clef des étapes de conception amont, et plus particulièrement celles au cœur des échanges dans notre cas sont les croquis, la fiche de remise croquis ainsi que les silhouettes comme cela a été montré à la Figure 112, p.150.
  2. cependant, un environnement collaboratif amont appliqué au domaine du textile ne peut pas couvrir l'intégralité des RI présentées. En effet, celles de type "Physique" qui ont trait au toucher ne sont en aucun cas modélisables, mais ont une portée limitée.
- ensuite, les RI de type "Texte" sont également plus développées que dans l'expérimentation précédente. Nous émettons l'hypothèse que la quantité importante de RI de ce type est due à l'histoire du développement des systèmes d'informations de l'entreprise qui étaient, à l'origine, plus orientés vers la phase de conception détaillée. Les outils des phases amont sont une simple extension de ces outils, sans qu'on ait réellement redéfini les besoins propres à ces étapes.
- enfin, nous constatons que la nature du produit, ainsi que son temps de mise sur le marché influent assez peu sur le nombre de RI générées au cours du processus de conception, et ce quel que soit le

nombre de personnes concernées. Ainsi, nous avons dix-sept RI générées sur l'expérimentation 1 (douze acteurs de la conception) et vingt-deux RI générées sur l'expérimentation 2 (plusieurs centaines d'acteurs). Certes, cette remarque doit être consolidée par des études complémentaires mais il s'agit ici d'un premier constat intéressant.

A la suite de la phase de délimitation réalisée dans l'état de l'art, nous avons, lors de cette expérimentation 2 présenté la partie Identification et Formalisation puis Numérisation de notre protocole expérimental. Afin d'avoir une vue d'ensemble du projet, la barre située en partie basse de la Figure 117 est destinée à quantifier le temps passé (et donc la masse totale de travail effectué) pour chacune des phases du modèle niveau "Outils" que nous défendons.

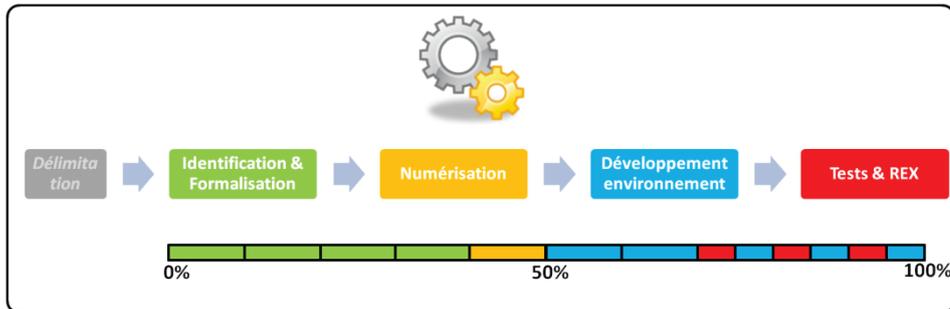


Figure 117 : répartition du temps au niveau "Outils" sur l'expérimentation 2.

Lors de ce projet, la répartition du temps est assez différente de celle du projet précédent (voir Figure 109, p 144). Nous avons, pour les étapes Identification et Formalisation puis Numérisation, passé environ 50% du temps à définir de manière la plus claire possible les processus. Ceci est principalement dû à la complexité du processus et des échanges entre les différents services de l'entreprise. En comparaison la même tâche nous avait seulement pris 30% pour l'expérimentation n°1. Nous verrons également que l'étape de développement est ici plus rapide, grâce à la méthode agile employée.

## II. AU NIVEAU "MODELE"

Enfin, en relation avec la démarche globale que nous défendons dans cette thèse, les travaux menés lors de cette expérimentation nous ont permis (voir Figure 118) les constatations suivantes :

- Partant du constat que le time to market des produits Devanlay était important en comparaison d'autres fabricants de textile, notre premier apport consiste en l'analyse *in situ* du développement d'un produit, afin de formaliser le processus de conception dans le domaine du textile.
- Nous avons ensuite préconisé des recommandations en vue de développer un prototype d'environnement collaboratif amont. En particulier, les RI clefs de ce processus de conception sont les croquis, la fiche de remise croquis ainsi que les silhouettes, éléments centraux de la collaboration amont. Nous avons constaté que les outils d'annotation montrent un intérêt tout particulier et veillons donc à l'intégrer dans les spécifications de notre prototype d'outil.

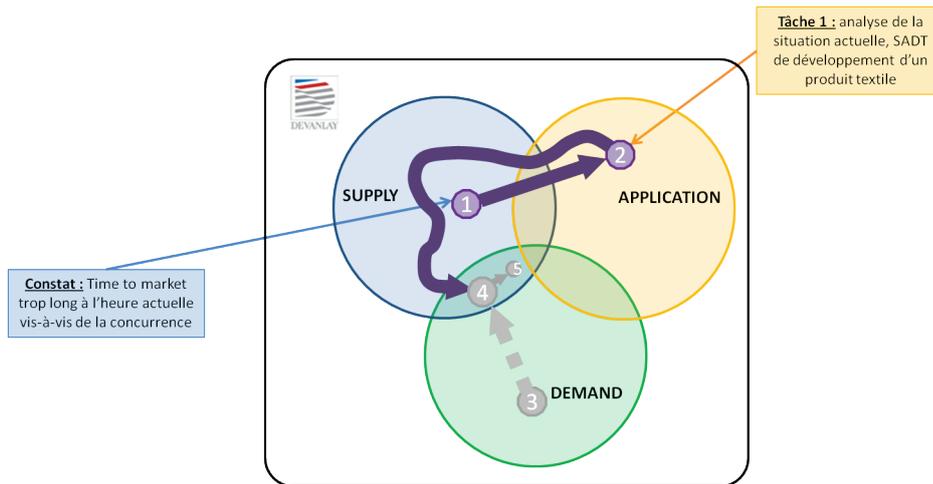


Figure 118 : démarche de définition d'un environnement collaboratif amont, niveau "Modèle", pour l'expérimentation 2.

Ainsi, le cas de Devanlay est un terrain expérimental riche car :

- un environnement couvrant tous les acteurs de la conception amont est déjà en place, contrairement à Verallia. Dans le cadre du développement d'un prototype d'environnement collaboratif, cela nous permettra de faire facilement une comparaison de type avant/après afin de quantifier notre apport.
- la collaboration se fait à grande échelle (plusieurs centaines de personnes concernées par l'outil), d'où un nouveau défi technique à franchir après celui, plus modeste mais formateur, relevé avec Verallia.

C'est pourquoi nous nous intéressons, dans une troisième et dernière expérimentation, au développement ainsi qu'à l'optimisation d'un outil support à l'environnement collaboratif amont, dans le cadre d'un projet textile de grande ampleur.

#### DISCUSSION SUR... NOTRE POSITIONNEMENT PAR RAPPORT A LA PROBLEMATIQUE ET AUX HYPOTHESES

Nous rappelons ici que notre problématique de recherche est la suivante : "Comment définir un environnement collaboratif multi-contraintes visant à favoriser le travail collectif dans le cadre de la conception amont ?". Afin de répondre à cette problématique, nous avons au cours de cette deuxième expérimentation formalisé le cycle de développement d'un produit textile. L'objectif de cette deuxième expérimentation est de valider la pertinence de notre première hypothèse de recherche : lors de la définition d'un environnement collaboratif amont, les RI échangées au cours du processus de conception doivent être identifiées et numérisées pour devenir un vecteur d'information efficace. Ainsi, notre objectif explicite pour valider cette première hypothèse est non seulement d'identifier les RI échangées, mais également de s'assurer que celles-ci sont facilement intégrables dans un environnement informatique. Plus spécifiquement, nous pensons qu'il est possible de définir des RI supports de l'activité amont de conception, compréhensibles et utilisables par chaque acteur.

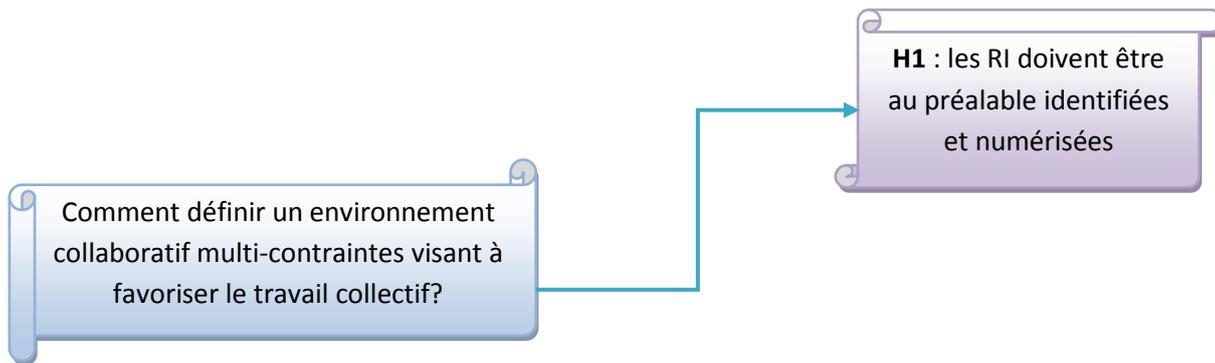
- **Positionnement n°1 par rapport à H1 :** nous validons ici le fait que les RI doivent être identifiées afin d'être intégrées dans le processus de conception, mais également que leur numérisation est, lorsqu'elle est possible, un préalable nécessaire. Cependant, toutes les RI ne peuvent être numérisées et cela ne représente pas un obstacle majeur car elles sont le support à une collaboration "locale", pour un service centralisé par exemple.

- **Positionnement n°2 par rapport à H1** : nous confirmons que les principales RI manipulées dans les phases de conception amont sont des fichiers de type image. Ceci prouve que c'est donc l'image le type de RI clef, compréhensible et utilisable par chaque acteur de ces étapes de conception amont, dans le cas de Devanlay. Nous proposons une méthode de définition de ces RI clefs, fondée sur une cartographie des échanges.

#### 4.3.4 SYNTHÈSE DES EXPERIMENTATIONS 1 ET 2

En synthèse, ces deux premières expérimentations nous permettent d'apporter les premiers éléments de réponse à notre problématique de recherche, et de valider en partie par des expérimentations de terrain notre première hypothèse.

Pour mémoire, le schéma ci-dessous rappelle notre problématique ainsi que notre première hypothèse de recherche.



Nous défendons dans nos travaux le fait que, préalablement au développement d'un environnement collaboratif, les RI échangées lors de la conception du produit doivent être identifiées, et, si possible, numérisées. Enfin, nous affirmons qu'il est possible de définir des RI supports de l'activité amont de conception, ou RI clefs, compréhensibles et utilisables par chaque acteur, support de la collaboration.

Nous avons montré au cours de ces deux premières expérimentations :

- que la formalisation du processus de conception et l'identification des principales RI échangées facilite la vision d'ensemble des spécifications que doit remplir l'environnement collaboratif en question.
- que toutes les RI échangées ne sont pas numérisées, sans que cela constitue un obstacle majeur à la collaboration car ces RI sont souvent à portée "locale", c'est-à-dire que ce sont des données qui servent à un service centralisé et non à tous les acteurs du projet. Cependant, ceci peut représenter un frein à la numérisation complète du processus de conception. Nous notons que, dans les structures de grande ampleur (*i.e.* les grands groupes par exemple), la numérisation du processus est déjà grandement avancée, et que tout ce qui est actuellement numérisable est numérisé.
- Les RI principalement échangées lors de la conception amont du produit sont des images. Ce vecteur d'information est donc à privilégier dans un développement d'environnement amont et

nous proposons dans l'expérimentation 3 un environnement collaboratif appliqué au domaine du textile entièrement construit autour d'une RI clef que nous avons identifiée : le croquis.

Ainsi, nous avons démontré par deux études de terrain que les RI doivent être au préalable identifiées, et si possible numérisées, afin de pouvoir définir un environnement collaboratif multi-contraintes visant à favoriser le travail collectif, ce qui valide en partie notre première hypothèse. De plus, nous avons, grâce aux entretiens semi-dirigés, validé le besoin d'un environnement collaboratif amont.

---

#### DISCUSSION SUR... NOTRE POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE

Ces deux premières expérimentations nous permettent également de conforter notre positionnement par rapport à la bibliographie réalisée dans le cadre de l'état de l'art.

- **Par rapport aux travaux de (Noël et al. 2003) et de (Tseng et al. 2008)** : nous confirmons notre positionnement en accord avec ces travaux. En effet, notre terrain expérimental montre que les suites logicielles intégrées ne sont pas l'unique solution afin de concevoir un produit de manière collaborative. Dans le cadre de Verallia et de l'agence Terre-Neuve, l'intégration d'une solution unique ne répond pas aux besoins des entreprises car les cultures métiers sont trop différentes. Chez Devanlay, l'histoire du développement de l'entreprise a amené à privilégier une extension des outils dédiés aux phases plus "aval" de la conception. Il n'y a donc pas de suite collaborative intégrée, ce qui ne nuit en rien aux échanges. Ainsi, le contexte culturel et environnemental dans lequel l'outil aura à s'intégrer est primordial.
- **Par rapport aux travaux de (Micaëlli et al. 2003)** : nos expérimentations nous confirment que les projets de construction, *i.e.* visant à proposer une variante d'un produit existant, sont les plus à même d'être le support d'un environnement collaboratif amont car ils font intervenir des acteurs pluridisciplinaires. En effet, les projets d'optimisation dans le cas du textile (simple changement de coloris, ou pas de changement du tout) ne mobilisent pas tous les acteurs de la conception amont.

Nous allons maintenant décrire notre troisième expérimentation qui vise à développer un environnement collaboratif amont appliqué au cas de Devanlay.

## 4.4 VERS UN DEVELOPPEMENT PRESCRIPTIF D'UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL COLLABORATIF CENTRE SUR LES RI PRENANT EN COMPTE LES CONTRAINTES METIERS (EXP. 3)

### 4.4.1 OBJECTIFS ET PROTOCOLE DE L'EXPERIMENTATION 3

Le besoin d'un environnement collaboratif amont a été validé par nos deux premières expérimentations. L'objectif de cette troisième expérimentation est de développer une maquette fonctionnelle dynamique de l'outil support de l'environnement collaboratif amont, dans le cadre de notre partenariat avec l'entreprise Devanlay, à partir des constats effectués précédemment (RI échangées, workflow du processus identifié, fonctions attendues). L'outil, appelé "**CoTeEn**", pour **C**ollaborative **T**extile **E**nvironment, alors maqueté, pourra être testé lors de la dernière étape d'évaluation de la solution. Dans notre cas, cette démarche est fondée sur des itérations successives afin d'arriver à une solution qui réponde au mieux aux attentes de l'utilisateur final.

Pour atteindre cet objectif, le protocole opérationnel (niveau "Outils") que nous prônons est constitué de cinq phases rappelées sur la Figure 119 ci-dessous.

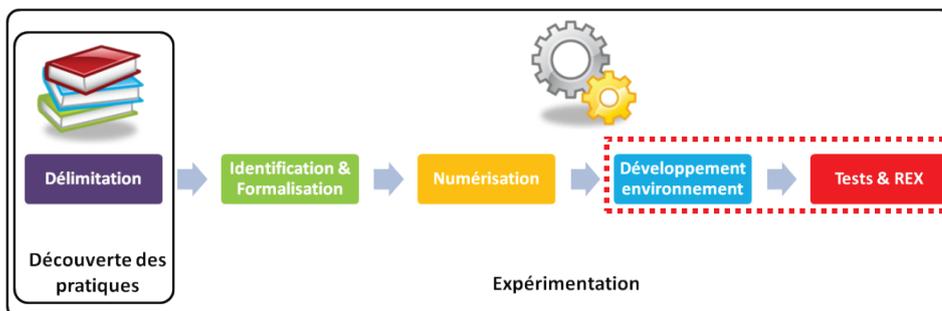


Figure 119 : démarche opérationnelle niveau "Outils", en cinq phases.

Les phases de Délimitation, d'Identification et de Formalisation puis de Numérisation ont été réalisées lors de notre état de l'art des pratiques industrielles et des deux premières expérimentations. Viennent ensuite la phase de développement informatique de l'environnement puis les tests et les retours d'expérience de la part des utilisateurs. Ces deux dernières phases (encadrées en rouge sur la Figure 119) sont détaillées dans les chapitres suivants.

La Figure 120 ci-dessous synthétise quant à elle notre protocole expérimental pour cette troisième expérimentation. Il s'agit d'un développement détaillé des étapes de "Développement de l'environnement" ainsi que des "Tests et REX".

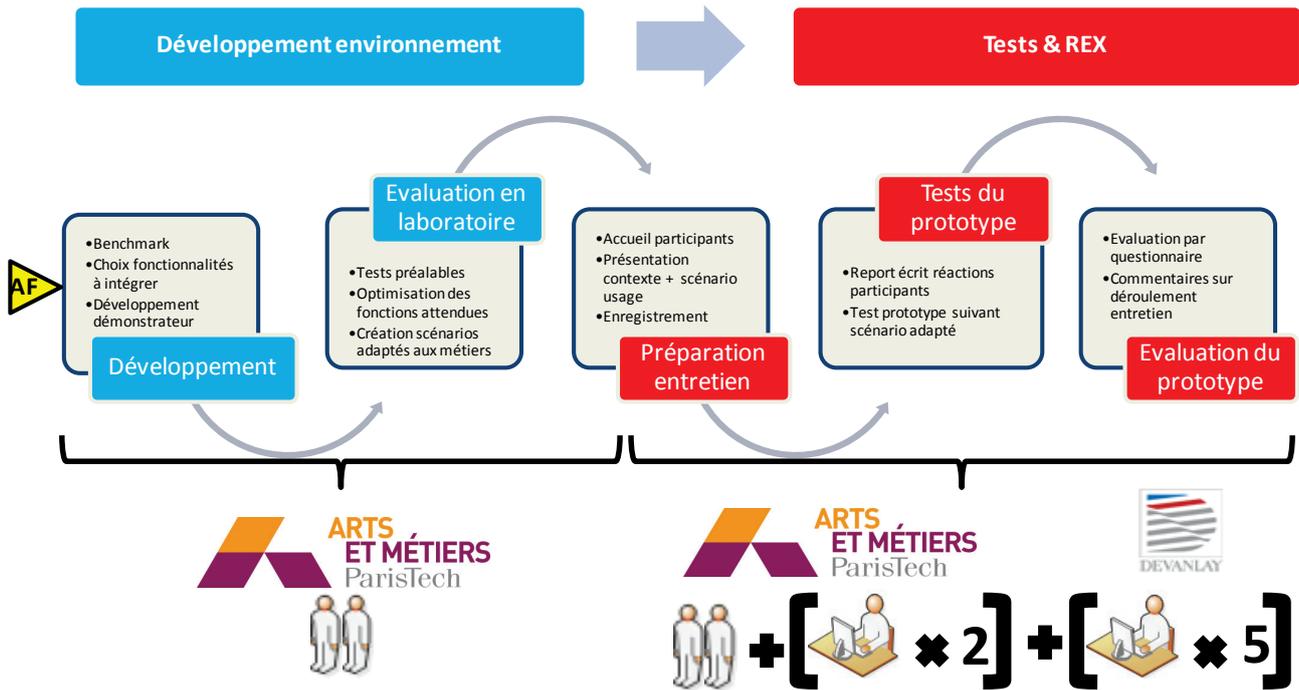


Figure 120 : Synthèse du protocole expérimental de notre troisième expérimentation.

La première étape de notre protocole expérimental consiste, en partant de l'analyse fonctionnelle (AF) de l'outil support définie au chapitre 4.3.3.2, p.148, à faire un état des lieux des outils existants à l'heure actuelle (benchmark) afin de voir si certaines fonctions peuvent être réalisées en intégrant ces outils dans notre environnement. De manière plus large, cette étape permet une ouverture du champ des solutions techniques en terme de collaboration, domaine qui évolue à grande vitesse. Cette étape mobilise, à temps partiel, deux personnes pendant quatre mois.

Une fois cette analyse effectuée, nous avons développé, avec une méthode de conception agile (Dybå et al. 2008) un démonstrateur d'environnement collaboratif amont. Contrairement aux travaux de (Lahonde 2010), nous avons attaché une importance toute particulière à la conception de l'IHM étant donné que cette partie a été vivement critiquée lors des entretiens. Cette étape mobilise également deux personnes pendant quatre mois.

Ensuite, le démonstrateur est présenté auprès d'un panel de sept personnes, en cinq itérations successives réparties sur deux mois. Sur le plan industriel, le panel de cinq personnes (utilisateurs de chez Devanlay, représentés attablés à un bureau sur la Figure 120) est identique à celui de notre deuxième expérimentation (sauf un chef de projet qui n'a pas pu participer). Nous ajoutons à ce panel deux personnes non expertes de notre Ecole, identiques à chaque itération de conception. Nous nous appuyons ici sur les travaux de (Herskovic et al. 2007) qui prônent une première évaluation "en laboratoire" par des non-experts puis sur le terrain afin d'optimiser la conception. Notons au passage que, si ce panel peut sembler assez réduit, Nielsen a constaté (voir Figure 121) que trois utilisateurs est un minimum pour chaque boucle d'itération afin d'identifier les problèmes liés à l'utilisabilité d'une IHM (Nielsen 1993). C'est notre cas, étant donné que nous avons deux personnes non-expertes et un expert présents lors de chaque test. Nous nous permettons de citer un extrait de cet ouvrage : *"The figure clearly shows that there is a nice payoff from using more than one evaluator, and it would seem reasonable to recommend the use of about five evaluators, and certainly at least three."*

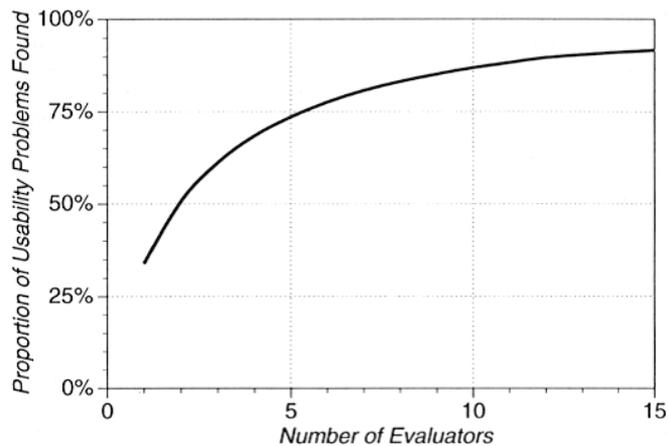


Figure 121 : Problèmes liés à l'utilisabilité d'une IHM détectés en fonction du nombre d'évaluateurs.

L'optimisation de notre environnement est réalisée de manière itérative. Suite à chaque entretien, la maquette est modifiée et testée en interne (deux personnes non expertes) avant l'entretien suivant, afin de converger au plus vite vers une solution optimisée. Nous présentons dans ce manuscrit, la dernière version de la maquette, ainsi qu'un tableau récapitulatif des changements effectués à chaque itération.

Lors des entretiens, le fonctionnement du prototype est simulé via des scénarios de fonctionnement préparés à l'avance en collaboration avec Devanlay. Ces scénarios réalistes représentent des situations de conception courantes pour les personnes que nous avons sollicitées. Le Tableau 29 suivant présente le panel support de notre troisième expérimentation.

Département	Poste	Nbre d'itérations
Arts et Métiers	Concepteur 1	5
	Concepteur 2	5
mktg style	Styliste Accessoire / Responsable CAO	1
	Assistant styliste Sportwear Homme	1
mktg produit	Chef de produit Enfant	1
	Assistante Chef de produit Live	1
mktg SI	Responsable mktg et collection	1

Tableau 29 : panel support de notre troisième expérimentation.

Nous proposons (prescriptif), au cours de cette troisième expérimentation, un environnement collaboratif amont centré sur les RI du produit. Cet environnement doit prendre en compte les contraintes métiers que nous avons identifiées lors de nos précédentes séries d'entretiens. La synthèse de notre stratégie expérimentale est présentée sur la Figure 122 ci-dessous.

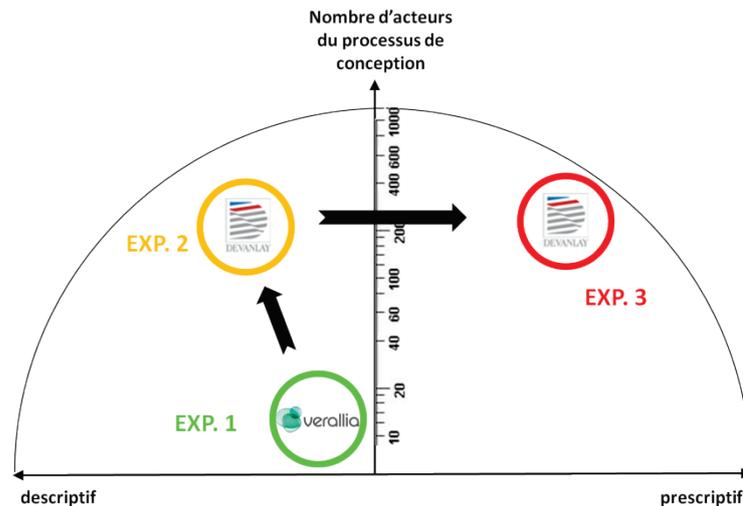


Figure 122 : synthèse de notre stratégie expérimentale.

Nous allons, dans les chapitres suivants, analyser les résultats de cette dernière expérimentation afin de répondre à notre problématique, et en particulier de valider la deuxième hypothèse de résolution.

