
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.

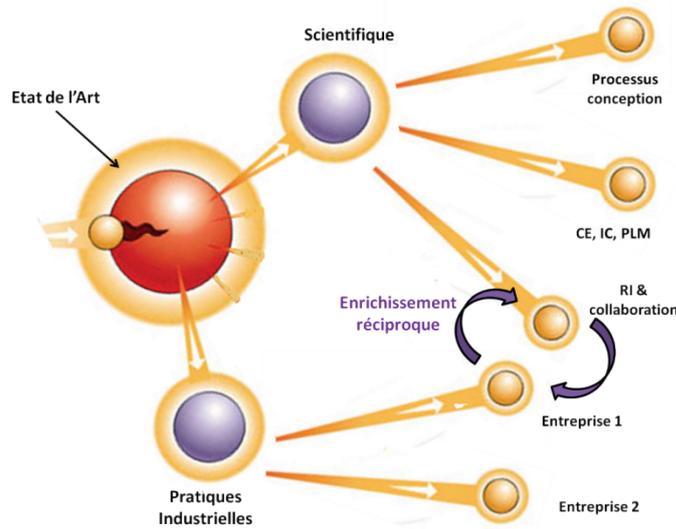


Figure 10 : méthodologie de réalisation de l'état de l'art, approche duale.

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".

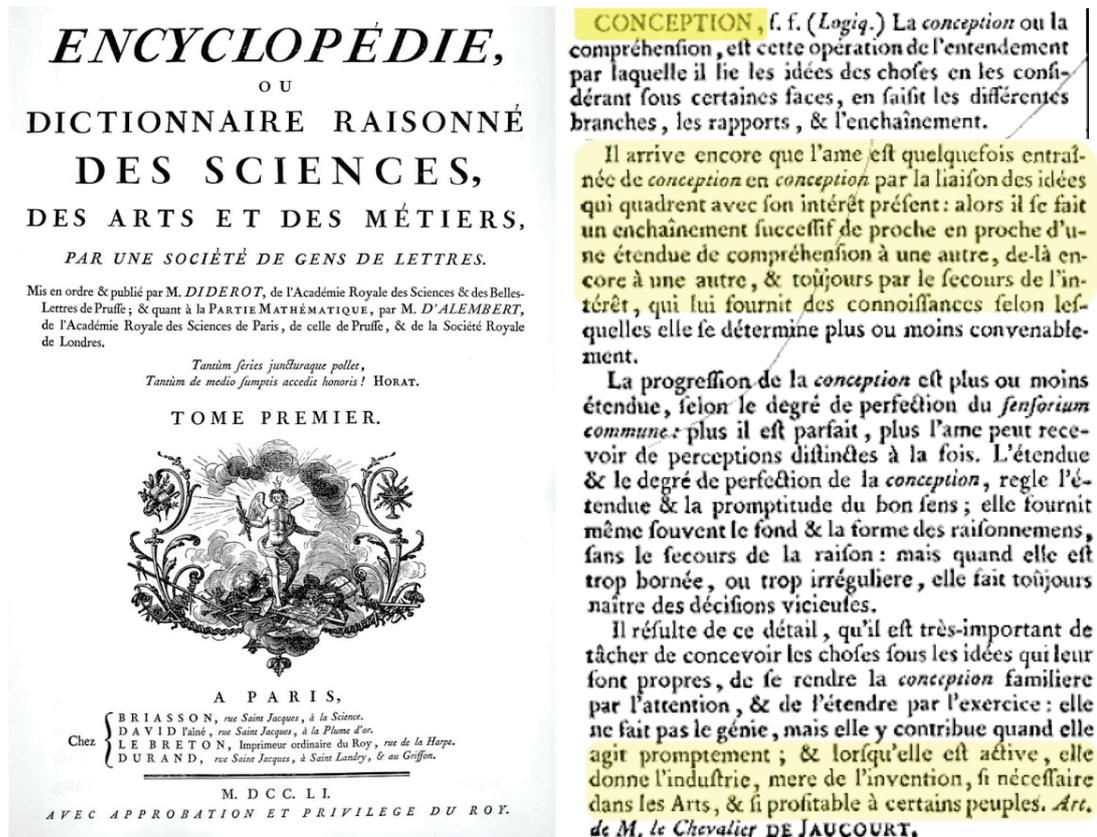


Figure 11 : extrait du chapitre "Conception" de l'Encyclopédie de Diderot, (Diderot et al. 1751).

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.