## 4.4.2 RESULTATS

### 4.4.2.1 PHASE DE DEVELOPPEMENT D'ENVIRONNEMENT

#### I. ANALYSE DE L'EXISTANT

Avant de commencer à créer une maquette fonctionnelle de l'environnement de travail collaboratif, une étude préliminaire des solutions existantes est nécessaire. Cette étude a pour but d'analyser les propositions de fonctionnalités présentes sur des outils de collaboration existants et d'en faire la synthèse, afin d'avoir une première idée des options à simuler sur notre maquette.

Nous évaluons les fonctionnalités de onze outils permettant la collaboration amont sur un projet de développement de produit. Nous retrouvons dans cette liste, des solutions gratuites (open source) telle que Dropbox®, outil de partage de fichier, et des solutions PLM professionnelles telle que Lectra® spécialisée pour l'industrie textile. Ce panel, non exhaustif, représenté à la Figure 123 ci-dessous, nous permet cependant d'avoir une vue d'ensemble des fonctionnalités couvertes par ces logiciels. Parmi ces solutions, certaines sont libres (gratuites), d'autres payantes. Nous étudions alors dans ce cas les possibilités de l'outil via la documentation technique disponible sur les sites internet respectifs des éditeurs. Enfin, certains logiciels sont accessibles pour des tests dans l'entreprise, ou à Arts et Métiers ParisTech.



Figure 123 : panel des outils testés.

L'origine de nos informations, issues de tests ou de documentation, sur ces solutions collaboratives est donnée dans le Tableau 30 ci-dessous.

Logiciel	Type	Test	Documentation
Acrobat.com	Gratuit	X	
Dropbox	Gratuit	X	
G-mail	Gratuit	X	
Lectra	Suite payante	X	
ProjectWise	Démo	X	
Sharepoint	Démo	X	
Smarteam	Suite payante	X	
Teamcenter	Suite payante		X
Windows Live	Gratuit	X	
Wiggio	Gratuit	X	
Zapproved	Gratuit	X	

Tableau 30 : source des informations relevées sur les solutions collaboratives.

Afin de pouvoir classer ces solutions collaboratives en fonction de l'importance des fonctionnalités qu'elles proposent, nous regroupons leurs fonctions en trois catégories :

- fonctions de coordination.
- fonctions de collaboration.
- fonctions de gestion des données techniques.

Pour évaluer les différents outils recensés, nous reprenons les fonctionnalités attendues par les utilisateurs finaux (voir l'Analyse Fonctionnelle, Figure 113, p.153) et ajoutons les fonctionnalités courantes d'une plate-forme collaborative, constatées lors de notre état de l'art. Ces fonctionnalités sont classées dans une des trois catégories définies plus haut, coordination, collaboration et gestion des données techniques. Le résultat est présenté sur la Figure 124 ci-dessous.

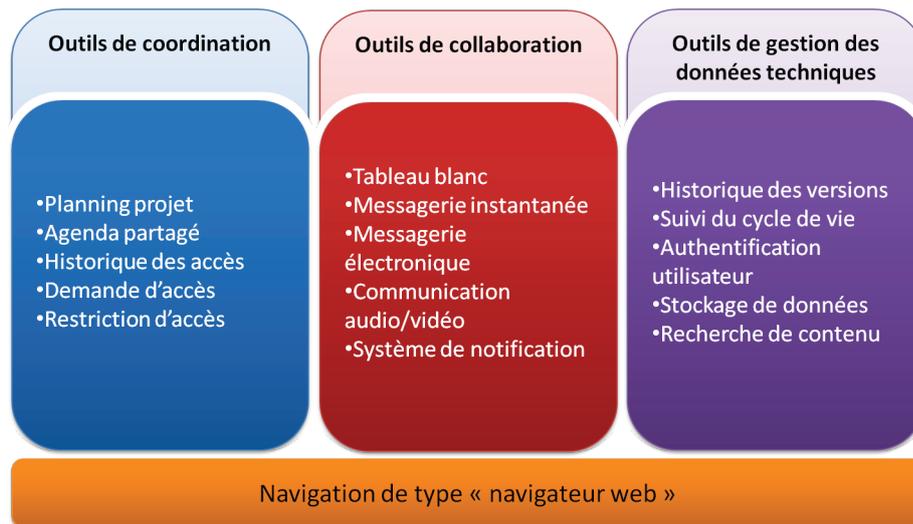


Figure 124 : classement des principales fonctionnalités relevées.

Notre objectif est de créer un modèle de plate-forme collaborative intégrant :

- une base de données unique accessible par les utilisateurs en fonction de leur hiérarchie dans l'entreprise.
- des données organisées, accessibles facilement et sécurisées.
- des échanges de données suivis, afin de garantir la traçabilité des données durant le processus (notion de workflow).

Un système de communication doit être intégré, permettant l'envoi de messages instantanés et de mails au cours du développement des produits, afin de garantir une communication efficace tout au long du projet. Nous rajoutons que la plupart de ces solutions proposent une navigation "type web", c'est-à-dire à l'image de ce que l'on retrouve sur les sites internet. Il est important de prendre en compte cette caractéristique pour le développement de notre prototype. En effet l'affordance, *i.e.* la capacité d'un objet à suggérer sa propre utilisation (Norman 1988), de la maquette aura une importance certaine dans l'élaboration de l'environnement de travail.

Pour l'évaluation des programmes de travail collaboratif, nous construisons une matrice d'évaluation. Cette matrice permet de comparer les différentes solutions les unes par rapport aux autres. Nous attribuons ensuite, sur la base des besoins en collaboration et des méthodes mises en place par les intervenants du processus amont identifiés lors de notre première série d'entretiens, une pondération pour chaque fonction retenue, de 1 à 5. Le Tableau 31 ci-dessous présente les pondérations retenues.

	Fonctionnalités	Pondération
<b>GESTION DONNEES TECHNIQUES</b>	Simplicité de navigation	5
	Stockage de documents	3
	Gestion et droits d'accès aux documents	3
<b>COLLABORATION</b>	Communication synchrone	2
	Communication asynchrone	1
	Partage d'application	5
<b>COORDINATION</b>	Planification projet	3
	Traçabilité du processus de développement	3

Tableau 31 : pondération des fonctions des solutions collaboratives étudiées.

Les coefficients les plus forts sont attribués à la simplicité de navigation ainsi qu'au partage d'application, nécessaire à l'annotation en temps réel sur les RI clefs évoquées précédemment. Les outils de collaboration synchrone ou asynchrone présentent un intérêt moindre car ces fonctionnalités peuvent être gérées par d'autres outils, en dehors du périmètre de notre solution collaborative. Enfin, le stockage et l'accès aux documents, ainsi que la planification et la traçabilité du processus sont des critères d'importance moyenne à prendre en compte pour la suite de nos travaux.

En comparant ces logiciels de travail collaboratif, et en accordant pour chacune des fonctionnalités retenues une note pondérée, nous obtenons l'évaluation des performances illustrée par la Figure 125 ci-dessous.

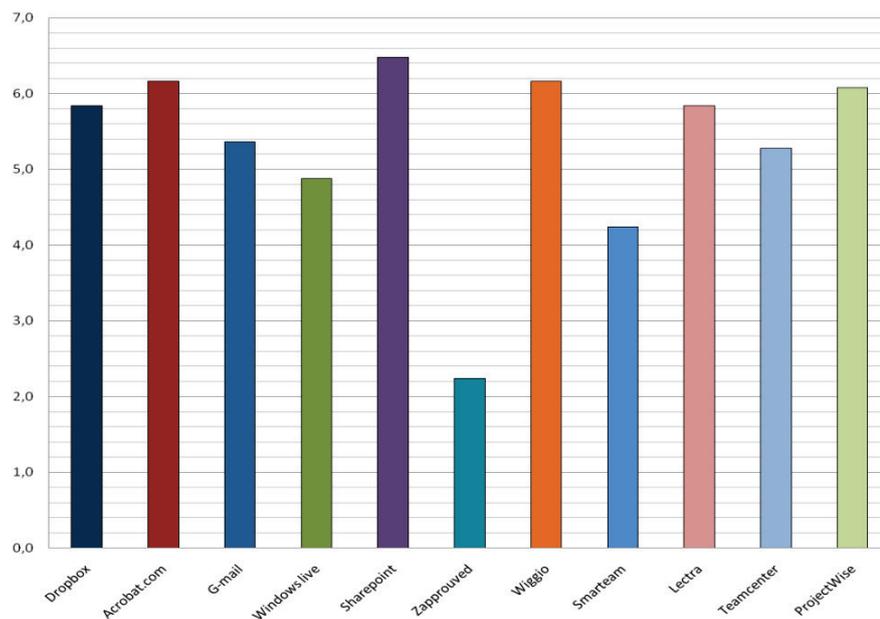


Figure 125 : note /10 des outils collaboratifs testés.

Nous observons grâce à ce classement :

- que le logiciel Lectra, spécialisé pour l'industrie textile, n'est pas placé en tête de l'évaluation. Cela s'explique par le fait qu'il est très développé pour les phases en aval de la conception, mais présente très peu d'outils collaboratifs pour les phases amont de développement d'une collection.
- que certaines solutions libres (comme Dropbox® ou Wiggiio®) présentent de très bons résultats, et donc une réponse au moins partiellement adaptée à notre besoin.

En synthèse de cette analyse de l'existant, nous retenons onze fonctionnalités qui nous sont apparues intéressantes pour la réponse à notre besoin. La convivialité du logiciel Dropbox® ainsi que sa facilité d'utilisation et de création des droits d'accès nous inspirent dans la réalisation de notre prototype. Ensuite, les groupes d'utilisateurs orientés "action" de Wiggiio® ainsi que sa messagerie texte et vocale trouvent également leur utilité dans la réponse aux besoins des utilisateurs chez Devanlay. Puis, la messagerie et le système de sondage rapide intégrés à Windows® Live sont utiles lors des réunions à distance entre designers (par exemple). Enfin, la planification de projet telle qu'elle est réalisable sous SharePoint® convient aux contraintes de l'industrie textile.

L'ensemble de ces résultats est présenté sur Figure 126 ci-dessous.



Figure 126 : synthèse des fonctionnalités utiles pour une plateforme collaborative amont, issues du benchmark.

## II. DEVELOPPEMENT AGILE D'UN PROTOTYPE D'ENVIRONNEMENT COLLABORATIF AMONT

### A. CHOIX DE L'ENVIRONNEMENT DE DEVELOPPEMENT

Une fois l'analyse de l'existant effectuée et les fonctionnalités principales extraites, l'objectif de cette partie est de présenter la méthode de développement employée ainsi que les résultats de ce développement.

Suite au précédent développement informatique, réalisé avec l'entreprise Verallia, nous avons fait le constat qu'un développement *ex nihilo* d'un site dédié à la collaboration amont est une tâche lourde nécessitant d'importants moyens humains. A la suite de ce constat, deux verrous se présentent à nous :

- un temps de codage d'un outil collaboratif, compte-tenu de nos connaissances, très important.
- un temps d'itération entre chaque entretien (et donc entre chaque maquette) important, rompant la fluidité de la démarche agile que nous défendons. En effet, le moindre changement de design ou de fonctionnement demande un lourd travail technique.

Pour pallier ces problèmes, le choix est fait de développer un prototype d'outil à partir du logiciel MS Publisher®. Nous avons opté pour l'utilisation du module de création de site internet de ce logiciel. Ce module permet la création d'une structure de site internet, avec des liens hypertexte et des insertions de formulaires (zone de texte simulant l'envoi de requête, etc.). Cet outil, à l'origine destiné à faciliter la mise en ligne de contenus, a l'avantage d'être largement documenté et ne requiert pas d'importantes connaissances en informatique. La méthode, nettement moins lourde que le codage mais tout aussi efficace, demande néanmoins un travail d'agencement et de réflexion, afin de rendre réaliste la simulation d'un environnement de travail collaboratif. La mise en place de la structure initiale (*i.e.* la maquette v0) a nécessité deux mois de développement, puis chaque cycle d'itération environ une à deux semaines.

Une capture d'écran de la page d'accueil de développement du prototype est présentée à la Figure 127 ci-dessous.

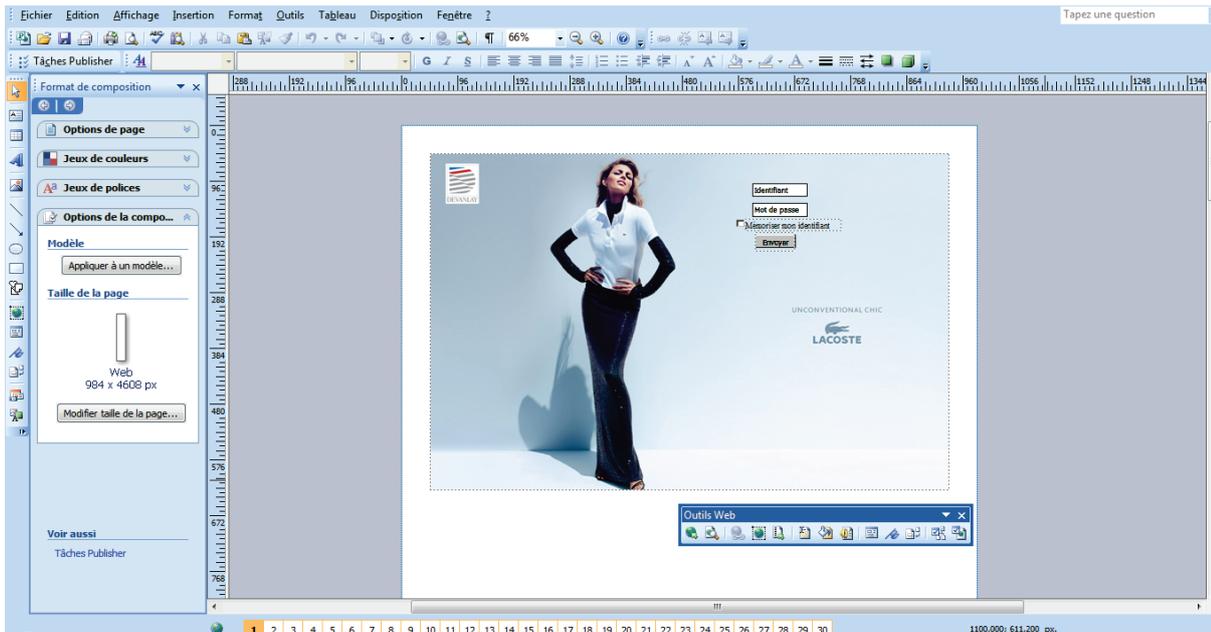


Figure 127 : page d'accueil dans son environnement de développement (MS Publisher).

## B. SCENARIOS D'UTILISATION

Afin de positionner notre prototype au plus près de la réalité, nous développons un outil de simulation de workflow, qui permet de voir l'avancement du projet vers la réalisation globale du produit. Cet outil, avec différents niveaux de granularité, permet d'identifier en un seul coup d'œil à l'aide d'un code couleur à quelle étape le projet consulté se situe.

Tout le travail préliminaire de formalisation du processus de conception et d'identification des RI trouve ici un grand intérêt. En effet, les diagrammes SADT servent de colonne vertébrale à ces workflow et les RI échangées sont également illustrées.

Le schéma ci-dessous présente la définition globale du processus de conception du vêtement, ces étapes suivent le formalisme défini par (Aoussat 1990).



Ensuite, pour chacune des étapes, nous retrouvons en cliquant sur le workflow les sous-étapes définies auparavant. La Figure 128 ci-dessous présente une illustration de cette fonction, pour les trois phases constituant la conception amont d'un vêtement.

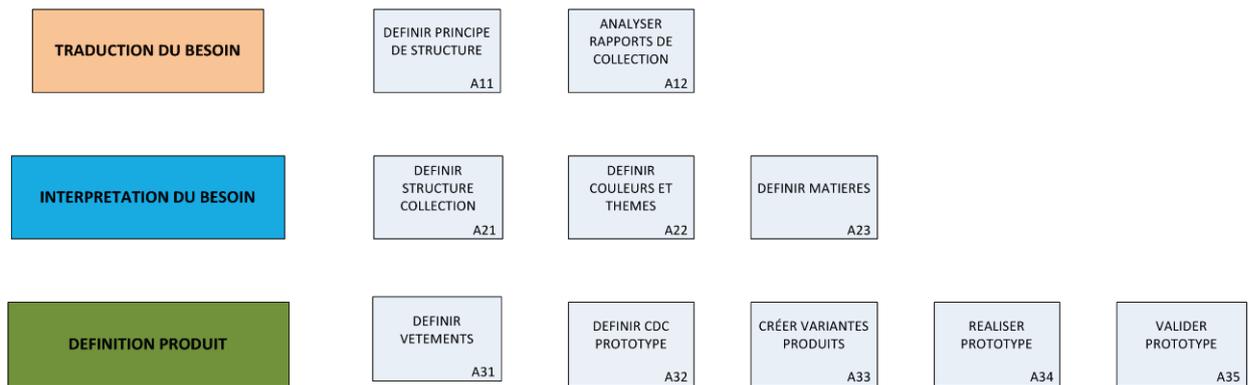


Figure 128 : définition du workflow par étape.

Ensuite, le niveau de granularité le plus fin permet, en cliquant sur l'une des cases, de définir précisément le workflow de l'étape. Nous traitons sur la Figure 129 ci-dessous l'exemple de l'étape A21 "Définir un principe de structuration de collection".

#### DEFINITION DU WORKFLOW DECISIONNEL ASSOCIE A L'ETAPE

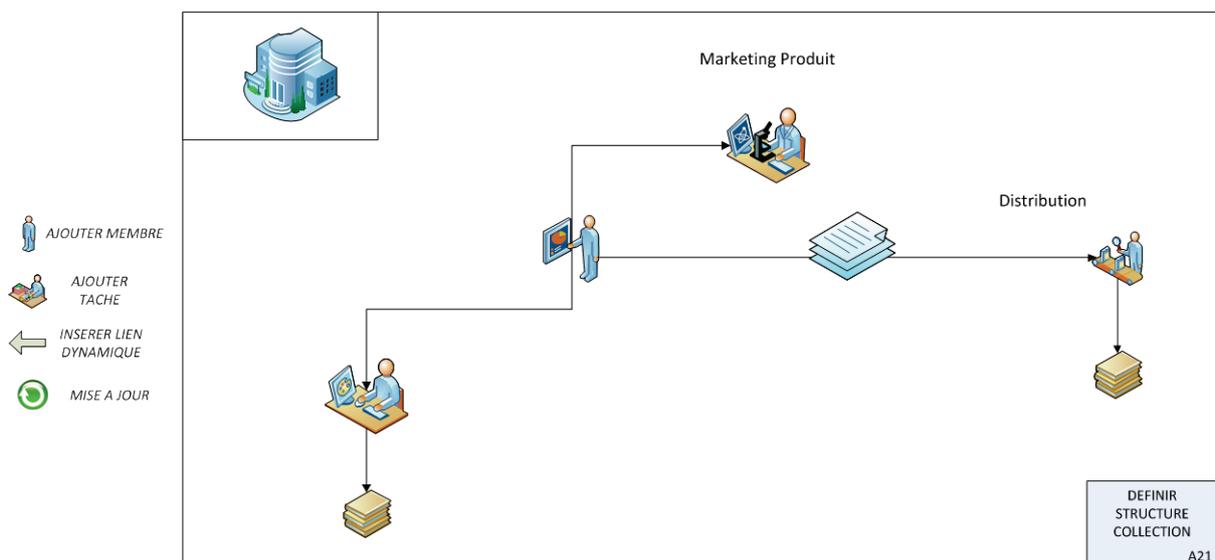


Figure 129 : exemple de définition d'un workflow, intégré à l'environnement collaboratif amont.

Lors de cette étape, le responsable marketing produit demande à son service de proposer et diffuser un document auprès du service distribution. Une fois la validation reçue, les documents nécessaires à chaque service peuvent être archivés. On note également que ce workflow est modifiable à tout instant par les responsables de l'action. Il suffit alors, en consultant le bandeau sur la gauche de la figure, d'ajouter un membre, ou une tâche et de relier ce nouvel élément au reste avec un lien dynamique.

Ensuite, trois scénarios d'utilisation ont été réalisés en fonction du type de poste occupé par l'utilisateur.

Le premier scénario vise à simuler la création d'un nouveau projet textile, avec la sélection du type de projet, du type de trame et de maille. Une capture d'écran de ce scénario est présentée à la Figure 130 ci-dessous. Il se destine principalement au chef de produit qui veut lancer un nouveau produit.

**Project initialization:**  
Assuming that you are the project manager of a new product, you have to add it in the company's database. All boundary conditions are given by the Client and considered as well known.

**1. Start the work environment:**



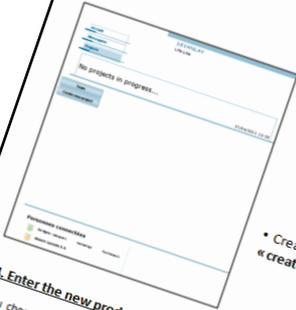
• Enter a name and a password of your choice, then click on the « envoyer » button.

**2. Enter the project Menu:**



• As you want to manage a project, you have to open the « projects » menu.

**3. Create a new project:**



• Create a new project by clicking on the « create new project » option.

**4. Enter the new product properties:**  
You choose a Client and the type of apparel you want to create. If the client or apparel type doesn't exist you can add a new one or specify a new kind of apparel to create. If you want to cancel the new project click on the « abort project » option at the left bottom.



• Click on the « move on with the fiber type » option to go on with the product initialization.

Figure 130 : exemple de scénario à destination des utilisateurs.

Puis, un deuxième scénario a pour but de simuler la collaboration autour d'une RI clef qu'est le croquis (parmi les trois identifiées à la Figure 112, p 150). Pour cela, nous programmons un outil d'annotation collaboratif où chaque acteur peut ajouter ses commentaires en direct. Une capture d'écran de cette fonctionnalité est présentée sur la Figure 131 ci-dessous.

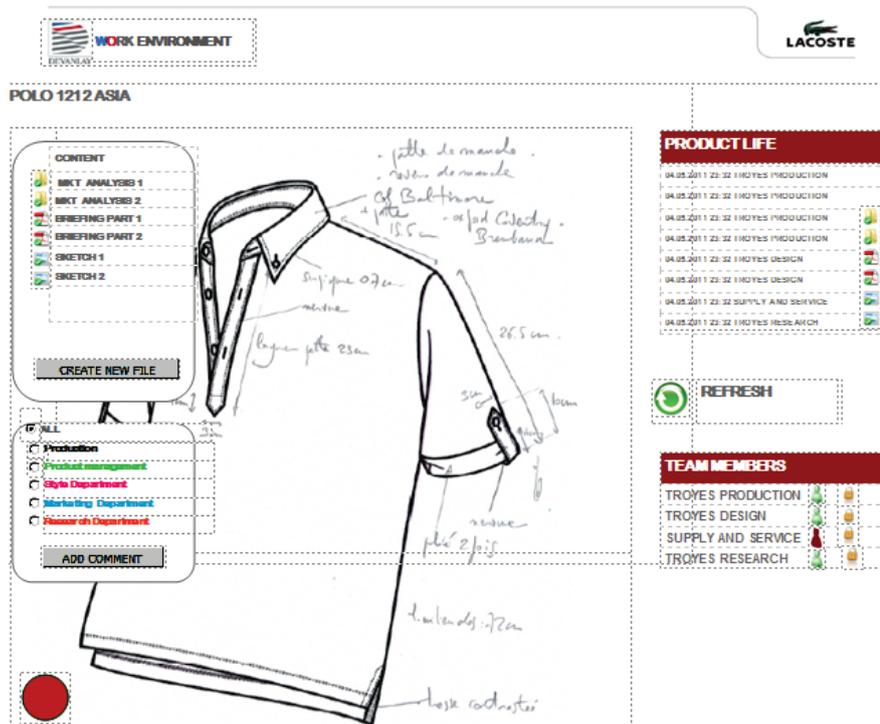


Figure 131 : outil d'annotation intégré dans l'environnement collaboratif amont.

Enfin, un scénario plus global présente l'insertion d'un nouveau fichier au système et simule l'évolution temporelle du projet, et donc des RI associées. Il correspond à l'utilisation d'un compte "manager de projet" pour la visualisation et la constitution d'une équipe projet. Il permet de visualiser l'ensemble des fonctionnalités simulées sur la maquette.

Ce scénario permet de visualiser les possibilités suivantes :

- Authentification du manager de projet.
- Recherche d'une référence produit par thème et univers de collection.
  - Accès à la page produit.
    - Création d'un nouveau fichier relatif au produit trouvé.
    - Mise à jour du serveur avec création du nouveau document sur la page produit.
  - Ajout d'annotations sur un croquis et filtrage de ces annotations.
    - Ajout d'un commentaire.
    - Filtrage des commentaires déposés par le manager de projet.
    - Affichage de tous les commentaires.
  - Constitution d'une équipe projet.
    - Ajout des nouveaux membres de l'équipe projet.
    - Mise à jour du serveur.
  - Visualisation du cycle de vie du produit.
    - Mise à jour du serveur.
  - La création/modification du workflow.
    - Choix de workflow préexistant.
    - Possibilité de modification du workflow.
- Envoi de messages textes concernant un produit.
- Création d'une visioconférence avec les membres du projet.

Les principales fonctionnalités du prototype (étape de traduction du besoin avec annotations sur croquis, étape d'interprétation du besoin du même produit, outil de planning partagé) sont montrées sur la Figure 132 ci-dessous.



Figure 132 : captures d'écrans des principales fonctionnalités de la maquette : en haut, étape de traduction du besoin avec annotations sur croquis ; en bas à gauche étape d'interprétation du besoin du même produit, en bas à droite, outil de planning partagé.

### C. INTEGRATION DES CONTRAINTES METIERS DANS LE PROTOTYPE D'OUTIL

Lors de l'expérimentation précédente, nous avons présenté les différentes contraintes métiers qui doivent être intégrées à notre prototype d'outil support à un environnement collaboratif amont.

Nous rappelons l'ensemble de ces vingt contraintes dans le Tableau 32 ci-dessous.

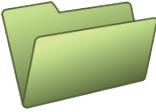
CONTRAINTES METIER	MARKETING PRODUIT (6 $\sigma$ )	MARKETING STYLE (5 $\sigma$ )	MARKETING SI (9 $\sigma$ )
<b>COLLABORATION</b>  <b>(5 <math>\sigma</math>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Communication par mail.</li> <li>• En cas d'urgence, utilisation de la visioconférence.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail collaboratif sur remise croquis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Annotations prises à la main sur image.</li> <li>• <u>Problème de standardisation des documents de communication.</u></li> </ul>
<b>TACHES</b>  <b>(5 <math>\sigma</math>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rôle de création des données et références produits.</li> <li>• <u>Pré-plans en interne, livre de coloris pour commerciaux, plan de collection en interne.</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail centré sur la représentation du produit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accès rapide et aisé à l'information dans le monde entier.</li> <li>• <u>Information juste, bien saisie, image source à jour.</u></li> </ul>
<b>OUTILS</b>  <b>(10 <math>\sigma</math>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documents sous InDesign ou sur Illustrator (rarement).</li> <li>• SGDT peu intuitif dans le rendu de l'information, difficile à lire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eviter multiplication des données.</li> <li>• Mise à jour simple à prévoir.</li> <li>• InDesign et illustrator (Adobe Creation).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un utilisateur Marketing produit a besoin outil intuitif.</li> <li>• Impossibilité de prendre en compte l'esthétique.</li> <li>• Système de base de données ne permet pas de générer de l'information subtile comme les annotations.</li> <li>• <u>Pas d'endroit où l'on recense l'ensemble des annotations.</u></li> <li>• <u>Idéal = une seule source d'information à utiliser.</u></li> </ul>

Tableau 32 : contraintes métiers des acteurs de la conception amont.

Nous avons pris en compte, lors du développement du prototype, une grande majorité de ces contraintes métiers. Cependant, certaines caractéristiques, qui relèvent plus de l'organisation globale du SI de Devanlay, ne sont pas maquettables sur un prototype. Nous dressons, pour celles-ci, une liste de recommandations générales, en complément de l'outil. Les contraintes métiers associées sont soulignées dans le Tableau 32. Pour les quinze contraintes métiers restantes, nous les incluons scrupuleusement dans le cahier des charges du développement de l'outil afin maquetter au mieux une réponse à chacune de ces contraintes. Nous détaillons un peu plus tard comment cela a été réalisé.

#### D. DEVELOPPEMENT DE L'INTERFACE

Comme nous l'avons présenté, le développement de ce prototype d'environnement collaboratif amont est réalisé de manière agile, avec la génération de cinq maquettes. Des modifications ont pu être apportées grâce aux conseils de l'ensemble des intervenants du projet.

Suivant l'avancée des entretiens, les modifications apportées à la maquette numérique permettent d'ajouter ou de modifier certaines fonctionnalités simulées. Entre chaque entretien, les remarques faites par les personnes rencontrées sont prises en compte. Puis la maquette fait l'objet de modifications. Avec cette façon de procéder, nous nous approchons d'une solution répondant aux attentes des différents départements de la conception amont d'une collection, tout en essayant au maximum de ne pas oublier de

fonctionnalités dans la plateforme collaborative. Cette méthode itérative nécessite une conception modifiable rapidement afin d'y ajouter de nouvelles idées. La Figure 133 ci-dessous présente le processus de modification de la maquette.

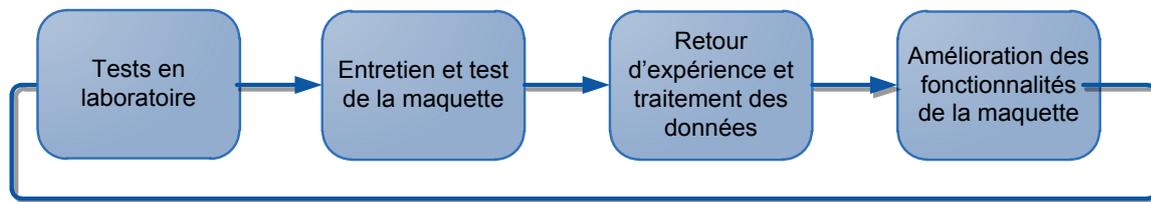


Figure 133 : processus itératif d'amélioration de la maquette.

Avec ce type de procédure, nous avons créé plusieurs versions de la maquette numérique. Chaque retour d'entretien nous permet d'ajouter ou modifier des options à ce modèle, dans un processus d'amélioration. Le Tableau 33 suivant montre l'évolution de notre maquette, en fonction des contraintes relevées.

Version	Modifications	Contraintes
<b>V0</b>		Le premier modèle de plateforme présente :
		Messenger
		Base de données produits
		Menu de gestion de projet
		<b>Positionnement central du croquis</b>
<b>V1</b>	Changement de design	Etre en accord avec l'identité Lacoste-Devanlay
	Introduction d'un panneau de contrôle	Clarté globale de l'outil
	Visualisation d'informations produit	Suite de l'entretien n°2
	Code couleur pour l'avancement du projet	Idée suite analyse Smarteam
	Workflow	Idée suite analyse Smarteam
<b>V2</b>	Nouvelles options Messenger	Communications audio et vidéo rarement utilisées. Introduction d'une messagerie téléphone via l'interface.
<b>V3</b>	Désignation workflow réaliste	Utilisation d'un modèle de workflow connu
	Visualisation d'événements du cycle de vie produit	Permet aux managers d'avoir une meilleure vue d'ensemble des produits actuellement développés
	Options de défilement et de filtrage produit	
<b>V4</b>	Modification de l'icône workflow	Remarques recueillies durant l'entretien n°5
	Développement outil d'annotation sur croquis	

Tableau 33 : évolutions de la maquette.

La première version développée (V0) comprend :

- une base de données produit.
- une fonctionnalité "Messenger" pour échanger autour d'un produit par messages textes ou appels téléphoniques (intégrée à la plateforme).

- Un menu de gestion de projet.

L'interface de notre outil doit respecter les recommandations suivantes :

- être structurée pour que l'utilisateur ait une vue d'ensemble des fonctions proposées rapidement.
- pour maintenir le système d'information et la structure "conviviale" gérables, la navigation entre les différentes fonctionnalités est courte (trois clics maximum), afin de permettre des modifications de scénario et/ou de fonctionnalité rapides.
- toutes les fonctions et méthodes simulées doivent rester visibles tout au long de la navigation.
- les options accessibles sur l'interface sont limitées, seules celles prévues dans le scénario sont utilisées et donc seulement celles-ci sont "actives".
- limiter les changements entre les outils de travail pendant la conception amont.

La Figure 134 illustre la disposition des différents modules simulés sur l'interface :

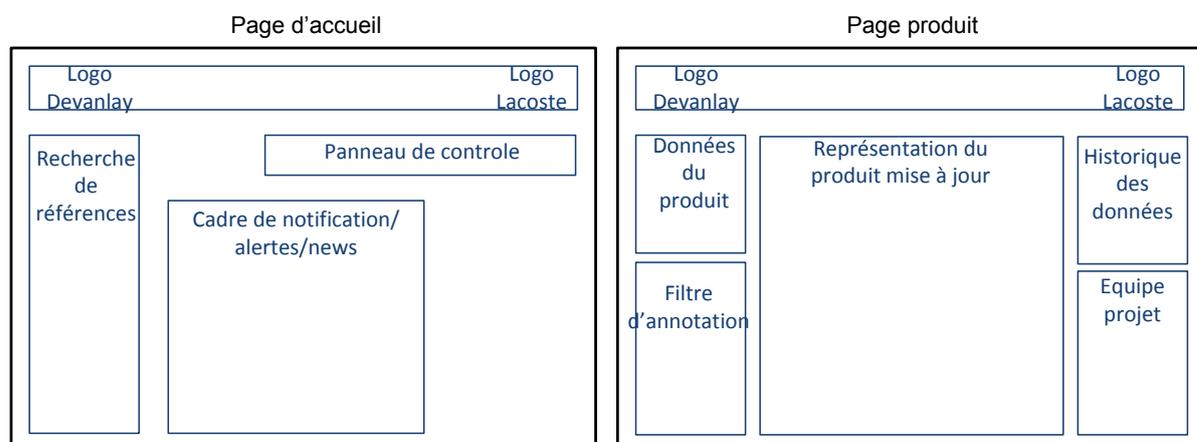


Figure 134 : architecture de l'interface de l'outil.

La clarté de l'interface est un facteur important à prendre en compte durant la conception de la maquette. L'interface présente donc :

- une utilisation de symboles simples et appropriés, bien connus des utilisateurs et pour l'essentiel issus de notre analyse de l'existant (enveloppe pour messagerie, croix rouge pour fermer, etc.).
- un filtrage de certaines informations en raison du type d'utilisateurs (restriction d'information, fonctionnalités inaccessibles).
- une variété de nom, icône ou fonction afin d'éviter les confusions dues aux similarités.
- une attribution d'un code couleur à chaque département de conception pour permettre d'identifier des commentaires faits sur les RI des produits (croquis des vêtements).
- une simulation du flux d'information (workflow) automatique dans l'espace de travail.

Les données fournies par la plateforme doivent être sécurisées :

- différents niveaux de sécurité permettent de réaliser un environnement de travail correspondant à l'utilisateur, présentant seulement les informations utiles et autorisées.
- une option du workflow permet de générer automatiquement les transferts d'informations.
- la sauvegarde automatique et régulière des données permet d'empêcher leur perte.

La Figure 135 qui suit est un organigramme décrivant l'arborescence des pages de la maquette fonctionnelle :

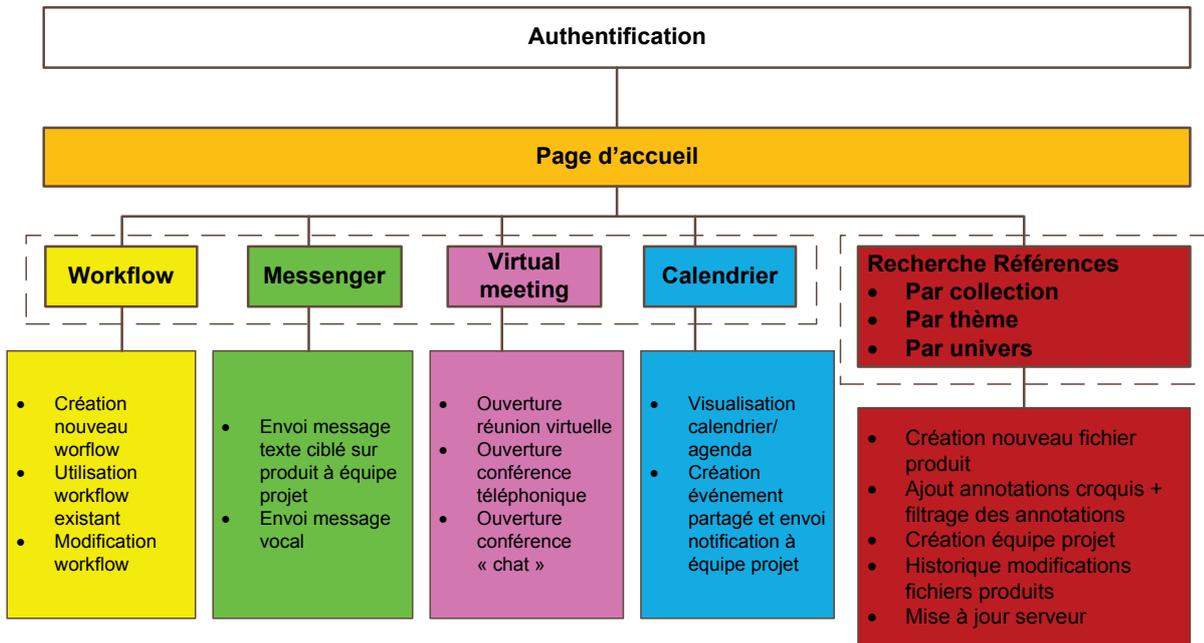


Figure 135 : arborescence des pages de la maquette fonctionnelle.

La version finale de la maquette présente les fonctionnalités suivantes, présentées sur la Figure 136 :

- une fonction de notification ciblée qui permet l'affichage automatique d'informations concernant le produit, et en rapport avec le rôle de l'utilisateur.
- une option de génération de workflow afin de déterminer le chemin des informations au cours du processus de conception.
- une option de type Messenger pour échanger autour d'un produit.
- une option de réunion virtuelle (visio-conférence) (panneau de contrôle).
- une recherche de produits en cours de création et accessible en fonction du compte de l'utilisateur.

Sur la Figure 136, présentant une synthèse de la maquette de CoTeEn, chaque fonctionnalité de la page d'accueil (présentée au centre) est repérée avec un code couleur et la page correspondante est montrée en vignette : orange pour "Folder Option", vert pour le "Product Lifecycle Menu", rouge pour les Filtrés d'annotation et bleu pour la définition de l'équipe projet.

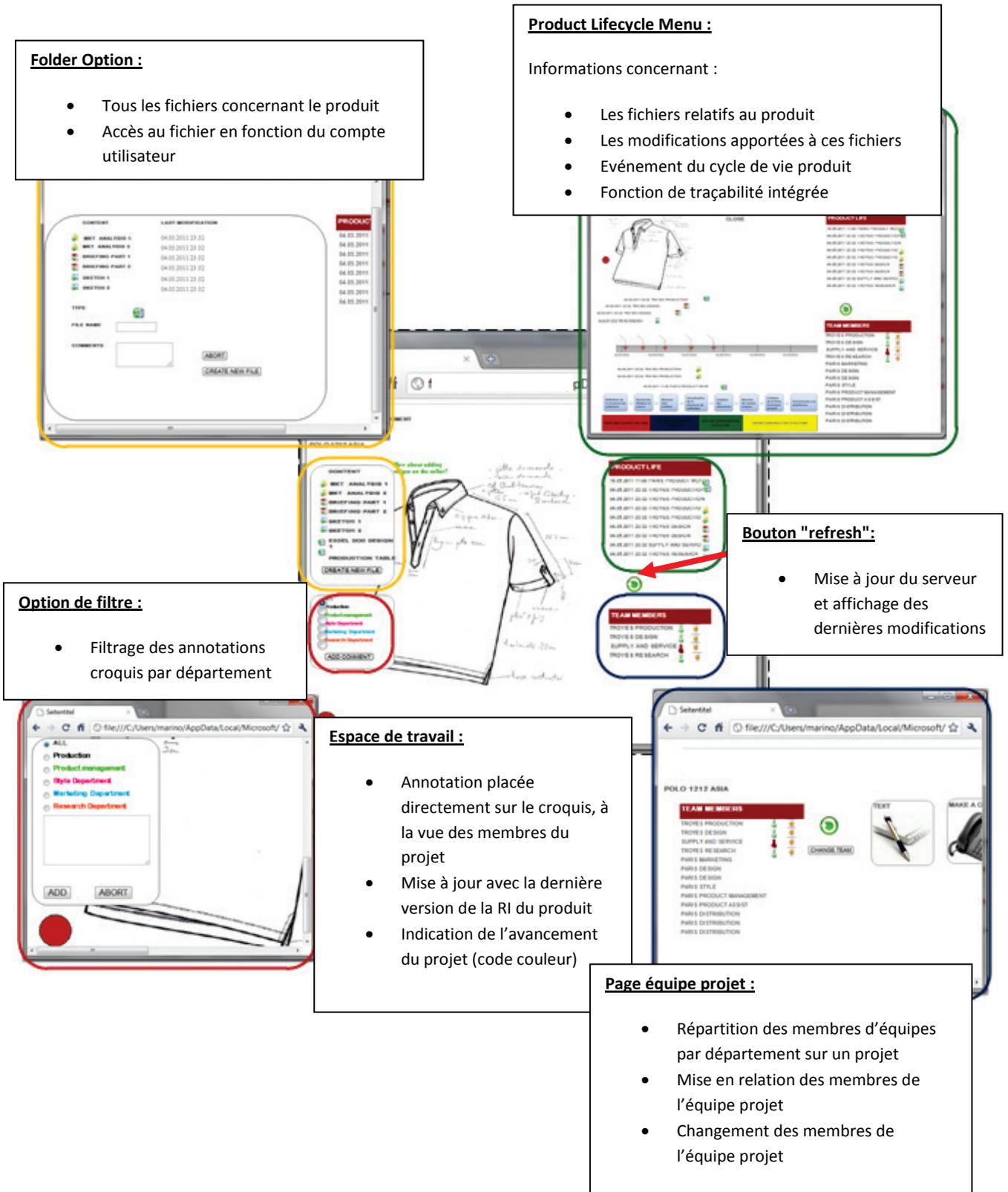


Figure 136 : synthèse des fonctionnalités de la maquette de CoTeEn.

#### 4.4.2.2 PHASE DE TEST ET RETOUR D'EXPERIENCE

##### A. PRESENTATION DU QUESTIONNAIRE

Notre prototype d'outil support à l'environnement collaboratif amont dans le domaine du textile fait l'objet de plusieurs tests dans les entretiens évoqués plus haut. Suite à ces tests, les réactions sont recueillies à chaud grâce à un questionnaire de deux pages.

La trame du questionnaire est présentée en Annexe 2.

La Figure 137 ci-dessous montre un exemple de résultats obtenus lors du remplissage de ce questionnaire.

**Assessment of user-friendliness:**

Entry:

	Absolutely not	Not really	Satisfying	Was good	excellent
<del>The site offers interesting new options that concern my work</del>					
I know immediately what to expect from the options and functions, the site offers.				X	
Tags are precise about what they offer.				X	
The site invites me to stay				X	

Design:

	Absolutely not	Not really	Satisfying	Was good	excellent
<del>The work environment is clearly laid out.</del>					
The corporate identity is well realized			X		
The links are well connected to each other optical				X	
The links are well connected to each other (content)				X	
I knew immediately how to navigate through the pages			X		
The shape and design fits to its contents				X	

Contents:

	Absolutely not	Not really	Satisfying	Was good	excellent
<del>The site offers interesting new options that concern my work</del>					
There are options and functions missing					
The options offered by the work environment are represented in my real work		X			
Contents are understandable without any further explanations				X	
The contents are logically linked				X	
Contents motivated me to act ( Complete files, add documents etc..)			X		

Communication:

	Absolutely not	Not really	Satisfying	Was good	excellent
<del>The page invites me to interact</del>					
The page invites me to interact				X	

Integral:

	Absolutely not	Not really	Satisfying	Was good	excellent
<del>I think this kind of work environment is realizable</del>					
I think this kind of work environment is realizable			X		

*- Bien pour communication entre les services  
- mais bien pour le cœur du métier = modifications produits, fournitures  
BIBLIO: FUTTIERES... but: des codes universels entre tous et PARIS -*

Figure 137 : exemple de questionnaire rempli par un utilisateur.

Il est articulé autour de cinq principaux thèmes représentatifs des fonctionnalités attendues de la part de l'outil :

- **La page d'accueil** : les icônes sont-elles claires? l'outil me donne-t-il envie de l'utiliser? etc.
- **Le design de l'IHM** : l'environnement est clairement présenté, respecte l'identité de l'entreprise, les contenus sont bien agencés entre eux, la navigation est intuitive etc.
- **Les contenus** : l'outil offre de nouvelles fonctionnalités intéressantes pour mon travail, il manque des fonctions, les options sont représentatives de mon travail quotidien, les contenus sont compréhensibles sans explication, les contenus sont reliés logiquement etc.
- **La communication** : les pages m'encouragent à interagir.
- **Au global** : je pense que ce genre d'environnement collaboratif amont est réaliste.

Les utilisateurs sont invités à répondre sur une échelle de Likert en cinq points, allant de "Pas du tout" ou "Totalelement inadapté" à "Tout à fait" ou "Excellent".

### B. RESULTATS DU QUESTIONNAIRE

Le traitement des données recueillies à la suite du test permet d'évaluer le prototype. Les données sont traitées avec une feuille de calcul Excel et sont synthétisées sur les figures ci-dessous, qui illustrent le niveau de satisfaction des cinq personnes issues du panel industriel rencontrées au cours des entretiens. On remarque rapidement que le niveau de satisfaction des personnes rencontrées est bon.

Tout d'abord en ce qui concerne la page d'accueil, 100% des personnes la trouvent au moins satisfaisante, et 73% bien ou très bien. Nous en déduisons que notre prototype répond bien aux codes et à la charte graphique de l'entreprise (voir Figure 138).



Figure 138 : satisfaction concernant la page d'accueil du prototype.

Puis, concernant le design, les résultats sont également encourageants étant donné que 67% des interrogés trouvent le design de l'interface "bien" voire "excellent" (voir Figure 139). Le progrès par rapport aux outils actuellement utilisés est donc réel. L'un des points importants est de proposer une maquette au design simple et intuitif. Le respect de ces critères de satisfaction passe par l'utilisation d'icônes explicites, agencées simplement sur l'interface, et répondant à des actions correspondant à ce bouton. Là aussi les utilisateurs nous confient leur satisfaction quant à la simplicité des actions à réaliser.

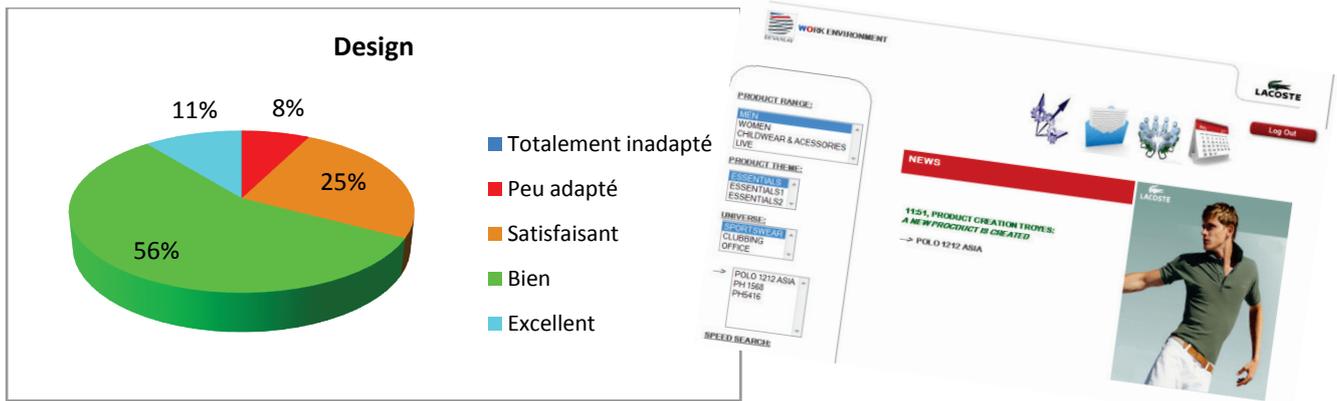


Figure 139 : satisfaction concernant le design du prototype.

Ensuite, concernant les contenus et la communication (voir Figure 140), environ 80% adhèrent pleinement à notre proposition. Le critère le plus important pour nous est bien entendu le contenu de la plate-forme proposée, qui demande, afin d'être pertinent, une appropriation du processus de conception complet. Il en ressort que les personnes rencontrées apprécient cette proposition de solution, ce qui nous montre que la maquette fonctionnelle de notre environnement de travail collaboratif répond aux besoins des utilisateurs chez Devanlay. Notre travail de formalisation du processus amont de conception y est pour beaucoup. En effet, cela nous permet de mieux comprendre les enjeux et donc les contenus nécessaires au développement d'un produit.

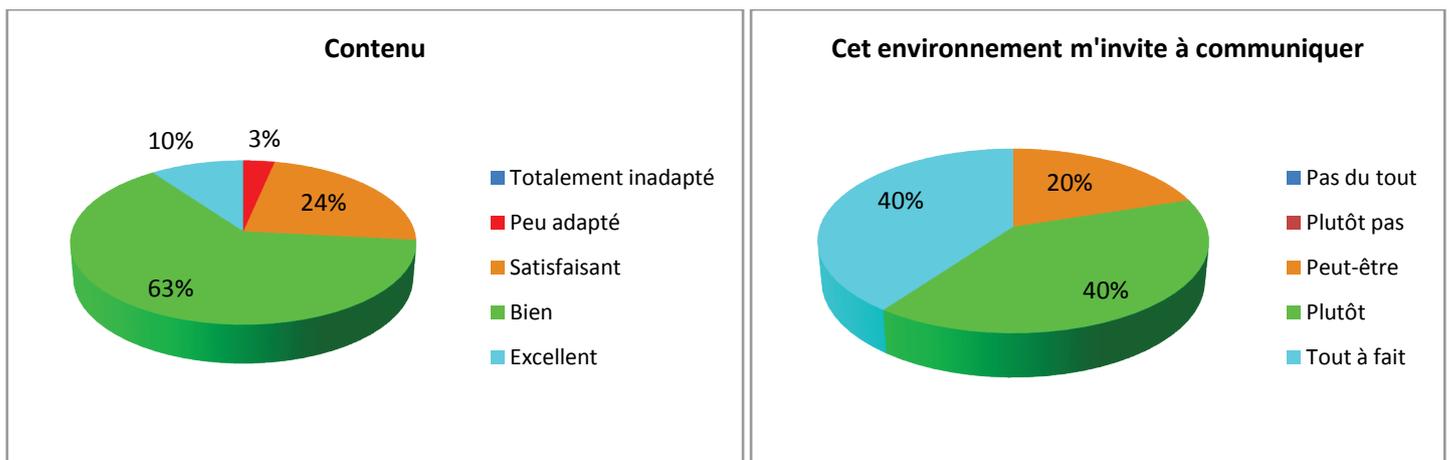


Figure 140 : satisfaction concernant les contenus et la communication.