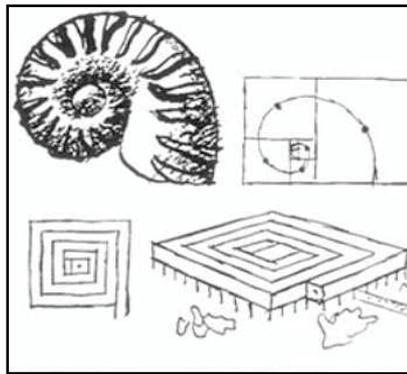


Figure 12 : concept du musée à croissance illimitée de Le Corbusier.

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.

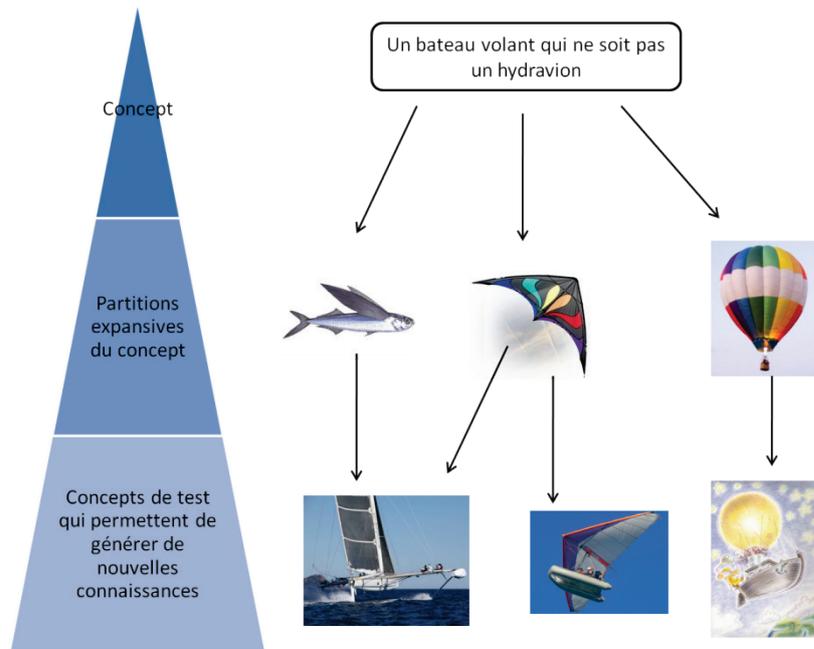


Figure 13 : évolution du concept de bateau volant.

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).

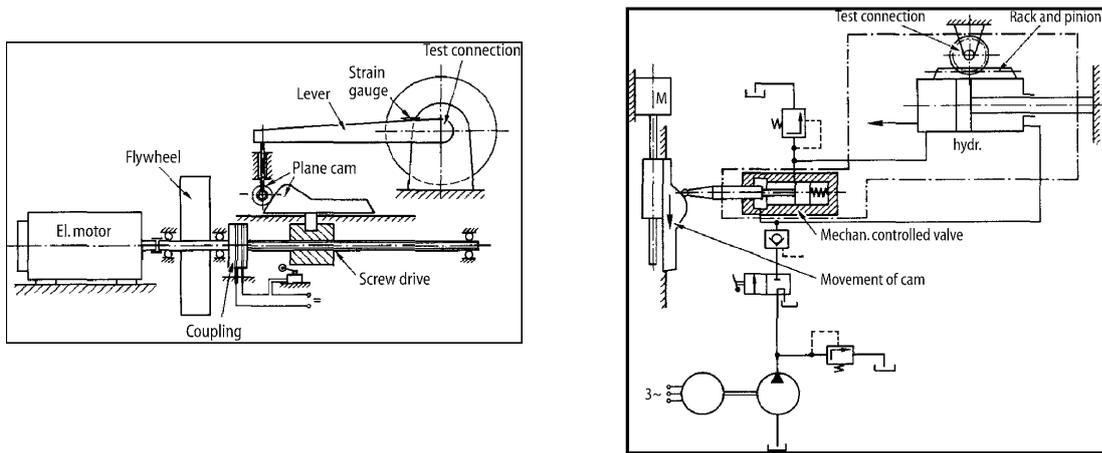


Figure 14 : concepts d'un banc d'essais, selon (Pahl et al. 2007).

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.