Enfin, au global 80% des personnes (voir Figure 141) pensent que cet environnement de travail collaboratif amont est réaliste et peut donc, moyennant un développement informatique, leur servir de support à la conception amont.

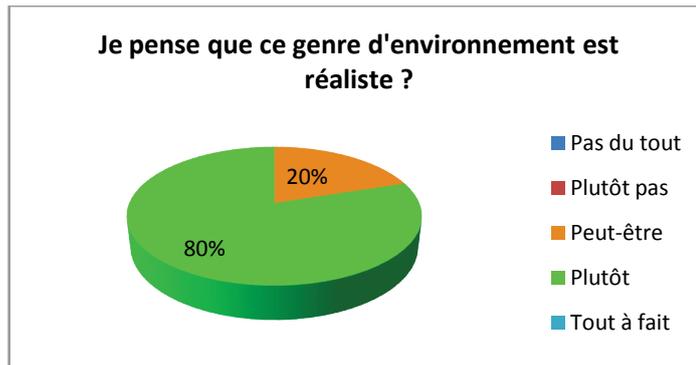
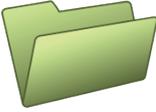


Figure 141 : réalisme du prototype.

Le bilan de cette évaluation montre que la proposition faite par l'intermédiaire de notre maquette correspond aux besoins des équipes marketing de Devanlay. La satisfaction des futurs utilisateurs est un facteur important dans la proposition d'un environnement de travail. En effet, il n'est pas envisageable d'imposer une solution ne correspondant pas aux attentes de ces personnes. Nous allons maintenant revenir sur la prise en compte des contraintes métiers dans notre prototype.

### C. PRISE EN COMPTE DES CONTRAINTES METIERS

La prise en compte de ces contraintes métiers est faite lors du développement de notre prototype. Le Tableau 34 ci-dessous présente, pour chaque contrainte, le moyen par lequel nous sommes parvenus à l'identifier. Les contraintes redondantes sont notées en italique. Il reste, au total, douze contraintes métiers que nous avons prises en compte.

CONTRAINTES METIER	MARKETING PRODUIT (5 $\sigma$ )	MARKETING STYLE (4 $\sigma$ )	MARKETING SI (3 $\sigma$ )
<b>COLLABORATION</b>  (4 $\sigma$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Communication par mail.</li> <li><b>Réponse : intégration d'un outil de gestion des mails avec icône appropriée.</b></li> <li>En cas d'urgence, utilisation de la visioconférence.</li> <li><b>Réponse : intégration d'un outil de visioconférence avec icône appropriée.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail collaboratif sur remise croquis.</li> <li><b>Réponse : intégration de la remise croquis dès qu'elle est disponible en élément central de l'outil.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Annotations prises à la main sur image.</li> <li><b>Réponse : intégration d'un outil d'annotation sur RI du produit customisable et permettant une traçabilité des modifications (code couleur en fonction du service concerné).</b></li> </ul>
<b>TACHES</b>  (3 $\sigma$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rôle de création des données et références produits.</li> <li><b>Réponse : tri des articles par référence produit dès connexion, création avec menu simplifié et les actions les plus courantes sont en tête de liste.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail centré sur la représentation du produit.</li> <li><b>Réponse : intégration de la RI la plus récente du produit dès qu'elle est disponible en élément central de l'outil.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Accès rapide et aisé à l'information dans le monde entier.</li> <li><b>Réponse : possibilité d'accès à distance par l'intermédiaire d'un filtre d'accès (type login+mot de passe). Format de stockage de l'information harmonisé et volume de données réduit.</b></li> </ul>

<p><b>OUTILS</b></p>  <p>(5 <math>\sigma</math>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documents sous InDesign ou sur Illustrator (rarement).</li> <li>• <b>Réponse : intégration d'un lien vers ces outils, et possibilité d'importer les fichiers sources.</b></li> <li>• SGDT peu intuitif dans le rendu de l'information, difficile à lire.</li> <li>• <b>Réponse : organisation du prototype identique à un site internet, donc assez intuitive et 3 clics maximum pour arriver à l'information souhaitée.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eviter multiplication des données.</li> <li>• <b>Réponse Architecture de l'outil fondée sur une seule base de données centralisée.</b></li> <li>• Mise à jour simple à prévoir.</li> <li>• <b>Réponse : maquetage d'un bouton de mise à jour rapide et accessible.</b></li> <li>• <i>InDesign et illustrator (Adobe Creation).</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Un utilisateur Marketing produit a besoin outil intuitif.</i></li> <li>• Impossibilité de prendre en compte l'esthétique.</li> <li>• <b>Réponse Outil paramétrable qui permet de créer une version "personnalisée" de son environnement de travail. Les accès et menus sont paramétrés en fonction du métier de l'utilisateur.</b></li> <li>• <i>Système de base de données ne permet pas de générer de l'information subtile comme les annotations.</i></li> </ul>
---	--	--	---

Tableau 34 : contraintes métiers des acteurs de la conception amont, et leur prise en compte dans le prototype.

Parmi les réponses que nous apportons, nous surlignons en jaune celles qui ont comme support les RI du produit. En effet, nous rappelons que notre deuxième hypothèse afin de répondre à notre problématique est que ce sont les RI du produit qui sont le plus à même de prendre en compte les contraintes métiers, et ce dès les phases amont de conception.

Nous constatons que trois des douze contraintes métiers relevées lors de nos entretiens trouvent une réponse par l'utilisation, dans notre prototype d'outil, de RI adaptées du produit. C'est une part non négligeable puisque cela représente 25% des spécifications initiales. Le reste des contraintes métiers (75%) est majoritairement porté par l'architecture et le processus de développement de l'outil support. Ainsi, nous concluons sur le fait que les RI sont un élément nécessaire, mais pas suffisant à la prise en compte des contraintes métiers en conception amont. Nous ajoutons, qu'il existe effectivement des RI privilégiées, ou RI clefs qui permettent de prendre en compte ces contraintes au plus tôt.

#### D. QUANTIFICATION DE NOTRE APPORT SUR LE PROCESSUS DE CONCEPTION AMONT

Une fois que le test de l'environnement est fait, il est intéressant de pouvoir quantifier le gain potentiel apporté par une telle solution de travail collaboratif. Ce gain peut être quantifié par l'intermédiaire de critères de performance, traduisant l'amélioration de la collaboration et les perspectives que ce type de plate-forme apporterait sur le cycle de vie d'une collection.

De la même manière que ce que nous avons présenté pour Verallia au chapitre 2.3.2.1, p.82, les indicateurs de (Crow 2001) afin de quantifier la valeur ajoutée de l'outil DNP, nous avons lors des entretiens demandé chez Devanlay aux personnes interrogées de quantifier les gains de notre maquette. Les critères de performance choisis pour évaluer la maquette sont inspirés de la conception mécanique. En s'appuyant sur des aspects clefs de la conception du produit, ils permettent d'évaluer l'apport de la plate-forme par rapport à la situation actuelle. En choisissant ceux applicables au secteur textile, les critères de performance et les réponses sont répertoriés dans le Tableau 35 suivant :

METRICS	CURRENT	FUTURE
<b>Product Design</b>		
Number of "in-process" design changes per product	10	6
Number of prototype iterations	4	4
Percent of parts modeled in solids	65%	80%
Average time to find information about product (min)	10 min	5 min
Possible saved time for this phase		5 min
<b>Organization/Team</b>		
Percent core team members physically collocated	50%	25%
<b>Production</b>		
Design/build/test iterations	2	1,8
Percent of parts used in multiple products	80%	
<b>Technology</b>		
Percent team members with full access to product data and product models	30%	60%
CAD workstation ratio (CAD workstations / number of team members)	1	1

Tableau 35 : critères de performance de la maquette, moyenne des réponses recueillies.

Nous tirons de ces résultats les trois constats suivants :

- La réduction du temps nécessaire pour trouver une information sur le produit (50%), et le doublement du nombre de personnes ayant accès à la totalité des informations correspond à l'un des objectifs du travail collaboratif, qui est de fournir à un maximum de personnes un accès aux informations rapide et fiable. La réduction de moitié du nombre de collaborateurs d'un projet situé au même endroit est aussi l'un des buts du partage de l'information par plate-forme de travail.
- La réduction du nombre de changement de conception en cours de processus est aussi un objectif d'une plate-forme de travail collaboratif. En effet améliorer la collaboration en amont de la conception, et ainsi améliorer les échanges entre les collaborateurs d'un même projet permet de se rendre compte plus vite d'un manque ou d'un défaut dans la conception des produits, et ainsi éviter des changements qui peuvent être coûteux au cours du processus.
- Le nombre d'itérations de conception/fabrication/test en phase de production de l'article varie peu (passage de 2 à 1,8 par article). La légère diminution (10%) est due à l'augmentation de la robustesse de la chaîne numérique, qui permettra de relever les erreurs de conception au plus tôt.
- Le pourcentage de pièces modélisées en produit physique passe de 65 à 80%. Cette augmentation envisagée de 15% s'explique par le développement prévu des technologies de prototypage rapide au sein de l'entreprise, afin d'avoir un rendu réel de certaines parties du produit (accessoires, fournitures, etc.).

Ensuite, certains critères ne semblent par contre pas être influencés par la plateforme collaborative. Ainsi, on peut relever :

- Le nombre d'itérations de prototype qui ne diminue pas avec l'utilisation d'outils collaboratifs. Cela s'explique par le fait que les prototypes sont examinés physiquement lors de réunion d'essayage afin de vérifier la taille, le rendu des couleurs et des formes, etc. Tous ces aspects ne sont pas simulables sur la maquette, et ainsi ne sont pas dépendants des outils de collaboration développés pour les acteurs du processus de développement, mais dépendent des fournisseurs de matières premières, et de la fabrication.

A l'aide de cette évaluation, nous déduisons que notre proposition de solution est adaptée aux besoins en travail collaboratif des équipes marketing de Devanlay. En effet les critères de l'amélioration de la

collaboration sont estimés comme évoluant dans le bon sens. Nous allons maintenant réaliser la synthèse de notre dernière expérimentation.

#### 4.4.3 SYNTHÈSE DE L'EXPERIMENTATION 3

Cette troisième expérimentation nous a permis de tester *in situ* et de faire valider par des utilisateurs finaux la pertinence d'un prototype d'outil support à un environnement collaboratif amont. Le prototype conçu répond à l'essentiel des besoins des départements consultés. La préparation de scénarios spécialement pensés pour chaque département amont interviewé, représentant leur mission dans le cycle de vie d'une collection, a été appréciée par les acteurs concernés.

##### 4.4.3.1 AU NIVEAU MODELE

Afin de situer cette dernière expérimentation par rapport à notre démarche globale, niveau "Modèle" (voir Figure 142 ci-dessous), nous convergions tout d'abord vers l'étape 4, qui consiste en la proposition d'un démonstrateur. Pour cela, notre démarche préconise, une fois les constats *in situ* réalisés dans l'entreprise, un approfondissement bibliographique de notre part sur les fonctionnalités demandées. Puis nous arrivons à l'étape 4, que nous espérons temporaire, qui est à l'intersection du domaine de la fourniture par la recherche scientifique (nous) d'un outil qui réponde à la demande de l'industrie et des utilisateurs finaux, mais qui n'est pas encore mis en application. En effet, le rôle d'un démonstrateur n'est pas d'être mis directement en service dans un contexte opérationnel. Notre objectif est ensuite, grâce aux tests utilisateurs que nous menons en entreprise, de converger de plus en plus vers une solution qui soit applicable, et appliquée dans l'entreprise (position 5 sur Figure 142 ci-dessous).

En relation avec la démarche globale que nous défendons dans cette thèse, les travaux menés lors de cette expérimentation nous ont permis :

- de développer un prototype d'outil support en lien direct avec les besoins des utilisateurs (la demande), après une analyse de l'existant poussée.
- d'optimiser cet outil en prenant en compte les retours d'expérience des utilisateurs, afin de tendre vers une proposition applicable à court terme dans l'entreprise.

La Figure 142 ci-dessous positionne également les apports de cette troisième expérimentation.

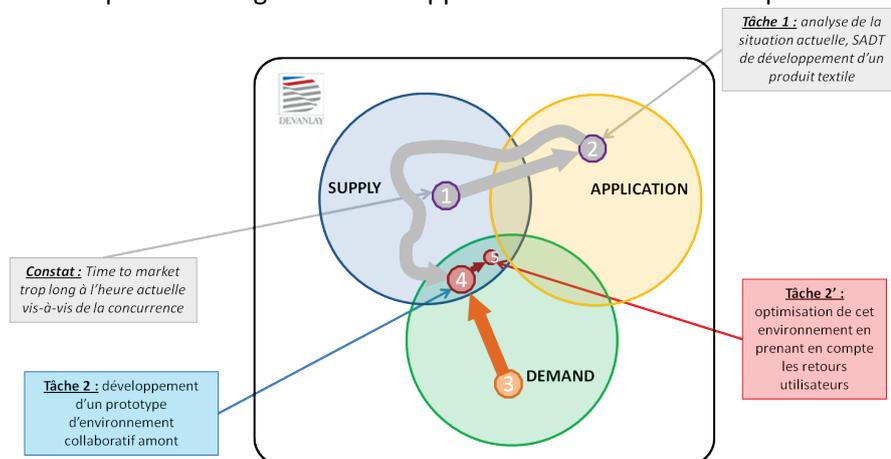
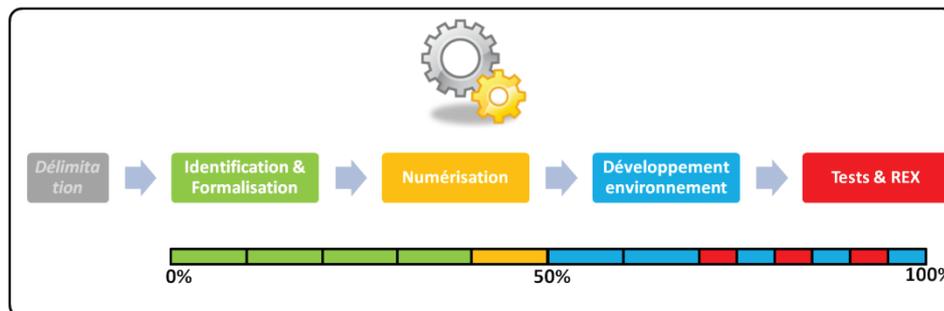


Figure 142 : méthodologie de définition d'un environnement collaboratif amont.

Les résultats des évaluations montrent que la conception amont dans le processus de développement d'une collection peut être améliorée par des outils de travail collaboratif. Nous avons pu ainsi mesurer la pertinence de notre proposition dans le but de répondre aux besoins en collaboration lors des phases amont du développement d'une collection. Le développement agile à l'aide du modèle MS Publisher de plate-forme nous a permis de faire rapidement des modifications de structure et d'ajouter facilement certaines fonctionnalités. Comparée à d'autres méthodes de modélisation, celle-ci permet une évolution rapide de la maquette afin de répondre à d'autres besoins, explicités lors des entretiens, de la conception amont de produits textiles.

Par rapport aux objectifs initiaux de l'expérimentation, le développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif centré sur les RI du produit prenant en compte les contraintes métiers nous permet de valider, lors des tests utilisateurs, la pertinence de notre proposition.

#### 4.4.3.2 AU NIVEAU OUTILS



Lors de cette expérimentation, nous avons passé environ 20% du temps à développer de manière agile une première version de maquette (v0). Puis nous avons réalisé les tests, avec une phase de développement après chaque phase de test. Au global, les tests utilisateurs représentent environ 15% de la tâche, et le développement 35% (à comparer aux 60% de la première expérimentation présentée à la Figure 107, p.143).

#### DISCUSSION SUR... NOTRE POSITIONNEMENT PAR RAPPORT A LA PROBLEMATIQUE ET AUX HYPOTHESES

Nous rappelons ici que notre problématique de recherche est la suivante : "Comment définir un environnement collaboratif multi-contraintes visant à favoriser le travail collectif dans le cadre de la conception amont ?". Afin de répondre à cette problématique, nous avons au cours de cette troisième expérimentation développé puis optimisé en accord avec les attentes des utilisateurs un prototype d'outil collaboratif amont. L'objectif de cette expérimentation est de valider la pertinence de notre seconde hypothèse de recherche. En effet, afin de favoriser la définition d'un environnement collaboratif amont, nous faisons l'hypothèse que les contraintes métiers doivent être prises en compte dès les phases amont de conception, par les RI du produit. La formalisation préalable du processus de conception du produit nous permet de dresser une liste exhaustive des RI échangées entre les acteurs de la conception. Parmi ces RI, nous proposons une méthode de cartographie afin de déterminer lesquelles sont les vecteurs les plus importants de collaboration. Nous proposons ensuite de structurer l'environnement collaboratif autour de ces RI privilégiées, ou RI clefs, qui permettent de prendre en compte les contraintes au plus tôt.

- **Positionnement n°1 par rapport à H2** : nous montrons que notre deuxième hypothèse est nécessaire mais non suffisante. En effet, il faut, préalablement au développement d'un environnement collaboratif, recenser les contraintes métiers qui doivent être prises en compte dès les phases amont de conception. Il existe des RI clefs qui sont des supports privilégiés de la communication et qui permettent de prendre en compte ces contraintes au plus tôt. Cependant, nous constatons que toutes les contraintes métiers ne sont pas uniquement portées par les RI (25% dans notre expérimentation). Le reste des contraintes métiers est majoritairement porté par l'architecture et le processus de développement de l'outil support.
- **Positionnement n°2 par rapport à H2** : nous montrons que la méthode de cartographie permettant de repérer les RI clefs du processus de conception amont fournit un support solide pour la structuration du prototype (80% de satisfaction). Ces modifications permettent de réduire de 50% le temps nécessaire afin de trouver une information, et également de réduire le nombre de changements en cours de conception de 40%, ce qui représente un gain substantiel.

Cette dernière expérimentation nous conduit à réaliser la synthèse globale de nos trois expérimentations, en vue de conclure sur nos hypothèses.

## 4.5 SYNTHÈSE DES EXPÉRIMENTATIONS

### 4.5.1 SYNTHÈSE GLOBALE DE LA DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE : CONVERGENCE ENTRE LE NIVEAU "MODELE" ET "OUTILS"

Notre démarche expérimentale repose sur le modèle en cinq phases présenté au chapitre 3.4., p.122. Nous en rappelons sur la Figure 143 ci-dessous les principales étapes :

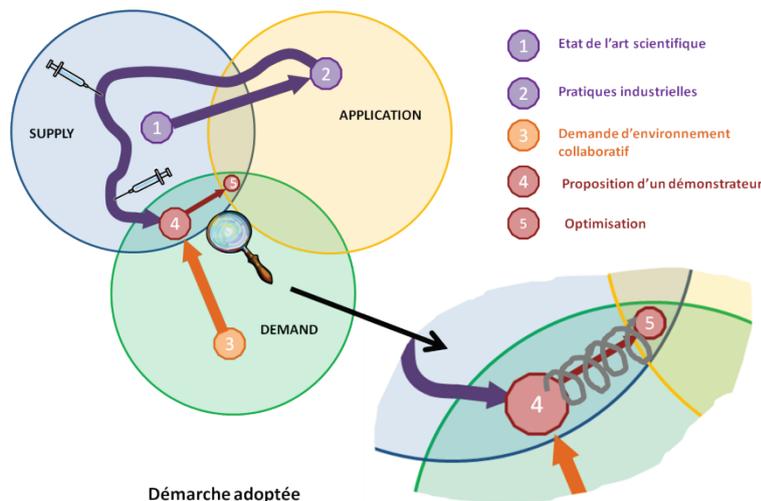


Figure 143 : démarche de nos travaux de thèse, niveau "Modèle", afin de définir un environnement collaboratif amont.

La première étape de la démarche consiste à réaliser un état de l'art exhaustif ainsi qu'une veille technologique sur les environnements collaboratifs adaptés à la conception de produit.

La deuxième étape a pour but d'analyser les pratiques industrielles en place dans plusieurs industries afin de subvenir aux besoins en collaboration. Nous proposons, lors de cette étape, d'identifier les RI échangées suivant le formalisme de (Aoussat 1990) et grâce à un outil type SADT "orienté" RI. Ensuite, nous proposons de quantifier le nombre de RI qui sont numérisables et numérisées afin d'exploiter au mieux la chaîne numérique du produit. Ainsi, l'étape 2 de la démarche orientée "Modèle" est modélisable sur le terrain par les étapes entourées en rouge ci-dessous, au niveau "Outils".



La troisième étape est la demande d'un industriel "lambda" afin de lui proposer un environnement collaboratif adapté à ses besoins. On a alors une convergence vers l'étape quatre suivante avec deux principaux flux :

- le flux de l'étape 2 vers 4, qui montre un approfondissement scientifique ciblé vis-à-vis de la problématique industrielle de l'industriel "lambda".
- le flux de l'étape 3 vers 4, qui montre un enrichissement lié à l'échange avec l'industriel afin de mieux comprendre les attentes respectives.

La quatrième étape est une étape de convergence vers le domaine à l'intersection entre le "Supply" et "Demand". Le livrable principal de cette étape est un démonstrateur dont le but est de prouver la viabilité du concept.

La cinquième étape est une étape d'optimisation itérative de l'environnement suite aux tests. Cette étape fait intervenir des utilisateurs finaux de l'environnement collaboratif afin de recueillir leurs impressions et leurs voies d'amélioration du prototype.

Ces deux dernières étapes sont modélisables par le schéma ci-dessous.



Cette convergence et la complémentarité des modèles que nous avons développés au niveau "Modèle" et "Outils" nous conduisent à synthétiser ces approches en un seul modèle prescriptif d'une méthode agile de développement d'un environnement de travail collaboratif amont centré sur les RI du produit et prenant en compte les contraintes métiers. Ceci est symbolisé dans la Figure 144 ci-dessous et le modèle issu de nos travaux de thèse est présenté dans la 5<sup>ème</sup> partie.

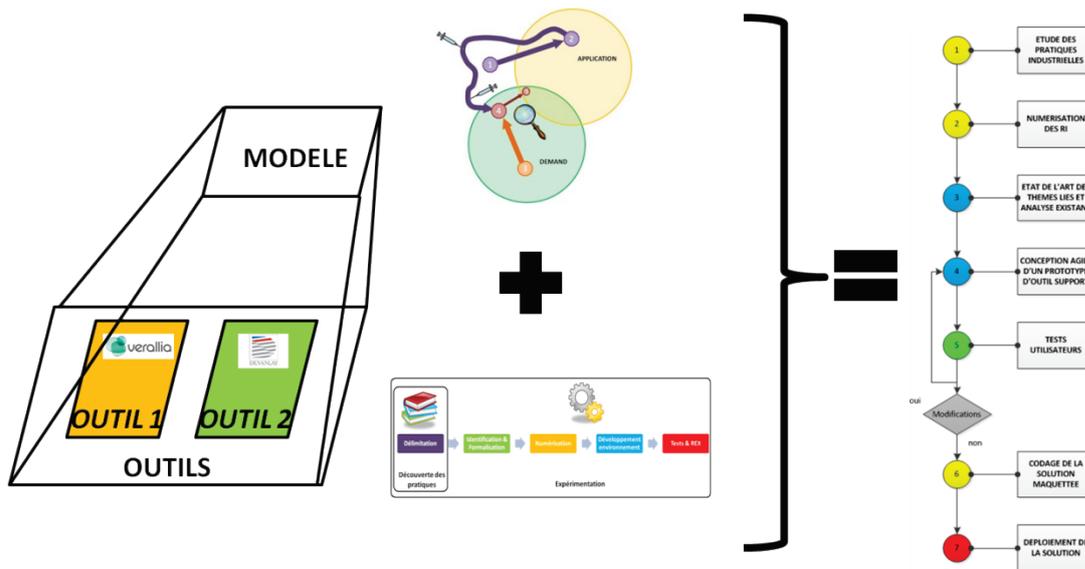


Figure 144 : convergence du niveau "Modèle" et "Outil" liés à nos expérimentations vers un modèle global de développement d'un environnement collaboratif.

#### 4.5.2 VALIDATION DES HYPOTHESES

Les expérimentations réalisées dans le cadre de cette thèse sont articulées autour de l'identification, de la définition et du développement d'un prototype d'environnement collaboratif amont.

La première expérimentation s'est fortement appuyée sur la nécessaire formalisation du cycle de développement d'un produit afin d'identifier quels sont les acteurs concernés, leurs métiers, les outils qu'ils utilisent ainsi que leurs méthodes de travail. Alors, le triptyque "acteur/méthode/outil" permet de définir au mieux les besoins en terme d'environnement collaboratif associé. Cette expérimentation, fondée sur une approche descriptive, à base d'entretiens, montre que la majorité des RI manipulées dans les phases de conception amont sont des fichiers de type image. De cette expérimentation a émergé la notion de RI clefs, qui servent par la suite de support à la définition d'un environnement collaboratif amont. Notre démarche à base de questionnaires et d'entretiens a été construite en s'inspirant d'études existantes comme celles de (Baccino et al. 2005) ou de (De Ketele et al. 1993). Le protocole de l'expérimentation 2 a ensuite été construit en utilisant les connaissances produites par l'expérimentation 1. Une méthode de détermination des RI clefs, à base de cartographie, a été présentée, puis un environnement collaboratif amont centré sur les RI a été proposé. Les expérimentations s'enchaînent donc les unes aux autres et viennent répondre aux hypothèses (voir Figure 145 ci-dessous).