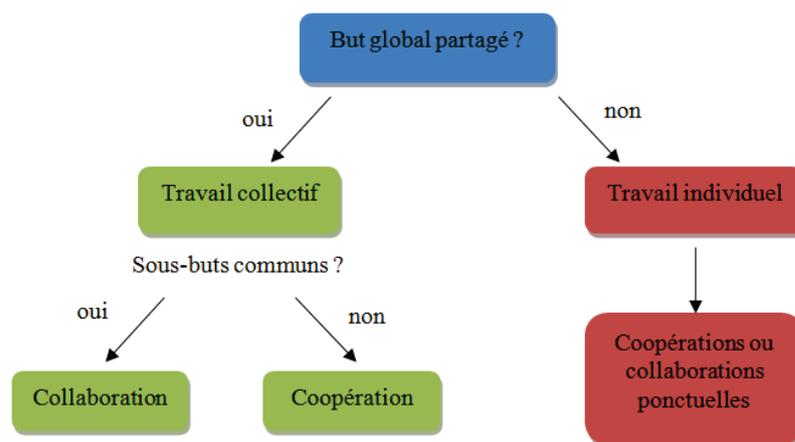


Figure 16 : les différents cas de coopération/collaboration possibles

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.

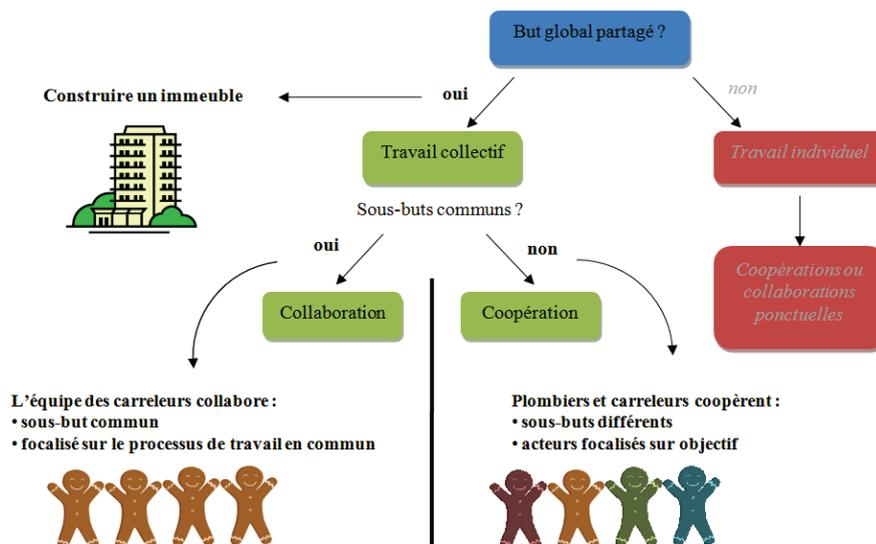


Figure 17 : exemple de collaboration et coopération dans le domaine du bâtiment.

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.

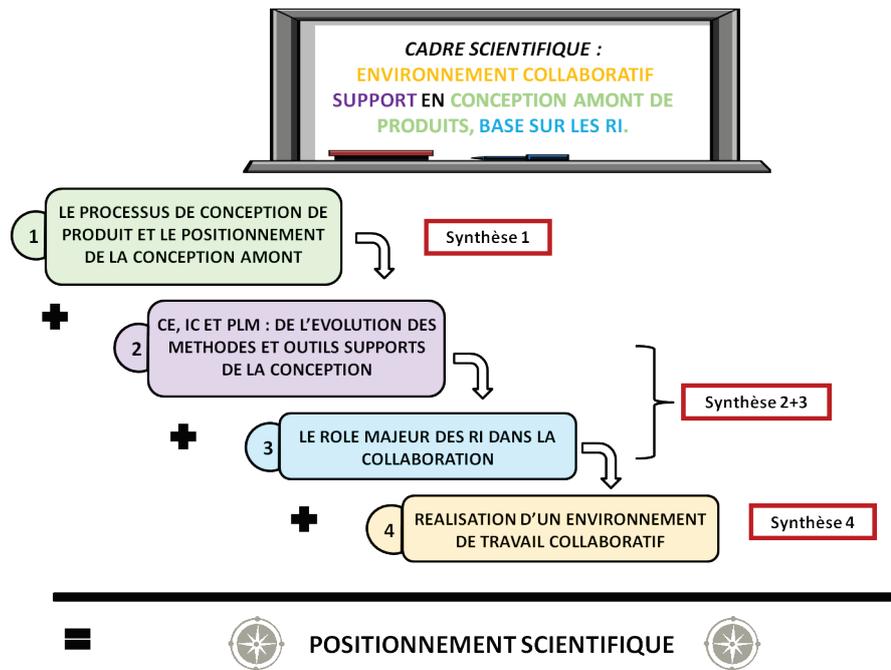


Figure 18 : démarche suivie pour l'état de l'art scientifique afin d'aboutir à un positionnement de nos travaux.

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 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 & Production refinement ; 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).

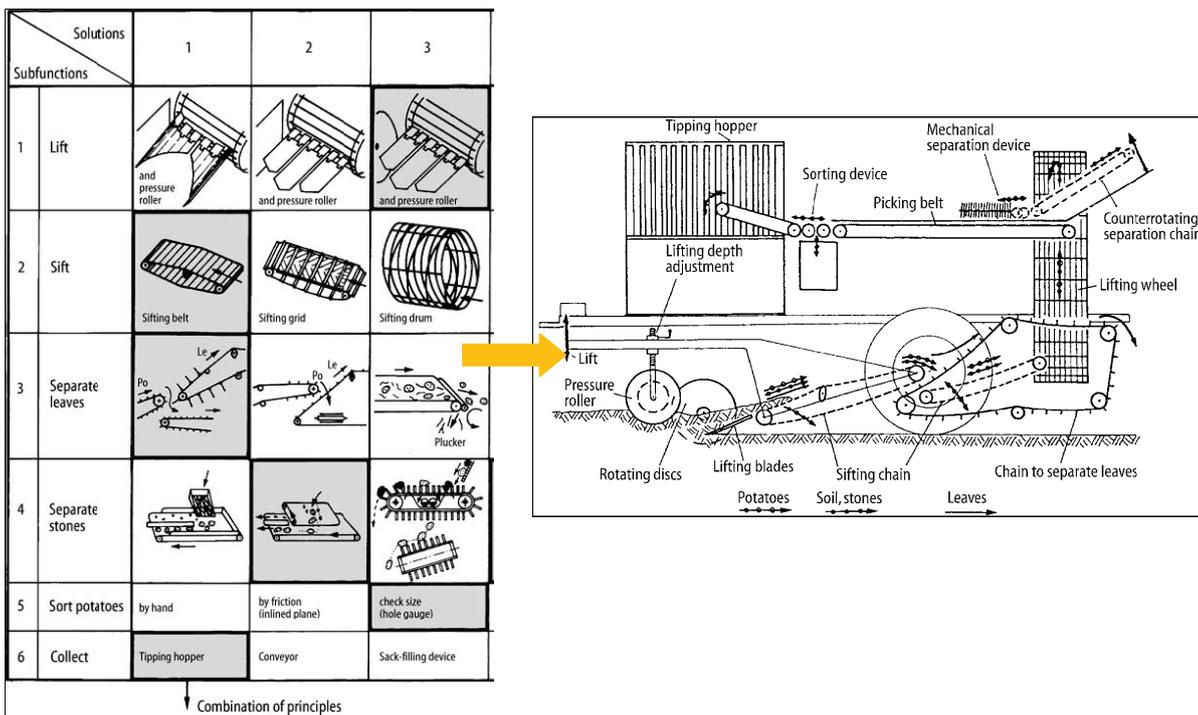


Figure 19 : principes de fonctionnement (à gauche) ainsi que leurs combinaison en principe de solution pour une machine à ramasser les pommes de terre, adapté de (Pahl et al. 2007).

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.

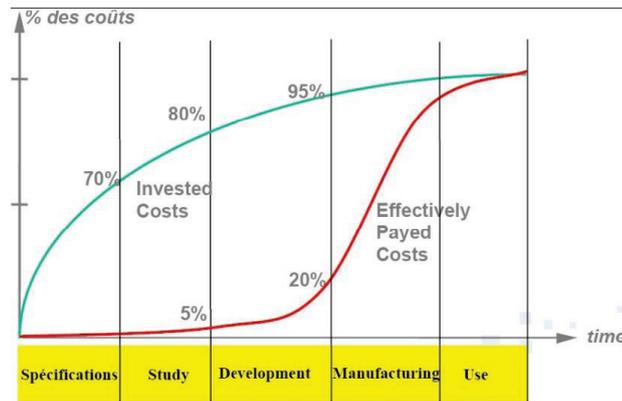


Figure 20 : courbe des coûts effectivement payés (rouge) et des coûts investis (vert) lors du développement d'un produit, adapté de (Tichkiewitch 2010).

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.