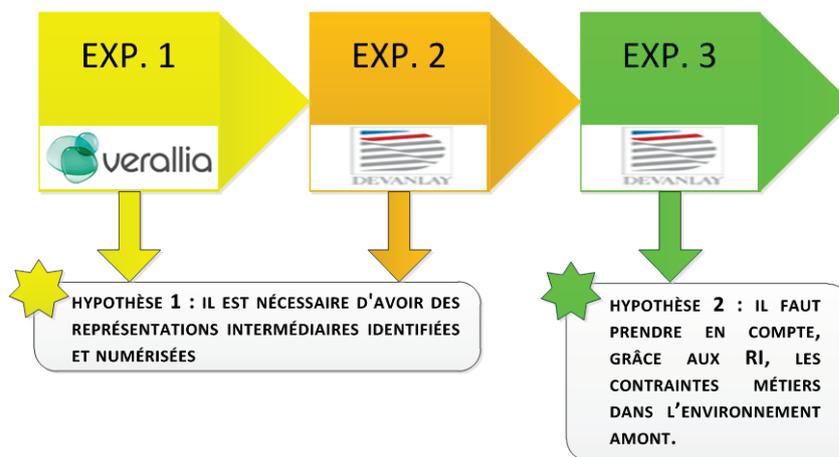


Figure 145 : enchaînement logique des expérimentations en vue de répondre aux hypothèses.

Les expérimentations 1 et 2 montrent que les RI échangées au cours des phases de conception amont sont essentiellement des images et qu'il est possible d'identifier parmi celles-ci, des RI clefs supports du processus collaboratif. Il est donc nécessaire d'avoir des RI identifiées. La numérisation de ces RI est un plus qui favorise encore l'intégration du processus dans une chaîne numérique globale. L'expérimentation 3 montre que la prise en compte des contraintes métiers dans la conception de l'environnement amont est nécessaire mais pas suffisante dans l'objectif de réaliser le développement d'un logiciel support.

#### DISCUSSION SUR... NOTRE POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE

Les trois expérimentations menées au cours de ces travaux de thèse nous permettent de confronter notre positionnement par rapport à la bibliographie réalisée dans le cadre de l'état de l'art. Nous faisons ici une synthèse de notre positionnement scientifique, appuyé par nos études de terrain.

- **Par rapport aux travaux de (Noël et al. 2003) et de (Tseng et al. 2008) :** nous confirmons notre positionnement en accord avec ces travaux. En effet, notre terrain expérimental montre que les suites logicielles intégrées ne sont pas l'unique solution afin de concevoir un produit de manière collaborative. Dans le cadre de nos travaux avec Verallia et l'agence Terre-Neuve, l'intégration d'une solution unique ne répond pas aux besoins des entreprises car les cultures métiers sont trop différentes. Pour Devanlay, l'histoire du développement de l'entreprise a amené à privilégier une extension des outils dédiés aux phases situées plus en "aval" de la conception. Il n'y a donc pas de suite collaborative intégrée, ce qui ne nuit en rien aux échanges. Ainsi, le contexte culturel et environnemental dans lequel l'outil doit s'intégrer est primordial dans la mise en place d'un environnement collaboratif amont.
- **Par rapport aux travaux de (Greer et al. 2011) :** nous concluons que les méthodes agiles, qui ont pour but de répondre au besoin de développer un logiciel rapidement, dans un contexte de changements rapides des spécifications du cahier des charges, s'adaptent au prototypage d'un outil support de l'environnement collaboratif amont. Ce contexte correspond à celui que nous avons rencontré lors des expérimentations avec nos industriels : peu de temps pour formaliser les choses, développement par itérations, importance de la matérialisation rapide d'une solution afin de faire avancer la conception. Le pragmatisme de cette méthode nous conduit à déconseiller un développement informatique classique d'un prototype dynamique, à des fins de gain de temps. Notons qu'une fois les tests réalisés, l'étape suivante consiste en un développement informatique plus conséquent, qui sort alors du périmètre de la conception agile telle que nous l'avons mise en œuvre dans nos travaux.

- **Par rapport aux travaux de (Levan et al. 1994) et (Restrepo 2006)** : nous validons la combinaison des méthodes de développement de groupware et d'un développement agile qui permet d'optimiser la réponse aux besoins des utilisateurs. Nous proposons pour cela dès l'étape de conception des interfaces des maquettes dynamiques, animées selon un scénario défini lors d'entretiens semi-dirigés préalables à ce développement avec les utilisateurs finaux. Enfin, sur le plan opérationnel, nous validons la modularisation des activités afin de diminuer le temps de développement, mais la conception des modules doit alors se faire de manière concurrente.
- **Par rapport aux travaux de (Micaëlli et al. 2003)** : nos expérimentations confirment que, au sein des projets de conception routinière, les projets de construction (*i.e.* visant à proposer une variante d'un produit existant), sont les plus à même, vis-à-vis des projets d'amélioration, d'être le support d'un environnement collaboratif amont car ils font intervenir des acteurs pluridisciplinaires. Notre modèle de développement peut également s'adapter, par la suite, aux projets d'amélioration (qui peut le plus, peut le moins) ; mais l'intégration de tous les métiers des phases amont peut alors perdre de son intérêt.

Nous allons maintenant, dans la dernière partie de ce manuscrit, présenter une synthèse de nos apports liés à ces travaux de thèse, et en particulier proposer un modèle de définition d'un environnement collaboratif amont, issu de la confrontation de notre état de l'art et des expérimentations.

## 5 APPORTS





L'objectif de cette partie est de faire la synthèse des apports de ces travaux de thèse, tant au travers de l'état de l'art scientifique et des pratiques industrielles, que par le truchement de nos expérimentations successives. Nous commençons par une présentation des apports expérimentaux, puis proposons une méthode agile de développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif amont, éprouvé lors de notre dernière expérimentation.

## **5.1 PRESENTATION DES APPORTS**

Les apports de ce travail de thèse peuvent être classifiés en deux catégories distinctes : ceux liés à l'analyse de l'état de l'art scientifique, et ceux liés à nos études de terrain.

### **5.1.1 APPORTS LIES A L'ETAT DE L'ART SCIENTIFIQUE**

Notre état de l'art scientifique nous permet de formaliser les quatre apports suivants :

- nous avons, suite à notre état de l'art, présenté les modèles de processus de conception de produit les plus courants ainsi que leurs domaines d'applications.
- afin de restreindre notre champ de recherche, nous avons défini clairement les limites de la conception amont.
- puis nous avons décrit les apports des NTIC aux pratiques collaboratives. Nous avons également pris des exemples de collaboration en conception de produits, en tenant compte de l'évolution des outils supports (groupware).
- enfin, nous avons défini le rôle des RI du produit dans la conception de produit ainsi que l'intégration des méthodes de développement agiles.

### **5.1.2 APPORTS LIES AUX ETUDES TERRAIN**

Nos études sur le terrain, en lien avec nos deux partenaires industriels Verallia et Devanlay, nous permettent également de formaliser les six apports suivants :

- tout d'abord nous avons, par ces études, formalisé dans le détail le processus de conception de deux produits différents : un produit verrier et un produit textile.
- nous avons ensuite analysé, à la lumière de notre état de l'art, les frontières de la conception amont pour chacun de ces produits.

- nos entretiens nous ont permis de synthétiser des voies d'amélioration de l'environnement existant.
- nous avons ensuite pu mettre en œuvre une méthode de développement adaptée au domaine du textile, jusqu'à la validation par les utilisateurs finaux.
- nous avons pu également quantifier nos apports grâce à la définition de métriques adaptées au cas d'étude concerné.
- enfin, notre principal apport réside dans la méthode agile de définition d'un environnement de travail collaboratif que nous présentons dans le chapitre suivant.

L'ensemble de ces apports, ainsi que les expérimentations réalisées, nous permettent de proposer un modèle à destination des entreprises afin de développer un environnement collaboratif amont. Nous allons, dans le chapitre suivant, présenter le concept à la source de ce modèle, puis les apports de ce modèle et nous le positionnerons par rapport à l'existant. Enfin, nous verrons comment l'exploiter.

## **5.2 SPECIFICATION D'UNE METHODE AGILE DE DEVELOPPEMENT PRESCRIPTIF D'UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL COLLABORATIF AMONT CENTRE SUR LES RI PRENANT EN COMPTE LES CONTRAINTES METIERS**

### **5.2.1 GENESE DU MODELE**

Nous avons, au cours de ces travaux de thèse, défini une démarche à deux niveaux différents afin de répondre à notre problématique de recherche. Tout d'abord une réflexion sur la méthode à suivre afin de proposer un modèle de définition d'un environnement collaboratif amont (niveau "Modèle"). C'est le modèle de plus haut niveau de nos travaux. Ensuite un protocole opérationnel afin de mener à bien les actions nécessaires à la réalisation et à l'optimisation d'un environnement collaboratif amont (niveau "Outil"). C'est le modèle pratique, à suivre sur le terrain dans l'objectif de créer un environnement collaboratif amont.

La démarche suivie au niveau "Modèle" est représentée sur la Figure 146 ci-dessous. La finalité de cette démarche est de proposer un modèle permettant de supporter le développement d'un environnement collaboratif amont, dans un contexte industriel.

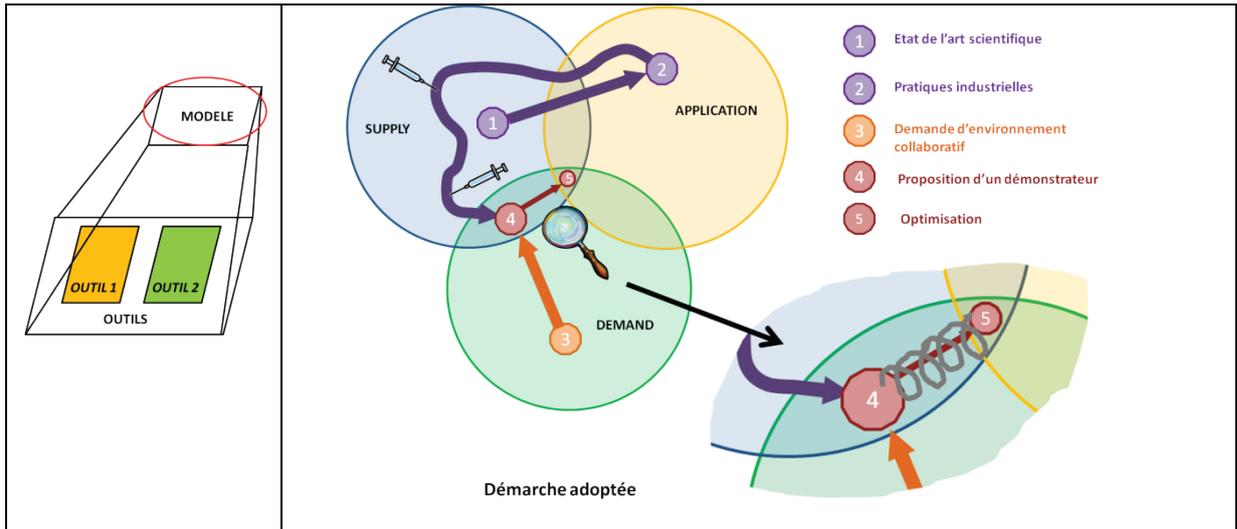


Figure 146 : démarche niveau "modèle" de nos travaux de thèse afin de définir un environnement collaboratif amont.

Notre démarche se décompose en cinq phases, classées chronologiquement, que nous résumons ci-après. La première étape de la démarche consiste à réaliser un état de l'art exhaustif. La deuxième étape a pour but d'analyser les pratiques industrielles. La troisième étape est la demande d'un industriel en environnement collaboratif. La quatrième étape est une proposition de prototype. La cinquième et dernière étape est une étape d'optimisation.

La démarche suivie au niveau "Outils" est présentée ci-dessous. C'est le modèle pratique, à suivre sur le terrain dans l'objectif de créer un environnement collaboratif amont, présenté à la Figure 147 ci-dessous.

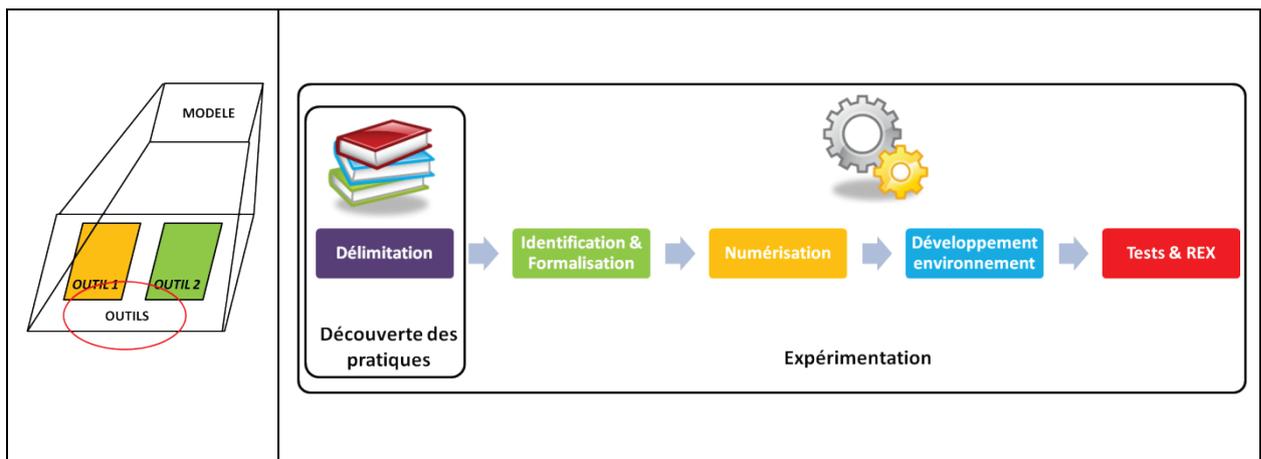


Figure 147 : démarche niveau "outils" de nos travaux de thèse afin de définir un environnement collaboratif amont

La phase de délimitation consiste à aller dans l'entreprise et, par l'intermédiaire d'entretiens à découvrir les pratiques et comprendre la manière dont un produit est conçu afin de fixer la limite de la conception amont et des acteurs à rencontrer. La phase d'identification et de formalisation vise à analyser le processus de développement du produit concerné. La numérisation a pour objectif de définir des RI numérisées du produit. La phase de développement de l'environnement consiste à maquetter un environnement

collaboratif amont de manière dynamique et agile. Enfin, la phase de tests et retour d'expérience (REX) a pour but l'optimisation du prototype.

Ces deux modèles sont complémentaires. Par exemple, l'étape de "Formalisation" du niveau "Outils" nécessite des fondements bibliographiques étudiés à l'étape 1 du niveau "Modèle" ; ou encore le développement d'un environnement nécessite une bonne connaissance des pratiques industrielles et une veille des fonctionnalités collaboratives proposées par les NTIC.

Afin de permettre une utilisation dans des applications industrielles, et d'envisager une numérisation future à travers un outil logiciel d'aide à la définition d'environnement collaboratif amont, la première étape consiste en la proposition d'un modèle de développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif. Ainsi, dans le cadre d'une demande industrielle de déploiement d'un environnement collaboratif amont, l'application de notre modèle prescriptif permet d'aboutir au déploiement d'un outil correspondant aux besoins (voir Figure 148).



Figure 148 : proposition de mise en œuvre industrielle du modèle.

Ce modèle, présenté dans le chapitre suivant, reprend les étapes que nous avons développées au niveau "Modèle" et les décline jusqu'au niveau "Outils" afin de détailler au maximum la marche à suivre. Il s'agit d'un protocole exhaustif, présentant des itérations, synthèse entre les deux démarches que nous avons défendues au cours de ces travaux. Celui-ci est symbolisé dans la Figure 144 ci-après et le modèle issu de nos travaux de thèse est présenté dans le chapitre suivant.

## 5.2.2 PRESENTATION DU MODELE

Dans le cadre de notre recherche, nous proposons d'outiller les chefs de projet en charge de projets de conception routinière (idéalement de construction, l'adaptation aux projets d'amélioration étant cependant possible), d'un modèle générique leur permettant de définir un environnement collaboratif amont adapté à leurs besoins. Notre état de l'art nous a par ailleurs orienté dans cette voie, la solution d'un environnement unique n'étant pas viable industriellement. Ce modèle peut également servir dans le cas du montage d'une nouvelle structure non pourvue d'environnement collaboratif, et envisageant un déploiement multisites dans un avenir proche. L'un de nos principaux apports est la définition d'une méthode agile de développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif amont centré sur les RI du produit, prenant en compte les contraintes métiers. La mise en œuvre de notre modèle, à destination des chefs de projets et de leurs équipes est réalisable par un prestataire extérieur. En effet, une équipe de développement externe peut intervenir afin de développer un environnement collaboratif amont. Nous recommandons de sous-traiter cette partie car cela permet d'avoir un regard neutre sur le processus de conception du produit. Il est ainsi plus facile de détecter certains problèmes qui peuvent être

entrés dans les habitudes de conception au fil du temps. Les ressources nécessaires à la mise en place du modèle de manière industrielle sont :

- un chef de projet disponible afin d'expliquer le processus de conception du produit.
- des intervenants de chaque métier entrant en jeu dans la conception amont (au moins un par métier).
- une équipe extérieure (environ deux personnes) à l'entreprise pour la définition et la formalisation du besoin, le développement agile du prototype dynamique, ayant fait une veille technologique sur les modes de communication adaptés au milieu industriel concerné.
- une équipe de codage de la solution définitive (quatre à six personnes).

L'articulation entre ces personnes est présentée sur la Figure 149 ci-dessous. La partie gauche situe le cas général et la partie droite montre le cas particulier des expérimentations 2 et 3 liées à nos travaux de thèse (déploiement non réalisé).

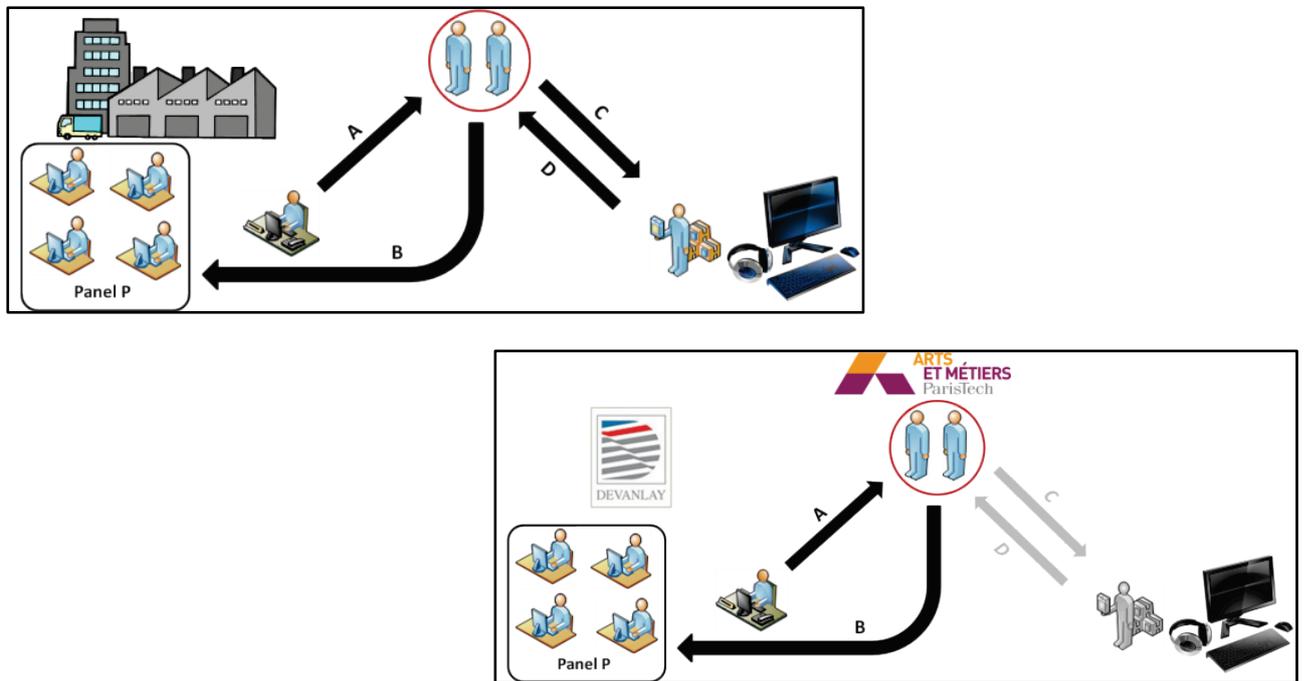


Figure 149 : synoptique d'utilisation du modèle présenté.

Le chef de projet sollicite un prestataire extérieur afin de développer un environnement collaboratif amont (étape A). Il met à disposition du prestataire un panel représentatif des métiers de la conception amont (panel P). Ensuite, le prestataire développe les prototypes dynamiques et fait réaliser les tests utilisateurs (étape B). Le codage et le déploiement finaux peuvent être sous-traités par le prestataire à une société informatique (étapes C et D).

Le modèle général est présenté sur la Figure 150 ci-dessous.

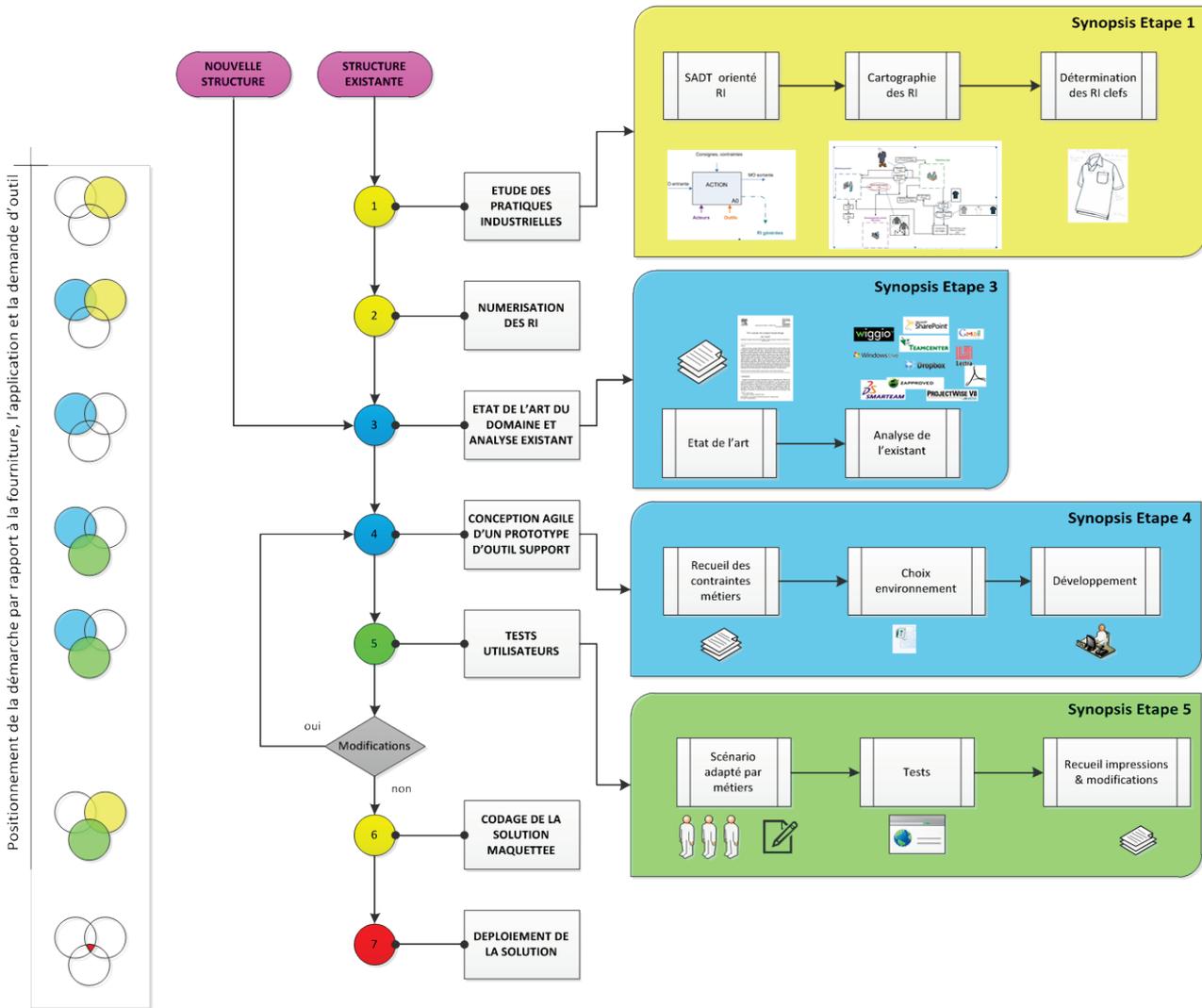


Figure 150 : proposition d'un modèle de spécification d'une méthode agile de développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif amont centré sur les RI prenant en compte les contraintes métiers.

On voit que ce modèle est construit en trois parties. La partie centrale montre les macro-étapes à suivre afin de concevoir un environnement collaboratif amont. La partie droite détaille, en s'appuyant principalement sur notre modèle "Outils" les phases les plus denses. Enfin, la partie gauche en bandeau présente, par rapport à notre démarche niveau "Modèle", quels domaines sont concernés en fonction de l'étape du processus général. Par souci de clarté nous avons employé un code couleur simple : le domaine jaune est celui de l'application industrielle, le domaine bleu est celui du monde universitaire et le domaine vert représente la demande industrielle. L'intersection de ces trois domaines, atteinte à l'étape 7, représente la fourniture par le monde universitaire d'un outil répondant à une demande industrielle et mis en application sur le terrain... en résumé l'outil idéal de collaboration amont. Notre modèle se décompose en sept étapes principales, qui permettent d'aboutir au déploiement d'un environnement collaboratif amont, appliqué au secteur concerné.

La première étape consiste en la formalisation du processus de conception amont à l'aide de l'outil SADT orienté RI, puis en la réalisation d'une cartographie des RI afin d'identifier quelles sont les RI clefs dans la collaboration entre les services. Cette étape s'applique dans le cas d'une structure existante, avec des habitudes de conception qu'il est possible d'étudier et de formaliser.

La deuxième étape consiste, quand elle est possible, à numériser les RI qui ne le seraient pas encore. Il faut noter que, dans le cadre d'un développement d'environnement collaboratif alors que la structure support est également nouvelle, les étapes 1 et 2 sont sans objet, et le processus commence alors directement à l'étape 3.

La troisième étape prévoit un état de l'art recentré par rapport au domaine d'expertise de l'entreprise, ainsi qu'une analyse des solutions existantes afin de trier les fonctionnalités utiles au développement.

La quatrième étape consiste en la conception agile d'un prototype d'outil support. Tout d'abord, cela nécessite un recueil, par l'intermédiaire d'entretiens semi-dirigés réalisés sur un panel représentatif des métiers liés à la conception amont, des contraintes métiers afin de les intégrer dans le développement. Puis, un choix de développement d'un environnement de développement est effectué (MS Publisher® dans notre cas, mais cela peut varier en fonction des compétences de l'équipe projet), avant l'étape de développement à proprement parler.

La cinquième étape consiste en des tests utilisateurs. Une fois une version initiale de l'environnement développée (v0), une première série de tests est réalisée, les modifications à apporter sont recueillies et une nouvelle itération de développement est lancée. Ensuite, c'est au tour de la version 1 d'être testée, etc. de manière itérative sur un panel d'au moins trois personnes. Quand les modifications suggérées deviennent minimales, le codage "industriel" de la solution est envisagé (étape 6), avant le déploiement dans l'entreprise du nouvel outil (étape 7).

### 5.2.3 POSITIONNEMENT PAR RAPPORT A L'EXISTANT

Il n'existe pas à l'heure actuelle, à notre connaissance, de modèle de définition d'un environnement collaboratif amont centré sur les RI du produit et prenant en compte les contraintes métiers des acteurs de la conception. Cependant, il existe des travaux visant à favoriser la collaboration dans les Collaborative Design Environments (CDE), ou Collaborative Engineering Environments (CEE) c'est-à-dire les Environnements de Conception (ou d'Ingénierie) Collaborative en français. Il s'agit d'un environnement automatisé qui permet aux acteurs (y compris les designers, les ingénieurs, les managers et les clients) de collaborer et d'interagir au cours du développement d'un nouveau projet, peu importe leur situation géographique et leurs moyens d'interaction (Shen 2003). Cependant, peu de travaux sont centrés sur la définition d'un environnement collaboratif amont.

Ainsi, (Mejía et al. 2007) notent que plusieurs systèmes ont été développés afin de favoriser les collaborations dans des activités spécifiques tout au long du cycle de vie du produit, avec une accentuation forte sur les activités liées à la CAO. Les travaux de ces auteurs se fondent sur une recherche action afin de présenter une méthodologie pour concevoir et intégrer un environnement collaboratif. Le modèle présenté est développé et affiné grâce à des cycles de recherche action appliqués à différents cas d'études, aussi appelés boucles d'apprentissage. Chaque cas d'étude est décrit selon un cycle "Plan/Act/Observe/Reflect" ou "Planification/Action/Observation/Réflexion". La première étape consiste en une configuration de l'environnement collaboratif, les étapes deux et trois représentent l'implémentation et l'exécution de

l'environnement. Enfin, la phase de réflexion inclue le REX et les documentations nécessaires afin de modifier les anciennes méthodes de travail des utilisateurs.

Au niveau de la méthode mise en œuvre afin de développer cet environnement, les auteurs notent qu'il existe principalement trois défis à relever lors de la mise en place de tels environnements :

- tout d'abord, il faut arriver à définir un processus de développement de produit intégré, commun à toutes les entreprises qui collaborent sur le projet.
- ensuite, il faut développer des environnements qui améliorent la collaboration entre les équipes d'ingénieurs.
- enfin, il faut intégrer des applications et des outils qui permettent l'échange d'information et de connaissances entre les ingénieurs.

Le processus de définition d'un environnement de travail collaboratif est présenté sur la Figure 151 ci-dessous.

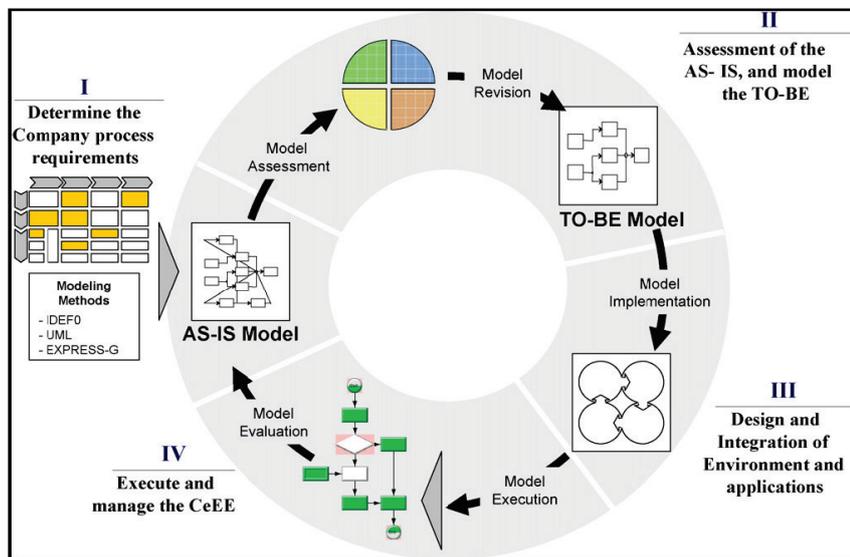


Figure 151 : processus de définition d'un environnement de conception collaborative, extrait de (Mejía et al. 2007).

Ce processus présente quatre phases principales.

La première phase consiste en l'étude des processus de l'entreprise, afin de déterminer le modèle "As Is" de l'entreprise. Les auteurs proposent d'utiliser un modèle de référence afin de définir le workflow de l'entreprise. Ici, des représentations graphiques du processus sont utilisées afin de trouver, par exemple, les informations doublons. Dans une deuxième étape, le processus "idéal" (To Be) est modélisé en traduisant l'analyse de l'équipe dédiée à la refonte du processus. La troisième étape consiste à modéliser le workflow, à sélectionner les applications d'ingénierie à intégrer à l'environnement, puis à connecter l'environnement et les applications avant de prévoir des mesures de performance et des techniques de monitoring afin de suivre l'évolution des pratiques. Enfin, la dernière étape consiste en une mise en œuvre et une gestion de l'environnement.

Par rapport aux travaux de (Mejía et al. 2007), nous privilégions un environnement collaboratif fondé sur les RI du produit. Ce choix nous permet, dès les phases amont, d'intégrer les contraintes des utilisateurs qui ne sont pas détaillées dans leur approche. Ensuite, nous pensons que le développement de maquettes dynamiques est un préalable à la phase de conception, qui est l'étape trois présentée sur la Figure 151.

Enfin, nous constatons que leur modèle est principalement à destination des ingénieurs, et donc très orienté BE/BM. Dans ces phases, les métiers (et donc les contraintes) sont relativement restreints et on peut arriver assez facilement à collaborer via une RI commune à tous les métiers. Ceci est plus difficilement réalisable dans les phases de conception amont car, nous l'avons vu, la multiplicité des RI est grande. Enfin, l'approche défendue par (Mejía et al. 2007) n'intègre pas de développement agile de prototypes qui soient validés par les utilisateurs finaux. Le risque est alors de s'éloigner du besoin initial.

Par rapport aux travaux de (Restrepo 2006), notre proposition est orientée vers la conception amont des produits. Elle est également plus détaillée, et porte principalement sur les premières étapes du modèle qui est présenté (jusqu'à la partie développement informatique pour nos étapes 1 à 5). Nous pensons en effet que la définition des besoins en collaboration, la détermination des RI clefs du produit, l'analyse et la formalisation préalable des pratiques de l'entreprise ainsi que le benchmark des logiciels existants est une valeur ajoutée de notre proposition dans l'objectif de répondre au plus près aux attentes.

## **5.2.4 MISE EN OEUVRE DU MODELE**

### **5.2.4.1 APPORT DU MODELE AU DEVELOPPEMENT D'UN ENVIRONNEMENT COLLABORATIF AMONT**

L'état de l'art a montré les spécificités liées à la conception amont d'un produit industriel. En particulier, l'accent a été mis sur le caractère multi-métiers, multi-interactions et donc multi-contraintes. Nous avons également noté une moins grande formalisation des phases amont du processus de conception, d'où une difficulté d'outiller ces étapes (Mougenot 2008). Notre modèle de développement d'environnement collaboratif apporte une méthode "sur mesure" afin de proposer un outil adapté aux besoins des utilisateurs (chefs de projet) par une démarche agile de conception de prototype.

L'exploitation de ce modèle, de niveau macroscopique, permet au chef de projet d'avoir une vision d'ensemble du processus de développement d'un produit. Nous nous plaçons principalement dans le contexte de projets de conception routinière, idéalement de construction, l'adaptation aux projets d'amélioration étant cependant possible. Les acteurs de la conception sont connus, mais le processus global n'est pas forcément modélisé. Nous rappelons que nous recommandons de faire appel à un prestataire extérieur afin de mettre en place cette démarche. La première étape permet d'avoir une vue d'ensemble des RI échangées. La cartographie des RI réalisée peut également servir au développement d'autres systèmes d'informations de l'entreprise. La deuxième étape permet de contribuer à la numérisation progressive du processus de conception industriel. Ensuite, la troisième étape d'état de l'art suppose l'analyse fine de l'état de l'art et le benchmark des outils actuels. Etant donné l'avancée rapide des technologies dans ce domaine, il est conseillé de réaliser une veille technologique régulière afin de faire des propositions qui font sens ou de faire appel à une personne extérieure, spécialisée dans le domaine. La suite du modèle préconise un développement agile d'un prototype, puis des tests utilisateurs et un codage et déploiement de la solution. Les modules ont été développés grâce à une combinaison d'informations provenant de l'état de l'art, du recueil des contraintes utilisateurs et des expérimentations ; on voit dans le Tableau 36 ci-dessous comment le prototype "CoTeEn" développé lors de nos travaux répond aux besoins principaux des utilisateurs en terme d'environnement collaboratif appliqué au domaine du textile.

Source	Besoin principal identifié	Application à CoTeEn
Etat de l'art	Nécessité de formalisation des phases amont	Utilisation du SADT orienté RI et formalisation issue de (Aoussat 1990)
Exp. 1 & 2	Collaboration autour des RI images du produit	Outil d'annotation dynamique
Exp. 3	Besoin de développement rapide et d'intégration des contraintes métiers	Utilisation d'une méthode de développement agile

Tableau 36 : réponse aux besoins utilisateurs du prototype développé.

### 5.2.4.2 APPORTS DU MODELE A L'OPTIMISATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION

Notre modèle s'insère naturellement dans une dynamique d'optimisation et de numérisation progressive du processus de conception. En effet, si l'on reprend la Figure 152 ci-dessous, on note que notre contribution à cette optimisation se situe juste en aval des travaux de (Restrepo 2006) qui propose une méthode d'explicitation des besoins ; de (Lahonde 2010) qui propose un outil d'aide au choix des méthodes de conception ; de (Mougenot 2008) qui propose un outil d'aide à l'exploration pour les designers. De plus, ces deux derniers outils pourraient être intégrés à un outil collaboratif amont (du type de "CoTeEn"), en tant que logiciels métiers à part entière et venant donc supporter l'amont de la conception.

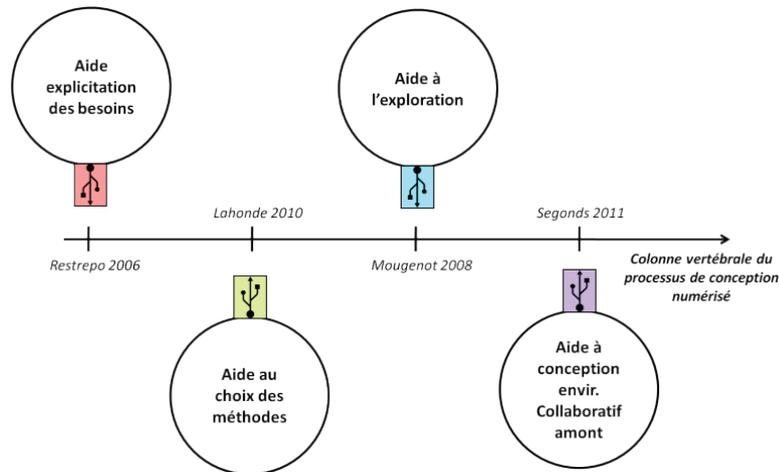


Figure 152 : agencement des travaux de thèse, vers une numérisation du processus de conception.

Nous avons donc défini au cours de nos travaux une démarche à deux niveaux différents afin de répondre à notre problématique de recherche. La réflexion sur la méthode à suivre a permis de proposer un modèle de définition d'un environnement collaboratif amont, niveau "Modèle", de plus haut niveau. Ensuite un protocole opérationnel a été mis en place afin de mener à bien les actions nécessaires à la réalisation et à l'optimisation d'un environnement collaboratif amont, au niveau "Outil". Au sein des laboratoires LCPI et LSIS, nos travaux ont été menés dans l'optique que la numérisation du processus de conception contribue à l'optimisation de la conception, et que la représentation géométrique du produit est au cœur des échanges. Notre recherche s'intègre dans ces démarches globales, avec un éclairage particulier sur les phases amont de conception.





## 6 CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES



L'ambition de nos travaux de thèse est d'outiller les chefs de projet afin de développer un environnement collaboratif amont et, ainsi, réduire ses temps de développement. Dans ce cadre, notre état de l'art scientifique a montré le manque de méthodes et d'outils supports à l'heure actuelle dans ces phases du processus de conception. Ce dernier chapitre synthétise les apports liés à notre recherche, et présente les perspectives de nos travaux au niveau du développement d'un outil support, puis au niveau de la recherche.

## **APPORTS DE RECHERCHE**

L'évolution des NTIC a permis de nombreux changements dans les pratiques de conception. En effet, celles-ci tendent vers de plus en plus de collaboration, dans des environnements de conception distribués. Dans un même temps, les entreprises ont dû s'adapter à ces changements. Si, pour certaines, la solution retenue a été de repenser entièrement leur processus de conception de produit, d'autres ont choisi d'adapter leurs outils aux contraintes induites par l'intégration progressive de plusieurs métiers dans leurs processus de conception. Ainsi, le tissu industriel présente une variété importante dans les outils supports de la collaboration et les configurations possibles sont quasi infinies. Face à cette complexité, deux choix se présentent : l'outil de travail universel (choix n°1, prôné par de nombreux éditeurs de logiciels, mais qui n'existe pas encore) ou bien la solution la plus pertinente qui consiste à analyser les besoins industriels avant de fournir une réponse "sur mesure" à leurs attentes collaboratives. Certes, cette approche n'est pas très "commerciale", c'est-à-dire que l'idée est d'avoir une certaine neutralité afin d'orienter l'utilisateur sans parti pris.

Partant de ces constats, nous proposons dans nos travaux de recherche deux principaux apports. Le premier concerne une méthode applicable sur le terrain afin de formaliser le processus de développement d'un produit, et d'en extraire les RI clefs, supports du processus de conception. Cette méthode a été validée par deux développements de prototypes dynamiques d'outils collaboratifs amont. Le second réside dans la méthode agile de développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif, en sept étapes, qui est le support pour le chef de projet afin d'optimiser son processus de conception.

## **PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA DEMARCHE NIVEAU MODELE**

Les outils développés dans nos travaux de thèse sont des prototypes dynamiques. Les perspectives de développement de ces prototypes sont maintenant aux mains de nos industriels partenaires. Le projet le plus avancé (car posant assez peu de problèmes d'hébergement d'outil, de droit d'accès etc.) est celui

présenté lors de notre dernière expérimentation avec Devanlay. Des études sont en cours afin de déployer au niveau du groupe un outil aux spécifications proches. Notre prototype a servi de donnée d'entrée à ce développement logiciel plus conséquent.

Au niveau "Modèle", la démarche en sept étapes que nous proposons présente l'essentiel des apports de nos travaux. Une perspective est l'intégration de cette démarche dans un outil informatique qui permettrait d'automatiser, au moins dans les grandes lignes, la définition d'un environnement collaboratif amont. Ainsi, une base de données alimentée par une veille technologique permettrait de proposer des fonctionnalités à intégrer dans le logiciel. L'analyse des activités en vue de la formalisation du processus de développement serait aisément réalisable à partir d'outils du commerce comme la suite TDC® (<http://www.knowllence.com/>) par exemple.

### **Extension du périmètre de mise en application**

Notre démarche est issue de l'état de l'art ainsi que de l'étude des pratiques industrielles auprès de deux entreprises françaises. Si elle a fait ses preuves auprès de ce panel, une perspective de nos travaux est d'étendre le périmètre de test à d'autres entreprises. Nous pensons en particulier que cette démarche pourrait être profitable dans les grands groupes qui développent des produits de conception routinière (automobile ou aéronautique par exemple). Cependant, le caractère confidentiel lié aux phases amont de conception de ces produits rend l'introduction de prestataires extérieurs délicate, notamment quand il s'agit de décrire les processus métiers de la société.

### **Extension des fonctionnalités**

Une autre voie d'amélioration de notre démarche est d'étendre la portée des propositions de fonctionnalités liées aux outils afin de les intégrer dans un prototype. En effet, dans le cadre de nos travaux, le benchmark ainsi que la veille sur les outils collaboratifs a été effectuée à échelle humaine et des systèmes de veille technologique, par exemple sur internet, ou des brevets et publications scientifiques liés à ces travaux permettraient de proposer un panel plus large de fonctionnalités intégrables.

### **Interopérabilité avec d'autres outils**

Enfin, dans le cadre du développement futur d'un outil support à notre démarche, et du développement industriel de ce type d'environnement, nous insistons sur l'importance de l'interopérabilité entre les logiciels existants et nos développements. En effet, le moyen de plus sûr d'avoir un environnement collaboratif permettant une customisation des fonctionnalités est de permettre sa connexion avec d'autres logiciels, qu'ils soient libres ou non. De plus, comme nous l'avons évoqué lors de notre positionnement par rapport aux travaux des laboratoires partenaires, l'outil développé doit être interopérable avec ceux développés au sein du LCPI qui contribuent à la numérisation du processus de conception comme par exemple les travaux de (Mougenot 2008; Lahonde 2010).

## PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Les travaux que nous avons menés ouvrent de nombreuses perspectives de recherche. Afin de les positionner, nous reprenons une figure développée lors de notre positionnement scientifique, présenté précédemment (voir Figure 153). Sur cette figure, nous présentons les quatre principales perspectives de recherche liées à notre thèse.

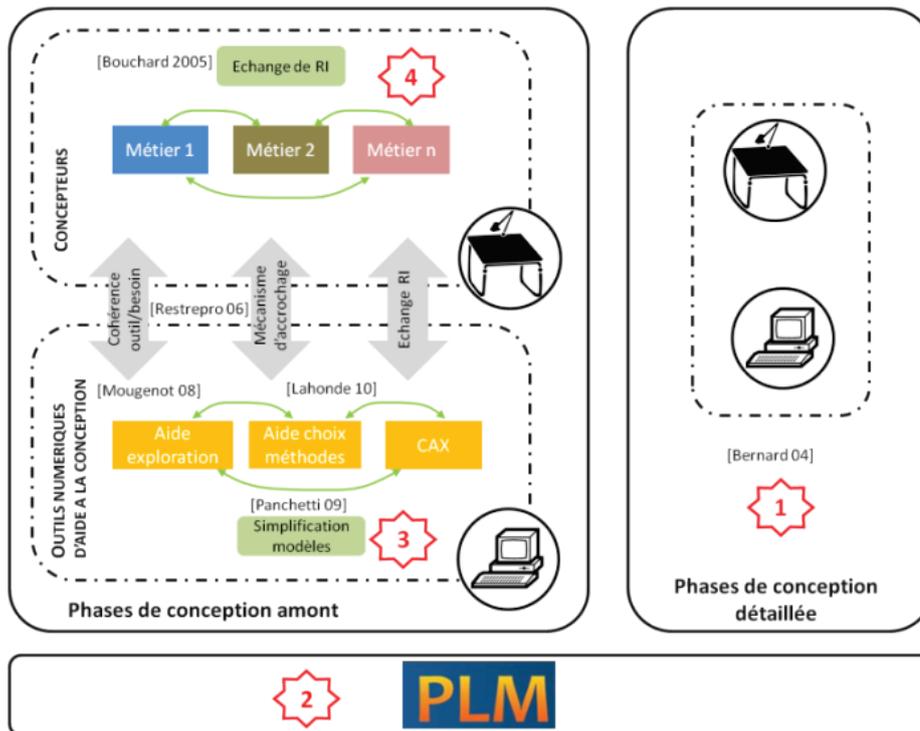


Figure 153 : perspectives de recherche de nos travaux de thèse, repérées de 1 à 4.

### 1- Connexion avec les autres outils existants pour les phases plus en aval de la conception

Tout d'abord, la méthode que nous prônons a été mise en place et validée sur des étapes de conception amont d'un produit. Une première perspective de recherche serait de connecter ce type d'environnement avec ceux déjà bien établis en conception détaillée afin de permettre une interopérabilité forte entre ces phases. Sur le plan opérationnel, nous pouvons citer les SGDT et les workflows qui sont déjà en place dans l'industrie. Sur le plan de la recherche, nous pouvons citer les travaux de (Skander et al. 2008) qui mettent en œuvre des méthodes et des modèles afin de répondre au problème du choix du procédé de fabrication lors de l'industrialisation d'un produit. Ceci passe par l'intégration au plus tôt des contraintes de fabrication dans la conception du produit. Une extension de cette réflexion peut amener à intégrer ces contraintes dans l'environnement collaboratif amont, en prenant garde de ne pas sur-contraindre les métiers dans leur tâche quotidienne. L'idée force défendue dans ces travaux est que la sélection des moyens de fabrication doit mener à une liste de process "éligibles" qui impacte les étapes de conception, car plusieurs alternatives doivent être produites (voir Figure 154).

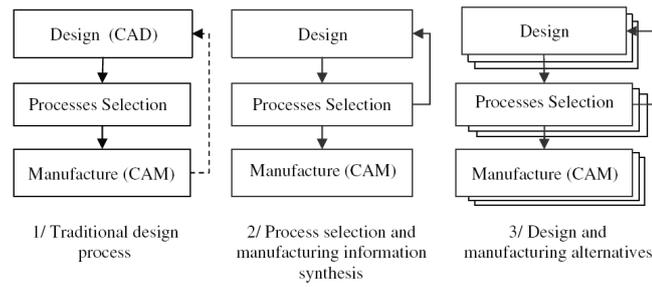


Figure 154 : bénéfice de la méthode proposée par (Skander et al. 2008).

L'interopérabilité de notre modèle avec les modèles de développement des autres phases (qui se situe au niveau des méta-modèles) est à prendre en compte comme perspective de recherche.

## 2- Interaction avec les autres outils liés au PLM

A l'heure actuelle, le PLM s'oriente vers une intégration complète de tous les outils logiciels prenant part à la conception (Garetti et al. 2005). En conséquence, une perspective de recherche est l'intégration et l'interaction des outils développés (ou développables) à partir de nos travaux au PLM. En effet, les éditeurs de solutions logicielles tendent de plus en plus vers une intégration du cycle de développement du produit et, si certaines tentatives n'ont pour le moment pas rencontré le succès escompté ("Design Studio" de Dassault Systèmes® par exemple), d'autres sont en marche afin de couvrir la conception amont de produit, et plus particulièrement les aspects amont de ces phases. On peut citer le module RFLP de Catia® V6 (pour Requirement, Functional, Logical et Physical), présenté en synthèse sur la Figure 155 ci-dessous. Ce module a pour objectif de couvrir tout le cycle de développement du produit, depuis la définition des exigences jusqu'à la CAO 3D de la pièce physique. Les problèmes d'intégration de logiciels et d'interopérabilité peuvent alors apparaître (intégration du cahier des charges rédigé sous word, données chiffrées fournies sous Excel etc.).

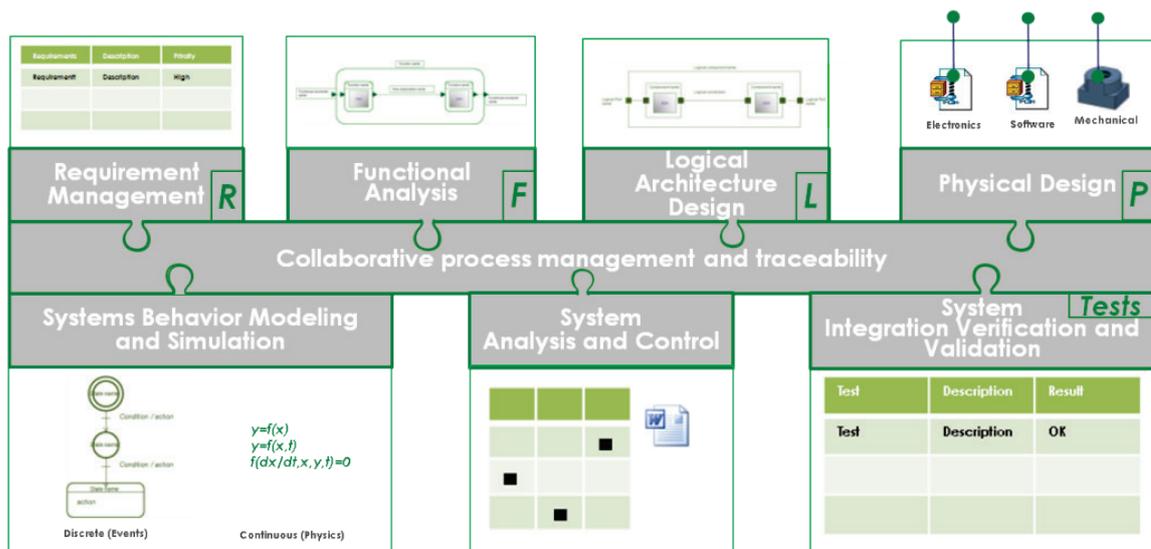


Figure 155 : synthèse des fonctionnalités du module RFLP de Catia® V6.

### **3- Intégration de simplifications des modèles géométriques :**

Nous avons constaté dans nos études de cas industriels que, si la CAO n'est pas prépondérante dans les activités de conception amont, elle est cependant largement présente. Les résultats issus de ces études sont de plus à nuancer au regard du type de produit concerné qui, surtout dans le cas de Devanlay, n'est pas hautement mécanique. Afin de permettre l'intégration et la visualisation rapide des maquettes numériques, une perspective de recherche est le développement des méthodes de simplification de modèles géométriques, dans le cadre de leur adaptation dans les environnements développables à partir de notre modèle. Ainsi, les travaux des laboratoires partenaires, et en particulier ceux de (Panchetti 2009) pourraient être ici mis en application.

### **4- Le prototypage agile de nouvelles RI du produit :**

Avec le développement des technologies, nous avons constaté une évolution des RI supports de la conception. Ainsi, plusieurs outils occupent des rôles de plus en plus importants dans le processus de conception du produit et sont donc à prendre en compte lors de l'étape de prototypage agile d'un prototype d'environnement collaboratif amont. Nous pouvons citer l'exemple des tables interactives (Buisine et al. 2007), ou encore des réalités virtuelles ou augmentées qui peuvent fortement influencer le processus de conception. Par exemple, les outils numériques utilisés en développement de produits tendent à l'utilisation de la réalité virtuelle comme technologie support à la conception. De ce fait, la réalité virtuelle présente un potentiel d'applications tout au long du cycle de développement du produit. En effet, l'intérêt et le potentiel de ces technologies offrent de nombreux apports en comparaison avec les technologies usuelles de la conception. Ces apports tiennent notamment à la possibilité de restitution anticipée du produit, à sa mise en situation, à l'interaction et à la simulation de certaines fonctionnalités de ce produit. Cependant, ces technologies manquent encore d'intégration méthodologique dans le processus de conception. Une perspective de recherche liée à nos travaux consiste donc dans l'intégration et le prototypage agile de ce type de support innovant à la conception.

Ainsi, nous espérons avoir contribué, de manière modeste, au développement des méthodes de conception, et en particulier aux méthodes de conception d'environnement de travail collaboratif. Nous pensons également avoir ouvert des voies de recherche qui pourront être porteuses dans les années à venir, et qui participeront à l'optimisation du processus de conception de produit.





## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Altshuller, G. S. (1984). Creativity as an Exact Science. New York, Gordon and Breach Science Publishers.
- Amann, K. (2002). "Product Lifecycle Management : Empowering the Future of Business." CIMdata, Inc.
- Aoussat, A. (1990). La pertinence en innovation : nécessité d'une approche plurielle. LCPI. Paris, ENSAM. **Thèse de doctorat.**
- Baccino, T., C. Bellino and T. Colombi (2005). Mesure de l'utilisabilité des interfaces.
- Bate, J. and N. Travell (1994). Groupware, Alfred Waller Limited.
- Bernard, A. and A. Fischer (2002). "New trends in rapid product development." CIRP Annals - Manufacturing Technology **51**(2): 635-652.
- Bernard, S. (2004). Spécification d'un environnement d'ingénierie collaborative multisite. Aix-en-Provence, ENSAM. **Thèse de doctorat:** 164.
- Birkhofer, H., J. Jänsch and H. Kloberdanz (2005). An extensive and detailed view of the application of design methods and methodology in industry. International Conference on Engineering Design, Melbourne, Australia.
- Bissay, A., P. Pernelle, A. Lefebvre and A. Bouras (2008). Approche de capitalisation des connaissances à l'aide d'un système PLM. 7ème conférence internationale de modélisation et de simulation, MOSIM '08, Paris, France.
- Boothroyd, G., P. Dewhurst and W. A. Knight (2011). Product Design for Manufacture and Assembly. Boca Raton, Taylor & Francis Group.
- Bouchard, C. (1997). Modélisation du processus de design automobile. Méthode de veille stylistique adaptée au design du composant d'aspect. Paris, France, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM). **Thèse de doctorat:** 235.

- Bouchard, C., R. Camous and A. Aoussat (2005). "Nature and role of intermediate representations (IR) in the design process: Case studies in car design." *International Journal of Vehicle Design* **38**(1): 1.
- Boucher, X. and J. P. Kieffer (1999). Propositions méthodologiques pour la gestion Filière-Métiers dans un contexte d'Ingénierie Concourante. Aix-en-Provence, Université d'Aix-Marseille 3: 210.
- Bouras, A., B. Gurumoorthy and R. Sudarsan (2005). *PLM : Emerging solutions and challenges for Global Networked Enterprise*. Geneve, Inderscience.
- Brown, J. (2006). *The Product Lifecycle Collaboration Benchmark Report - The Product Profitability "X-Factor"*. Etats-Unis, Aberdeen Group.
- Buisine, S., G. Besacier, M. Najm, A. Aoussat and F. Vernier (2007). Computer-supported creativity : evaluation of a tabletop mind-map application. HCII'07. . Beijing, Springer. **Lecture Notes in Computer Science Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics**.
- Carroll, J. M. (2000). "Five reasons for scenario-based design." *Interacting with Computers* **13**(1): 43.
- Crow, K. (2001). *Product Development Metrics List*, DRM Associates.
- Dameron, S. (2003). Structuration de la coopération au sein d'équipes projet. 12ème Conférence Internationale de Management Stratégique. Tunis, Tunisie.
- Darses, F. (1997). L'ingénierie concourante : un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs de conception. *Ingénierie Concourante : de la technique au social*. C. Chanchevrièr and P. Leclair. Paris, Economica: 39-55.
- Darses, F. and P. Falzon (1996). La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. *Coopération et Conception*. G. de Terssac and E. Friedberg. Toulouse, Octares.
- Dauzat, A., J. Dubois and H. Mitterand (1988). *Dictionnaire étymologique*. Larousse.
- De Ketele, J. M. and X. Roegiers (1993). *Méthodologie du recueil d'informations. Fondements des méthodes d'observation, de questionnaires, d'interviews et d'études de documents*. Bruxelles.

de Terssac, G. and E. Friedberg (1996). *Coopération et conception*. Toulouse, Octares.

DelphiGroup (2010). *The High Cost of Knowledge: 9*.

Diderot, D. and L. De Jaucourt (1751). *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des Sciences des Arts et des Métiers*. Paris. **3**.

Dieu, A. M. and M. Z. Lentic (1998). *Rêves socio-techniques, implication et (dé)mobilité des utilisateurs : le cas d'une expérimentation d'outils groupware dans d'une entreprise automobile européenne*. 11ème Colloque Européen en Informatique et Société, Strasbourg, France.

Ding, L., D. Davies and C. A. McMahon (2009). "The integration of lightweight representation and annotation for collaborative design representation." *Research in Engineering Design* **19**(4): 223-238.

Donati, T., M. Bricogne and B. Eynard (2010). *PLM platform : integrated support of the entreprise digital chain for Collaborative Product Development*. 7th International Conference on Product Lifecycle Management. Bremen, Germany.

Dybå, T. and T. Dingsøyr (2008). "Empirical studies of agile software development: A systematic review." *Information and Software Technology* **50**(9-10): 833-859.

Ehlinger, S. (1998). *Les représentations partagées au sein des organisations : entre mythe et réalité*. 7th Conférence Internationale de l'AIMS. Louvain-la-Neuve: 17.

Gaffiot, F. (1964). *Dictionnaire latin français*. Hachette.

Garetti, M., S. Terzi, N. Bertacci and M. Brianza (2005). "Organisational change and knowledge management in PLM implementation." *International Journal of Product Lifecycle Management* **1**(1): 43.

Giget, M. (2007) "L'innovation à la Belle époque."

Grebici, K. (2007). *La maturité de l'information et le processus de conception collaborative*, INPG. **Thèse de doctorat**.

Greer, D. and Y. Hamon (2011). "Agile software development." *Software - Practice and Experience* **41**(9): 943-944.

- Grudin, J. (1988). Why CSCW applications fail : problems in the design and evaluation of organizational interfaces. CSCW 88.
- Hamadache, K. and L. Lancieri (2009). Strategies and Taxonomy, Tailoring Your CSCW Evaluation. CRIWG 2009 L. Carriço, N. Baloian and B. Fonseca, Springer-Verlag: 206–221.
- Hatchuel, A. and B. Weil (2002). La théorie C-K : fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. Colloque Sciences de la Conception. Lyon - France: 24.
- Herskovic, V., J. A. Pino, S. F. Ochoa and P. Antunes (2007). Evaluation Methods for Groupware Systems. CRIWG 2007. J. M. Haake, S. F. Ochoa and A. Cechich. Heidelberg, Springer. **4715**: 328-336.
- Howard, T. J., C. S.J. and E. Dekoninck (2008). "Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature." *Design Studies* **vol 29**(no 2): pp. 160-180.
- Huang, C. (1996). Design for X : Concurrent Engineering Imperatives. Berlin, Springer.
- Hubka, V. and W. Ernst Eder (1987). "A scientific approach to engineering design." *Design Studies* **8**(3): 123-137.
- Idemmerfaa, Z. and J. Richard (2002). "Principes et critères pour l'organisation d'activités coopératives de conception." *Le travail humain* **65**(4): 363-385.
- Jagdev, H. S. and J. Browne (1998). "The extended enterprise - A context for manufacturing." *Production Planning and Control* **9**(3): 216-229.
- Järvinen, P. (2007). "Action research is similar to design science." *Quality and Quantity* **41**(1): 37-54.
- Jauregui Becker, J. M., W. W. Wits and F. J. A. M. Houten van (2011). Modeling the Structure and Complexity of Engineering Routine Design Problems. 21st CIRP Design Conference. Daejeon, South Korea: 159-166.
- Johansen, R. (1988). Groupware: Computer Support for Business Teams. New York, The Free Press.

- Kogut, B. and U. Zander (1992). "Knowledge of the Firm, Combinative Capabilities, and the Replication of Technology." *Organization Science* **3**(3): 383-397.
- Lagarrigue, P., R. Becerril, C. Lelardeux, O. Baptista and C. Amans-Passaga (2010). *Un serious game en génie mécanique : mecagenius*. Albi, France, CUFR Champollion: 19.
- Lahonde, N. (2010). *Optimisation du processus de conception : proposition d'un modèle de sélection des méthodes pour l'aide à la décision*. LCPI. Paris, Arts et Métiers ParisTech. **Thèse de doctorat: 221.**
- Larousse (1988). *Lexis Dictionnaire de la langue française*. Larousse.
- Larousse (2011). *Larousse. Dictionnaire de la langue française*.
- Le Coq, M. (2007). *Approches méthodologiques en conception de produits*. LCPI. Paris, Arts et Métiers ParisTech. **Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches: 141.**
- Levan, K. S. and A. Liebmann (1994). *Le Groupware: informatique management et organisation*, Editions Hermès.
- Lonchamp, J. (2003). *Le travail coopératif et ses technologies*. Paris, Hermes Lavoisier.
- Lonchamp, P. (2004). *Co-évolution et processus de conception intégrée de produits : modèle et support de l'activité de conception*. L3S. Grenoble, INPG: 233.
- Mankins, J. C. (1995). *Technology readiness levels*, NASA.
- Maranzana, N., N. Gattiser and E. Caillaud (2008). "From concurrent engineering to collaborative learning of design." *International Journal of Design and Innovation Research* **1**(4): 39-51.
- McDermott, R. E., R. J. Mikulak and M. R. Beauregard (1996). *The Basics of FMEA*. New York, Productivity Press.
- Mejía, R., A. López and A. Molina (2007). "Experiences in developing collaborative engineering environments: An action research approach." *Computers in Industry* **58**(4): 329-346.

- Mer, S., A. Jeantet and S. Tichkiewitch (1996). Worlds of the Design and Product Model. Rensselaer's 5th International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology.
- Micaëlli, J. P. and J. Forest (2003). Artificialisme, introduction à une théorie de la conception, Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Michaels, J. V. and W. P. Wood (1989). Design to cost. New York, Wiley-Interscience.
- Midler, C. (1993). L'auto qui n'existe pas : management des projets et transformation de l'entreprise, Inter Edition.
- Midler, C. (1995). "'projectification" of the firm : the Renault case." Scandinavian Journal of Management **11**(4): 363-375.
- Mizuno, S. and Y. Akao (1993). QFD: The Customer-driven Approach to Quality Planning & Deployment. Tokyo, Asian Productivity Organization.
- Mougenot, C. (2008). Modélisation de la phase d'exploration du processus de conception de produits, pour une créativité augmentée. Paris, Arts et Métiers ParisTech. **Thèse de doctorat.**
- Nauze, N. (2008) "L'architecture des musées au XXème siècle."
- Nielsen, J. (1993). Usability Engineering. San Diego, Harcourt Science and Technology Company.
- Niemann, J., S. Tichkiewitch and E. Westkämper (2009). Design of Sustainable Product Life Cycles. Berlin, Springer-Verlag
- Noël, F., D. Brissaud and S. Tichkiewitch (2003). "Integrative design environment to improve collaboration between various experts." CIRP Annals - Manufacturing Technology **52**(1): 109.
- Noël, F. and S. Tichkiewitch (2004). "Shared dynamic entities technology to support distant coordination in design activity." CIRP Annals - Manufacturing Technology **53**(1): 163.
- Nonaka, I. and H. Takeuchi (1997). Die organisation des wissens. Frankfurt : Campus Verlag.
- Norman, D. A. (1988). The psychology of everyday things. New York, Basic Books.

- O'Grady, P. and R. E. Young (1991). "Issues in concurrent engineering systems." *Journal of Design and Manufacturing* **1**(1): 27-34.
- Olsson, N. O. E. and O. M. Magnussen (2007). "Flexibility at different stages in the life cycle of projects : an empirical illustration of the "freedom to maneuver"." *Project Management Journal* **38**(4): 25-32.
- Ottosson, S. and U. Lindemann (2003). *Collaborative Product Development Considerations. Human behaviour in design.* Berlin, Springer: 303.
- Pahl, G. and W. Beitz (1977). *Konstruktionslehre.* Berlin, Springer.
- Pahl, G. and W. Beitz (1984). *Engineering Design – A Systematic Approach.* London/Berlin, The Design Council/Springer.
- Pahl, G., W. Beitz, J. Feldhusen and K. H. Grote (2007). *Engineering Design - A systematic approach.* Londres, Springer.
- Panchetti, M. (2009). *Exploitation d'images numériques pour la simplification et la déformation de modèles polyédriques.* LSIS. Aix-en-Provence, Arts et Métiers ParisTech. **Thèse de doctorat:** 184.
- Pei, E., R. I. Campbell and M. A. Evans (2011). "A Taxonomic Classification of Visual Design Representations Used by Industrial Designers and Engineering Designers." *The Design Journal* **14**(1): 64-91.
- Père, C. and G. Moroz (2010). *Collaborative Design, cours de 2ème année d'IC,* Arts et Métiers ParisTech.
- Perotti-Reille, C. (2007). *Le textile habillement : la volonté de remporter la nouvelle révolution industrielle:* 105.
- Petersen, K. and C. Wohlin (2011). "Measuring the flow in lean software development." *Software Practice and Experience* **41**(9): 975–996.
- Pezeshki, C., R. T. Frame and B. Humann (2004). *Preparing undergraduate mechanical engineering students for the global marketplace-new demands and requirements.* ASEE Annual Conference Proceedings, Salt Lake City, USA.

- Prasad, B. (1996). Concurrent engineering fundamentals - Integrated product and process organization (vol.1). London, Prentice Hall.
- Prasad, B. (1997). Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated product development, Prentice Hall PTR.
- Restrepo, T. (2006). Intégration d'outils CSCW en développement de produits : les mécanismes d'explicitation participative des besoins et d'accrochage comme vecteurs d'apprentissage. LCPI. Paris, Arts et Métiers ParisTech. **Thèse de doctorat: 270.**
- Ruiz Dominguez, G. A. (2005). Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance : étude des effets de synchronisation cognitive. L3S. Grenoble, INPG. **Thèse de doctorat: 201.**
- Saaksvuori, A. and A. Immonen (2008). Product Lifecycle Management. Berlin, Springer.
- Segonds, F., J.-P. Cros, O. Bosquillon, M. Peloux, L. Cros and J. Morin (2009a). Procédé et dispositif pour enrobage d'une matière particulaire solide par un composé fluide, unité de production d'enrobés bitume-SBS. I. N. P. I. Paris. **EP1927393 A1: 15.**
- Segonds, F., N. Maranzana, P. Veron and A. Aoussat (2011a). PLM and design education : a collaborative experiment on a mechanical device. 8th International Conference on Product Lifecycle Management PLM'11. Eindhoven: 11.
- Segonds, F., N. Maranzana, P. Véron and A. Aoussat (2011b). "Collaborative Reverse Engineering Design Experiment Using PLM Solutions." International Journal of Engineering Education **27(6): 1037-1045.**
- Segonds, F., J. Nelson and A. Aoussat (2011c). "PLM and architectural rehabilitation : a framework to improve collaboration in the early stages of design." International Journal of Product Lifecycle Management **in press: 19.**
- Segonds, F., C. Père, P. Veron and A. Aoussat (2009b). PLM and collaboration in the early stages of design, state of the art 6th International Conference Integrated Design and Production, Fes, Morocco.
- Segonds, F., C. Tiraby and P. Caestecker (2008). Appareil submersible à membranes souples d'étanchéité. O.M.P.I. **WO2008/141913 A2: 34.**

- Segonds, F., C. Tiraby and P. Caestecker (2010). Submersible apparatus including flexible waterproofing membranes. U. S. P. Application. **US2010/0139545 A1**: 14.
- Serrafero, P. (2008). Evolution sémantique de l'ingénierie assistée par ordinateur: 7.
- Sharifi, S. and K. Pawar (2001). Product development strategies for agility. Agile Manufacturing : the 21st Century Competitive Strategy. A. Gunasekaran. Amsterdam, Elsevier: 175–192.
- Sharma, A. (2005). "Collaborative product innovation: integrating elements of CPI via PLM framework." Computer-Aided Design **37**: 1425-1434.
- Shen, W. (2003). "Editorial of the special issue on knowledge sharing in collaborative design environments." Computers in Industry **52**(1): 1-3.
- Simoff, S. J. and M. L. Maher (2000). "Analysing participation in collaborative design environments." Design Studies **21**(2): 119-144.
- Skander, A. (2006). Méthode et modèle DFM pour le choix des procédés et l'intégration des contraintes de fabrication vers l'émergence de la solution produit, Université de Technologie de Troyes. **Thèse de doctorat**.
- Skander, A., L. Roucoules and J. S. Klein Meyer (2008). "Design and manufacturing interface modelling for manufacturing processes selection and knowledge synthesis in design." International Journal of Advanced Manufacturing Technology **37**(5-6): 443.
- Sohlenius, G. (1992). "Concurrent Engineering." CIRP Annals - Manufacturing Technology **41**(2): 645.
- Suh, N. P. (1990). The Principles of Design. Oxford, Oxford University Press.
- Suh, N. P. (2001). Axiomatic Design: Advances and Applications. Oxford, Oxford University Press.
- Tichkiewitch, S. (2010). Method and Tools for the Effective Knowledge Management in Product Life Cycle. 20th CIRP Design Conference. Nantes, France.
- Tichkiewitch, S., D. Brissaud, A. Jeantet and H. Tiger (2001). Une interdisciplinarité forte au service de la recherche en outils et méthodologies de conception. 2nd International Conf. on Integrated Design and Production (CPI 2001). Fès, Maroc.

- Tichkiewitch, S. and A. Riel (2010a). Essential Methods of Integration in Design. EMIRAcle.
- Tichkiewitch, S. and A. Riel (2010b). The reasons for Integration in Design. EMIRAcle.
- Tichkiewitch, S., M. Tollenaere and P. Ray (2007). Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering II, Springer.
- Tollenaere, M., A. Aoussat and M. Le Coq (1998). Conception de produits mécaniques - méthodes, modèles et outils, Hermes.
- Tomiyama, T., P. Gu, Y. Jin, D. Lutters, C. Kind and F. Kimura (2009). "Design methodologies : Industrial and educational applications." CIRP Annals - Manufacturing Technology **2009.09.003**(in press).
- Tseng, K., H. Abdalla and E. Shehab (2008). "A Web-based integrated design system: its applications on conceptual design stage." International Journal of Advanced Manufacturing Technology **35**(9-10): 1028.
- Turoff, M. and S. R. Hiltz (2011). An overview of research activities in Computer Mediated Communications from 1976 to 1991 Computerized Conferencing and Communications Center at NJIT.
- Ullman, D. G. and E. A. Jones (2003). The Mechanical Design Process, McGraw-Hill Higher Education.
- Ulrich, K. T. and S. D. Eppinger ( 2007). Product Design and Development. New York.
- Vadcard, P. (1996). Aide à la programmation des outils en conception de produit. Paris, ENSAM.  
**Thèse de doctorat.**
- von Hippel, E. (1988). The Sources of Innovation. New York, Oxford University Press.
- Winner, R. I., J. P. Pennell, H. E. Bertrand and M. M. Slusarczuk (1988). The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition. I. R. 338, Institute for Defense Analyses: Alexandria Va: 197.
- Yesilbas, L. G. and M. Lombard (2004). "Towards a knowledge repository for collaborative design process: Focus on conflict management." Computers in Industry **55**(3): 335.

Yesilbas, L. G., B. Rose and M. Lombard (2006). "Specification of a repository to support collaborative knowledge exchanges in IPPOP project." *Computers in Industry* **57**(8-9): 690-710.

Young, R., A. Greef and P. O'Grady (1992). "Artificial intelligence-based constraint network system for concurrent engineering." *International Journal of Production Research* **30**(7): 1715-1735.

Youssef, M. A. (1994). "Design for Manufacturability and Time-to-market." *International Journal of Operations & Production Management* **14**(12): 6-21.

## INDEX DES FIGURES

Figure 1 : la conception, une activité centrale, extrait de (Pahl et al. 2007).....	8
Figure 2 : les constituants des sciences de la conception, et positionnement de notre recherche, adapté de (Hubka et al. 1987). .....	17
Figure 3 : illustration des deux thèmes, Métier et Processus, développés au LCPI. ....	18
Figure 4 : synthèse des travaux des laboratoires partenaires, en lien avec nos objectifs scientifiques de recherche.....	19
Figure 5 : agencement des travaux de thèse, vers une numérisation du processus de conception. ....	21
Figure 6 : positionnement scientifique par rapport aux travaux des laboratoires partenaires.....	22
Figure 7 : positionnement français des travaux de recherche. ....	23
Figure 8 : positionnement international des travaux de recherche.....	23
Figure 9 : positionnement des verrous scientifique et technologique par rapport aux travaux des laboratoires partenaires.....	25
Figure 10 : méthodologie de réalisation de l'état de l'art, approche duale.....	30
Figure 11 : extrait du chapitre "Conception" de l'Encyclopédie de Diderot, (Diderot et al. 1751).....	31
Figure 12 : concept du musée à croissance illimitée de Le Corbusier.....	32
Figure 13 : évolution du concept de bateau volant.....	33
Figure 14 : concepts d'un banc d'essais, selon (Pahl et al. 2007).....	34
Figure 15 : concept de bouteille de vin de Terre-Neuve. ....	34
Figure 16 : les différents cas de coopération/collaboration possibles.....	35
Figure 17 : exemple de collaboration et coopération dans le domaine du bâtiment.....	36
Figure 18 : démarche suivie pour l'état de l'art scientifique afin d'aboutir à un positionnement de nos travaux.....	38
Figure 19 : principes de fonctionnement (à gauche) ainsi que leurs combinaison en principe de solution pour une machine à ramasser les pommes de terre, adapté de (Pahl et al. 2007). ....	40
Figure 20 : courbe des coûts effectivement payés (rouge) et des coûts investis (vert) lors du développement d'un produit, adapté de (Tichkiewitch 2010). ....	41
Figure 21 : démarche de définition d'une architecture produit, extraite de (Le Coq 2007). ....	41
Figure 22 : modèle de conception de (Aoussat 1990), niveau macroscopique à gauche et niveau détaillé à droite. ....	43
Figure 23 : processus de conception de produit, selon (Pahl et al. 2007). ....	44
Figure 24 : concepts d'un banc d'essais, selon (Pahl et al. 2007).....	45
Figure 25 : exemple de tracé préliminaire, extrait de (Pahl et al. 2007).....	46
Figure 26 : position de la conception amont.....	47
Figure 27 : Thomas Edison et son brevet de l'ampoule électrique à filament.....	48
Figure 28 : la bibliothèque de Menlo Park et une photo d'une équipe de recherche d'Edison.....	49
Figure 29 : évolution des tendances dans la formation de nouvelles équipes de développement de produits, adapté de (Sharifi et al. 2001). ....	50
Figure 30 : les effets couplés de la compétitivité et de la législation, extrait de (Tichkiewitch et al. 2010b). ....	50
Figure 31 : matrice de classification des outils de collaboration, adaptée de (Johansen 1988).....	52
Figure 32 : classification des principaux outils de collaboration actuels.....	52

Figure 33 : progression de la démarche suivie pour l'état de l'art scientifique afin d'aboutir à un positionnement de nos travaux. ....	54
Figure 34 : passage d'un mono-produit à une gamme complexe, l'exemple de Renault.....	54
Figure 35 : illustration de la méthode du "throw over the wall" en conception de produit, extrait de (Boothroyd et al. 2011). ....	55
Figure 36 : comparaison entre les processus de conception séquentielle et conception concourante.....	56
Figure 37 : synthèse des évolutions entre ingénierie séquentielle, ingénierie concourante et ingénierie collaborative, extraite de (Tichkiewitch et al. 2010a).....	58
Figure 38 : la conception, une activité centrale, extrait de (Pahl et al. 2007). ....	58
Figure 39 : évolution des publications scientifiques liées au CE, à l'IC et au PLM, depuis 1990.....	59
Figure 40 : graphe de l'impact de travaux de recherche, selon une échelle temporelle et organisationnelle, extrait de (Niemann et al. 2009). ....	59
Figure 41 : contexte d'un outil PLM, extrait de (Garetti et al. 2005). ....	60
Figure 42 : transformations successives entre l'espace des problèmes et celui des solutions. ....	61
Figure 43 : différentes RI au cours de la conception d'un produit.....	62
Figure 44 : classification des représentations intermédiaires, extrait de (Bouchard et al. 2005). ....	63
Figure 45 : progression de la démarche suivie pour l'état de l'art scientifique afin d'aboutir à un positionnement de nos travaux. ....	64
Figure 46 : répartition de la connaissance en conception de produit, extrait de (Père et al. 2010). ....	65
Figure 47 : pourcentage des personnes (à droite des bulles) et leurs temps moyens (en % de la journée de travail, à gauche) passés à chercher de l'information, données extraites de (DelphiGroup 2010).....	67
Figure 48 : les différents projets de conception, extrait de (Serrafero 2008).....	68
Figure 49 : démarche de définition d'un environnement collaboratif, adaptée de (Bernard 2004). ....	70
Figure 50 : la plateforme CoDevelop, extrait de (Tseng et al. 2008). ....	71
Figure 51 : Synthèse des difficultés de l'intégrateur face à la conception d'un groupware (à gauche), et proposition de méthode (à droite), extrait de (Restrepo 2006). ....	73
Figure 52 : les méthodes d'évaluation classées selon leurs coûts, extraite de (Herskovic et al. 2007).....	76
Figure 53 : schéma de fourniture, demande et application des méthodes de conception, adapté de (Birkhofer et al. 2005). ....	80
Figure 54 : protocole expérimental global en cinq phases. ....	82
Figure 55 : initiation du protocole expérimental en cinq phases.....	83
Figure 56 : pôles de compétence de Saint-Gobain et positionnement de l'entreprise partenaire. ....	83
Figure 57 : répartition des CA des ventes de Saint-gobain par pôle, année 2007. ....	83
Figure 58 : évolution du nombre de plans d'articles créés au Bureau d'Etudes.....	84
Figure 59 : un exemple de réalisation de l'agence de design Terre-Neuve. ....	85
Figure 60 : Brief design fourni à l'agence Terre-Neuve.....	85
Figure 61 : extrait des roughs réalisés par les designers.....	86
Figure 62 : exemples de planches inspirationnelles des designers.....	86
Figure 63 : rendus réalistes des concepts de bouteilles présentés au client. ....	86
Figure 64 : essai verre.....	87
Figure 65 : synopsis du projet étudié. ....	87
Figure 66 : processus de développement d'une bouteille, la vision du BE. ....	88
Figure 67 : prototypage rapide d'une bouteille avec son moule finisseur.....	88
Figure 68 : cartographie des RI échangées au cours du processus de conception, et périmètre de la conception amont (en bleu).....	91

Figure 69 : acteurs en présence lors de la conception d'une bouteille, et périmètre de la conception amont (en bleu).....	92
Figure 70 : workflow pour la phase étude, implémenté dans DNP.....	93
Figure 71 : capture d'écran du rendu graphique de l'outil DNP.....	93
Figure 72 : périmètre d'action de l'outil DNP (en pointillés jaunes) et périmètre de la conception amont (en trait continu bleu).....	94
Figure 73 : illustration des itérations de conception lors du développement d'une bouteille.....	95
Figure 74 : initiation du protocole expérimental en cinq phases.....	97
Figure 75 : la gamme des produits Lacoste.....	98
Figure 76 : implantation des sites Devanlay en France.....	98
Figure 77 : cycle de développement d'un produit textile Devanlay, exemple des saisons été et hiver 2011.....	99
Figure 78 : chevauchement des cycles de développement d'un produit saisonnier.....	99
Figure 79 : volume de modification des données pour les collections 2011 et 2012.....	99
Figure 80 : les principales étapes de la conception d'un vêtement.....	100
Figure 81 : exemple de fiche remise croquis.....	101
Figure 82 : extrait de book P0 Femme collection 2012 pour un tricot col rond.....	101
Figure 83 : répartition chronologique des tâches lors de la création d'un vêtement.....	102
Figure 84 : le cycle de développement d'une collection, et position de la conception amont.....	103
Figure 85 : principales RI échangées au cours du développement d'un produit textile, et position de la conception amont.....	103
Figure 86 : départements impliqués lors de la conception d'un produit chez Devanlay, périmètre de la conception amont (en bleu) et périmètre couvert par le Marketing SI (en jaune).....	105
Figure 87 : représentation moyenne des principaux outils collaboratifs utilisés chez Devanlay.....	107
Figure 88 : positionnement de notre étude des pratiques industrielles.....	110
Figure 89 : exemples de RI en conception de produit, adapté de (Pei et al. 2011).....	111
Figure 90 : le "Design Studio" de Dassault Systèmes®.....	112
Figure 91 : protocole expérimental en cinq phases.....	118
Figure 92 : périmètre de nos travaux de thèse (en rouge).....	119
Figure 93 : Evolution de la marge de manœuvre des concepteurs et du coût des modifications en fonction du temps, extrait de (Olsson et al. 2007).....	121
Figure 94 : articulation entre notre modèle d'environnement collaboratif et les outils développés à partir du modèle.....	122
Figure 95 : démarche niveau "modèle" de nos travaux de thèse afin de définir un environnement collaboratif amont.....	122
Figure 96 : protocole d'expérimentation en cinq phases, niveau "Outils".....	124
Figure 97 : stratégie expérimentale retenue afin de répondre à la problématique posée.....	127
Figure 98 : protocole d'expérimentation en cinq phases, niveau "Outils".....	128
Figure 99 : positionnement de l'expérimentation 1.....	130
Figure 100 : fonction principale du processus étudié.....	132
Figure 101 : adaptation du formalisme SADT à nos besoins.....	132
Figure 102 : formalisme utilisé pour nos expérimentations, adapté de (Aoussat 1990).....	133
Figure 103 : préforme de bouteille type "Bourgogne" et premières esquisses.....	135
Figure 104 : exemple de rendu photo-réaliste de bouteille.....	136
Figure 105 : image de synthèse d'une bouteille réalisée à partir du fichier CAO (à gauche), et étude de palettisation (à droite).....	139

Figure 106 : synthèse de l'expérimentation 1, au niveau "Outils" puis au niveau "Modèle".	142
Figure 107 : répartition du temps au niveau "Outils" sur l'expérimentation 1.	143
Figure 108 : prototype de site internet, développé en environnement CMS.	144
Figure 109 : démarche de définition d'un environnement collaboratif amont, niveau "Modèle", pour l'expérimentation 1.	144
Figure 110 : positionnement de l'expérimentation 2, en orange.	146
Figure 111 : nuage de mots extrait des verbalisations de nos entretiens chez Devanlay.	148
Figure 112 : cartographie des images échangées	150
Figure 113 : diagramme pieuvre de l'outil support à la collaboration amont.	153
Figure 114 : fonction principale du processus étudié.	154
Figure 115 : exemples de la diversité des fiches de remise croquis.	158
Figure 116 : synthèse de l'expérimentation 2, au niveau "Outils" puis au niveau "Modèle".	163
Figure 117 : répartition du temps au niveau "Outils" sur l'expérimentation 2.	164
Figure 118 : démarche de définition d'un environnement collaboratif amont, niveau "Modèle", pour l'expérimentation 2.	165
Figure 119 : démarche opérationnelle niveau "Outils", en cinq phases.	168
Figure 120 : Synthèse du protocole expérimental de notre troisième expérimentation.	169
Figure 121 : Problèmes liés à l'utilisabilité d'une IHM détectés en fonction du nombre d'évaluateurs.	170
Figure 122 : synthèse de notre stratégie expérimentale.	171
Figure 123 : panel des outils testés.	172
Figure 124 : classement des principales fonctionnalités relevées.	173
Figure 125 : note /10 des outils collaboratifs testés.	174
Figure 126 : synthèse des fonctionnalités utiles pour une plateforme collaborative amont, issues du benchmark.	175
Figure 127 : page d'accueil dans son environnement de développement (MS Publisher).	176
Figure 128 : définition du workflow par étape.	177
Figure 129 : exemple de définition d'un workflow, intégré à l'environnement collaboratif amont.	177
Figure 130 : exemple de scénario à destination des utilisateurs.	178
Figure 131 : outil d'annotation intégré dans l'environnement collaboratif amont.	178
Figure 132 : captures d'écrans des principales fonctionnalités de la maquette : en haut, étape de traduction du besoin avec annotations sur croquis ; en bas à gauche étape d'interprétation du besoin du même produit, en bas à droite, outil de planning partagé.	180
Figure 133 : processus itératif d'amélioration de la maquette.	182
Figure 134 : architecture de l'interface de l'outil.	183
Figure 135 : arborescence des pages de la maquette fonctionnelle.	184
Figure 136 : synthèse des fonctionnalités de la maquette de CoTeEn.	185
Figure 137 : exemple de questionnaire rempli par un utilisateur.	186
Figure 138 : satisfaction concernant la page d'accueil du prototype.	187
Figure 139 : satisfaction concernant le design du prototype.	188
Figure 140 : satisfaction concernant les contenus et la communication.	188
Figure 141 : réalisme du prototype.	189
Figure 142 : méthodologie de définition d'un environnement collaboratif amont.	192
Figure 143 : démarche de nos travaux de thèse, niveau "Modèle", afin de définir un environnement collaboratif amont.	194

Figure 144 : convergence du niveau "Modèle" et "Outil" liés à nos expérimentations vers un modèle global de développement d'un environnement collaboratif. ....	196
Figure 145 : enchaînement logique des expérimentations en vue de répondre aux hypothèses. ....	197
Figure 146 : démarche niveau "modèle" de nos travaux de thèse afin de définir un environnement collaboratif amont. ....	203
Figure 147 : démarche niveau "outils" de nos travaux de thèse afin de définir un environnement collaboratif amont ....	203
Figure 148 : proposition de mise en œuvre industrielle du modèle. ....	204
Figure 149 : synoptique d'utilisation du modèle présenté.....	205
Figure 150 : proposition d'un modèle de spécification d'une méthode agile de développement prescriptif d'un environnement de travail collaboratif amont centré sur les RI prenant en compte les contraintes métiers.....	206
Figure 151 : processus de définition d'un environnement de conception collaborative, extrait de (Mejía et al. 2007).....	208
Figure 152 : agencement des travaux de thèse, vers une numérisation du processus de conception. ....	210
Figure 153 : perspectives de recherche de nos travaux de thèse, repérées de 1 à 4. ....	216
Figure 154 : bénéfice de la méthode proposée par (Skander et al. 2008).....	217
Figure 155 : synthèse des fonctionnalités du module RFLP de Catia® V6.....	217

## INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : principaux pays et entités concernés par la thématique de définition d'environnement de conception collaborative. ....	24
Tableau 2 : synthèse des principaux processus de conception, et ceux répondant à notre cahier des charges (entourés), adapté de (Howard et al. 2008).....	39
Tableau 3 : classification des services supportant la collaboration, extrait de (Noël et al. 2004). ....	68
Tableau 4 : catégorisation des méthodes d'évaluation en fonction des acteurs et du type de produit logiciel concerné, extrait de (Herskovic et al. 2007).....	75
Tableau 5 : chiffres clefs de Verallia - Site de Chalon-sur-Saône. ....	84
Tableau 6 : synthèse des durées et des coûts des phases réalisées au BE. ....	89
Tableau 7 : synthèse des acteurs de la conception et de leurs outils métiers et de communication. ....	89
Tableau 8 : contraintes métiers des entités mises en jeu dans le projet. ....	90
Tableau 9 : indicateurs liés à la conception chez Verallia, avant et après la mise en place de DNP.....	94
Tableau 10 : quantification des temps moyens d'itérations lors du développement d'une bouteille. ....	96
Tableau 11 : analyse de quelques temps de mise sur le marché de l'industrie textile. ....	100
Tableau 12 : départements impliqués lors de la conception d'un produit chez Devanlay, nombre d'étapes du processus et frontière de la conception amont (en rouge).....	104
Tableau 13 : les différents types d'entretiens, adapté de (De Ketele et al. 1993). ....	106
Tableau 14 : trame de la première série d'entretiens semi-dirigés. ....	107
Tableau 15 : principaux constats suite à la première série d'entretiens.....	109
Tableau 16 : panel pour l'expérimentation 1. ....	130
Tableau 17 : trame d'entretien semi-dirigé mené chez Verallia. ....	131

Tableau 18 : synthèse des différentes RI échangées lors de la conception amont d'un produit verrier.....	141
Tableau 19 : numérisation des RI, cas de Verallia. ....	141
Tableau 20 : listing des RI du produit générées au cours du processus de conception, cas de Verallia. ....	142
Tableau 21 : panel pour les entretiens réalisés chez Devanlay.....	147
Tableau 22 : trame d'entretien semi-dirigé mené chez Devanlay. ....	147
Tableau 23 : intervenants et rôle au sein de la conception amont.....	149
Tableau 24 : contraintes métiers des acteurs de la conception amont.....	152
Tableau 25 : fonctions principales et contraintes d'un outil collaboratif amont appliqué au domaine du textile.....	153
Tableau 26 : synthèse des échanges de RI, cas de Devanlay. ....	161
Tableau 27 : numérisation des RI, cas de Devanlay. ....	162
Tableau 28 : listing des RI du produit générées au cours du processus de conception.....	162
Tableau 29 : panel support de notre troisième expérimentation.....	170
Tableau 30 : source des informations relevées sur les solutions collaboratives. ....	172
Tableau 31 : pondération des fonctions des solutions collaboratives étudiées. ....	173
Tableau 32 : contraintes métiers des acteurs de la conception amont.....	181
Tableau 33 : évolutions de la maquette.....	182
Tableau 34 : contraintes métiers des acteurs de la conception amont, et leur prise en compte dans le prototype.....	190
Tableau 35 : critères de performance de la maquette, moyenne des réponses recueillies.....	191
Tableau 36 : réponse aux besoins utilisateurs du prototype développé. ....	210

## PRODUCTION SCIENTIFIQUE

### REVUES INTERNATIONALES

**Segonds, F.**, J. Nelson & A. Aoussat. (2011). "PLM and architectural rehabilitation : a framework to improve collaboration in the early stages of design." *International Journal of Product Lifecycle Management in press*: 19.

**Segonds, F.**, N. Maranzana, P. Véron & A. Aoussat. (2011). "Collaborative Reverse Engineering Design Experiment Using PLM Solutions." *International Journal of Engineering Education* **27**(5): 1037-1045.

**Segonds, F.**, M. Iraqi-Houssaini, L. Roucoules, P. Véron & A. Aoussat (2010). "The use of early design tools in engineering processes : a comparative case studies." *International Journal of Design and Innovation Research* **5** (3): 9-24.

### BREVET INTERNATIONAL

Tiraby, C., P. Caestecker & **F. Segonds**, (2010). Submersible apparatus including flexible waterproofing membranes. Brevets n° WO 2008141913 (02-05-2009) et n° US20100139545 (06-10-2010).

### BREVET FRANÇAIS

Cros, J-P., O. Bosquillon, M. Peloux, L. Cros, J-J. Morin & **F. Segonds** (2009). Procédé et dispositif pour enrobage d'une matière particulaire solide par un composé fluide, unité de production d'enrobés bitume-SBS. INPI Paris. Brevet n° FR 2909009 (11-06-2009).

### CONFERENCES INTERNATIONALES AVEC COMITE DE SELECTION ET ACTES

**Segonds, F.**, P. Véron & A. Aoussat. (2009). PLM and collaboration in the early stages of design, state of the art 6<sup>th</sup> International Conference Integrated Design and Production, Fes, Morocco.

**Segonds, F.**, N. Maranzana, P. Véron & A. Aoussat (2011). PLM and design education : a collaborative experiment on a mechanical device. 8<sup>th</sup> International Conference on Product Lifecycle Management PLM'11. Eindhoven: 11.

## ANNEXES

ANNEXE 1 : Exemple de document réponse pour les entretiens chez Devanlay.....	240
ANNEXE 2 : Trame du questionnaire présenté aux utilisateurs de CoTeEn.....	242

**ANNEXE 1 : Exemple de document réponse pour les entretiens chez Devanlay.**



F. SEGONDS

Etude du besoin d'un environnement de travail collaboratif  
Devanlay - Life-Like



**FEUILLE REPONSE INDIVIDUELLE**

Nom et Prénom :

Poste occupé actuellement :

Ancienneté dans le poste :

Ancienneté chez Devanlay :

Les Figures 1 et 2 suivantes présentent, sur un exemple simple, le cycle de développement produit. Indiquez sur la Figure 1 ci-dessous par une barre verticale où se situe votre métier dans le cycle de vie produit.

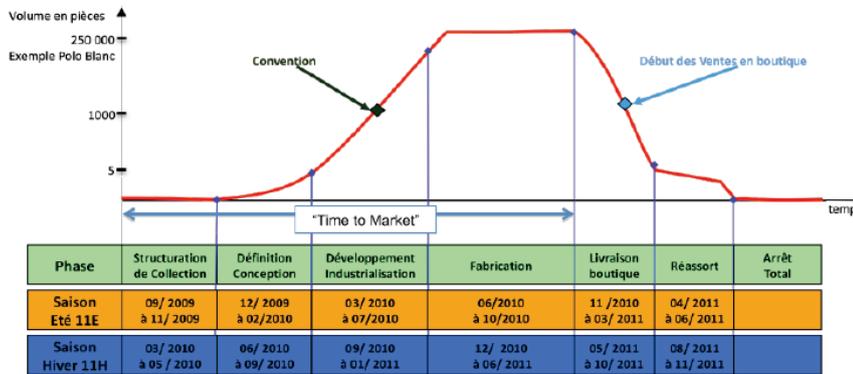


Figure 1 : cycle de vie produit sur l'exemple des collections 11E et 11H

Entourez sur la Figure 2 ci-dessous les services avec lesquels vous êtes le plus en interaction au cours de votre travail.

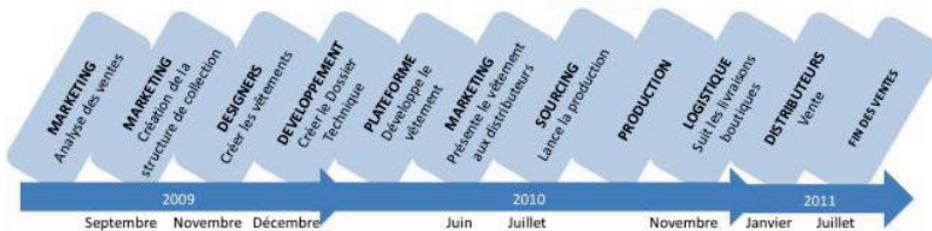


Figure 2 : Cycle de vie produit, exemple de la collection été 11E

Le tableau ci-dessous présente les principaux moyens de communication que vous pouvez utiliser au quotidien dans votre travail, au sein de Devanlay ou avec vos co-traitants.

Indiquez pour chacun d'entre eux si vous l'utilisez et; si oui, donnez une approximation du % d'utilisation de chaque outil.

Moyens de communication utilisés	oui	non	Pourcentage d'utilisation (en termes de temps)	Remarques
E-mail				
Téléphone				
Messagerie instantanée (type MSN)				
Forum de discussion (type wiki)				
Intranet				
Internet				
Maquette numérique (fichier de type illustrator,..)				
Document papier				
PDM - Gestion de données produit (DP)				
Vidéo conférence				
Outil de partage d'écran (type Lotus Sametime)				
Autres				

Tableau 1 : Moyens de communication utilisés

Commentaires sur l'ensemble de votre mission et de l'interview :

---



---



---



---



---



---

## MERCI

Le principal livrable du projet étant une maquette fonctionnelle d'un environnement collaboratif amont adapté au cas de Devanlay, accepteriez-vous d'être recontacté ultérieurement pour une évaluation de ce prototype (durée équivalente) ?

oui

non

Merci, le cas échéant, de me laisser votre e-mail :

## ANNEXE 2 : Trame du questionnaire présenté aux utilisateurs de CoTeEn.

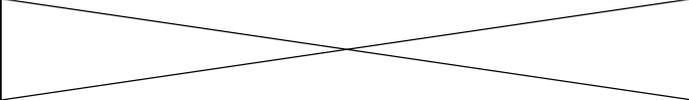
**Entry:**

<del> </del>	Absolutely not	Not really	Satisfying	Was good	Excellent
I know immediately what to expect from the options and functions, the site offers.					
Tags are precise about what they offer.					
The site invites me to stay					

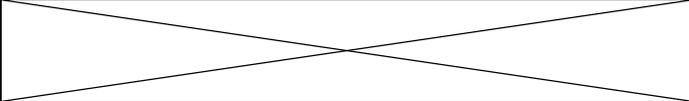
**Design**

<del> </del>	Absolutely not	Not really	Satisfying	Was good	Excellent
The work environment is clearly laid out.					
The corporate identity is well realized					
The links are well connected to each other (optical)					
The links are well connected to each other (content)					
I knew immediately how to navigate through the pages					
The shape and design fits to its contents					

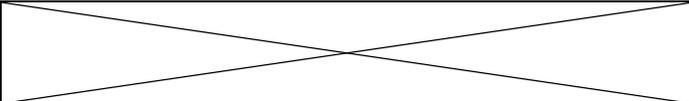
**Contents:**

	Absolutely not	Not really	Satisfying	Was good	Excellent
The site offers interesting new options that concern my work					
There are options and functions missing					
The options offered by the work environment are represented in my real work					
Contents are understandable without any further explanations					
The contents are logically linked					
Contents motivated me to act ( Complete files, add documents etc..)					

**Communication:**

	Absolutely not	Not really	Satisfying	Was good	excellent
The page invites me to interact					

**Integral**

	Absolutely not	Not really	Satisfying	Was good	excellent
I think this kind of work environment is realizable					

## CONTRIBUTION A L'INTEGRATION D'UN ENVIRONNEMENT COLLABORATIF EN CONCEPTION AMONT DE PRODUITS

### RESUME :

La conception amont de produits mécaniques est, à l'heure actuelle, peu outillée en logiciels (Mougenot 2008), et en particulier en structure collaborative support de l'activité des concepteurs. Cependant, elle fige à elle seule près de 80% des coûts futurs du projet (Michaels and Wood 1989). Dans ce contexte, notre recherche propose un modèle de définition d'un environnement collaboratif amont, à destination des entreprises. Elle s'appuie sur la mise en œuvre d'un protocole expérimental à base d'entretiens réalisés auprès d'utilisateurs finaux au sein d'entreprises. Cette démarche nous a permis de décrire l'activité de conception amont dans des secteurs industriels variés et de montrer que le développement et l'optimisation d'un environnement collaboratif amont reposent principalement sur des représentations intermédiaires (RI) de type "image". Il a été montré que l'identification et la numérisation des RI sont des préalables nécessaires à la définition de cet environnement, et que certaines contraintes métiers peuvent également être supportées par ces RI. Le modèle qui en découle permet de formuler des spécifications pour le développement d'un outil logiciel d'aide à la conception d'environnements collaboratifs, intégré dans un environnement PLM en conception mécanique.

**Mots clés :** Conception collaborative, Représentation Intermédiaire, Environnement de Travail

## CONTRIBUTION TO THE INTEGRATION OF A COLLABORATIVE DESIGN ENVIRONMENT IN THE EARLY STAGES OF DESIGN

### ABSTRACT :

Few software tools are currently available to assist the early stages of mechanical product design (Mougenot, 2008), particularly as a collaborative structure to support the activity of project designers. Yet, almost 80% of the future expenses in the project are decided in these stages alone (Michaels and Wood, 1989). In this context, our research proposes a model as a basis to define a collaborative environment for the early stages of the design process, intended for deployment in businesses. Our research rests on an experimental protocol, based on interviews carried out on end users working within businesses. This approach allowed us to describe work in the early stages of the design process, in a variety of industrial domains, and to show that the development and optimization of a collaborative work environment dedicated to the early stages of design mainly relies on image-type Intermediate Representations (IRs). We show that identifying and digitizing these IRs are necessary prerequisites to define this work environment, and that some profession-specific constraints can also be supported by these IRs. The model that stems from this work allows us to formulate specifications to develop a software tool to assist the development of collaborative work environments, integrated in a PLM environment for mechanical design.

**Keywords :** Collaborative design, Intermediate Representation, Working Environment