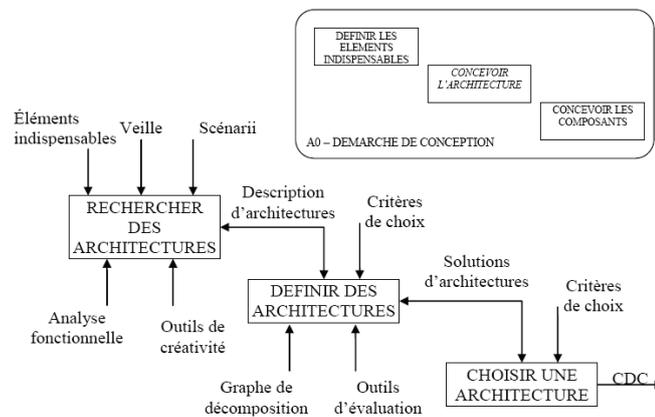


Figure 21 : démarche de définition d'une architecture produit, extraite de (Le Coq 2007).

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.

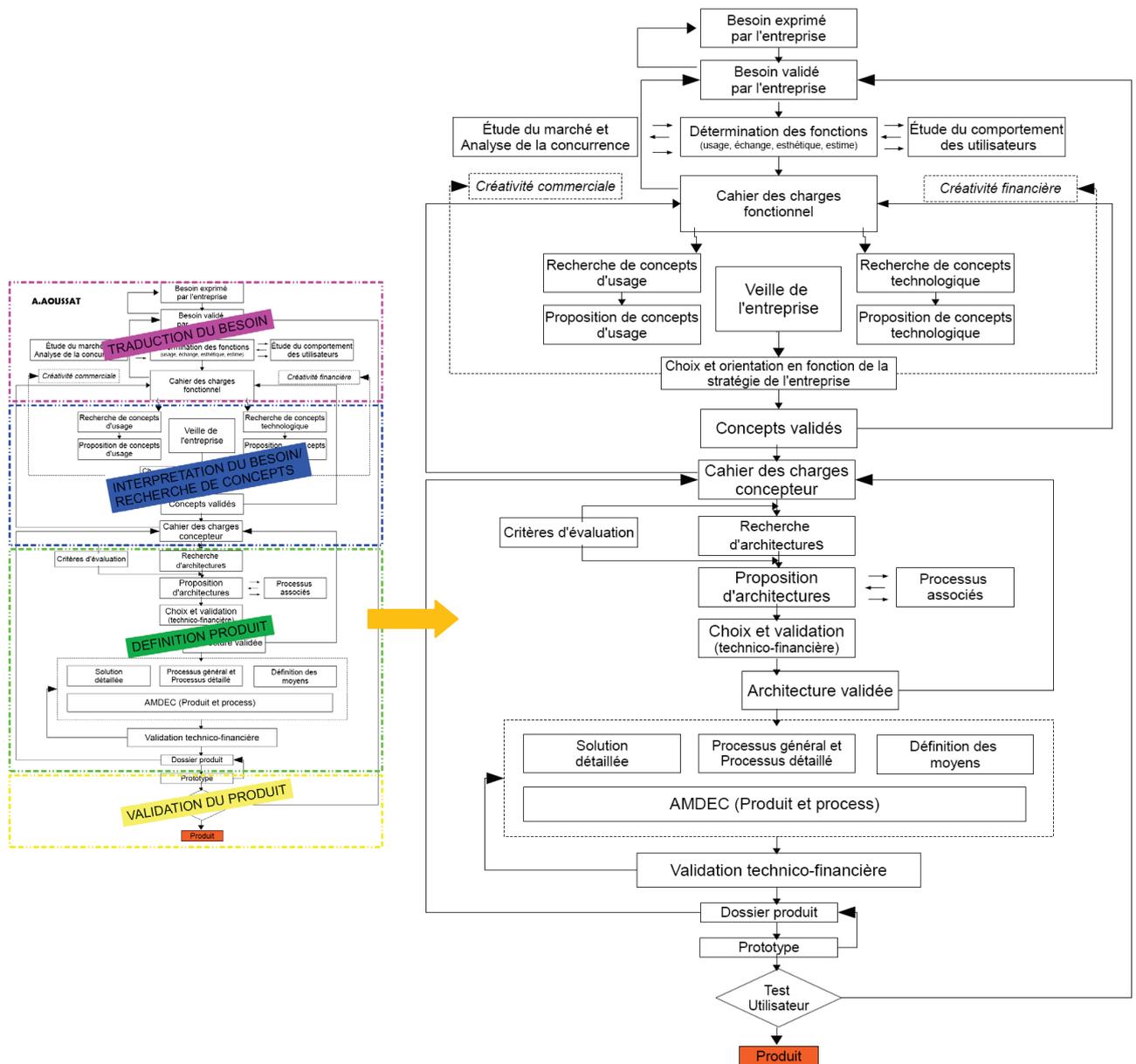


Figure 22 : modèle de conception de (Aoussat 1990), niveau macroscopique à gauche et niveau détaillé à droite.

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.

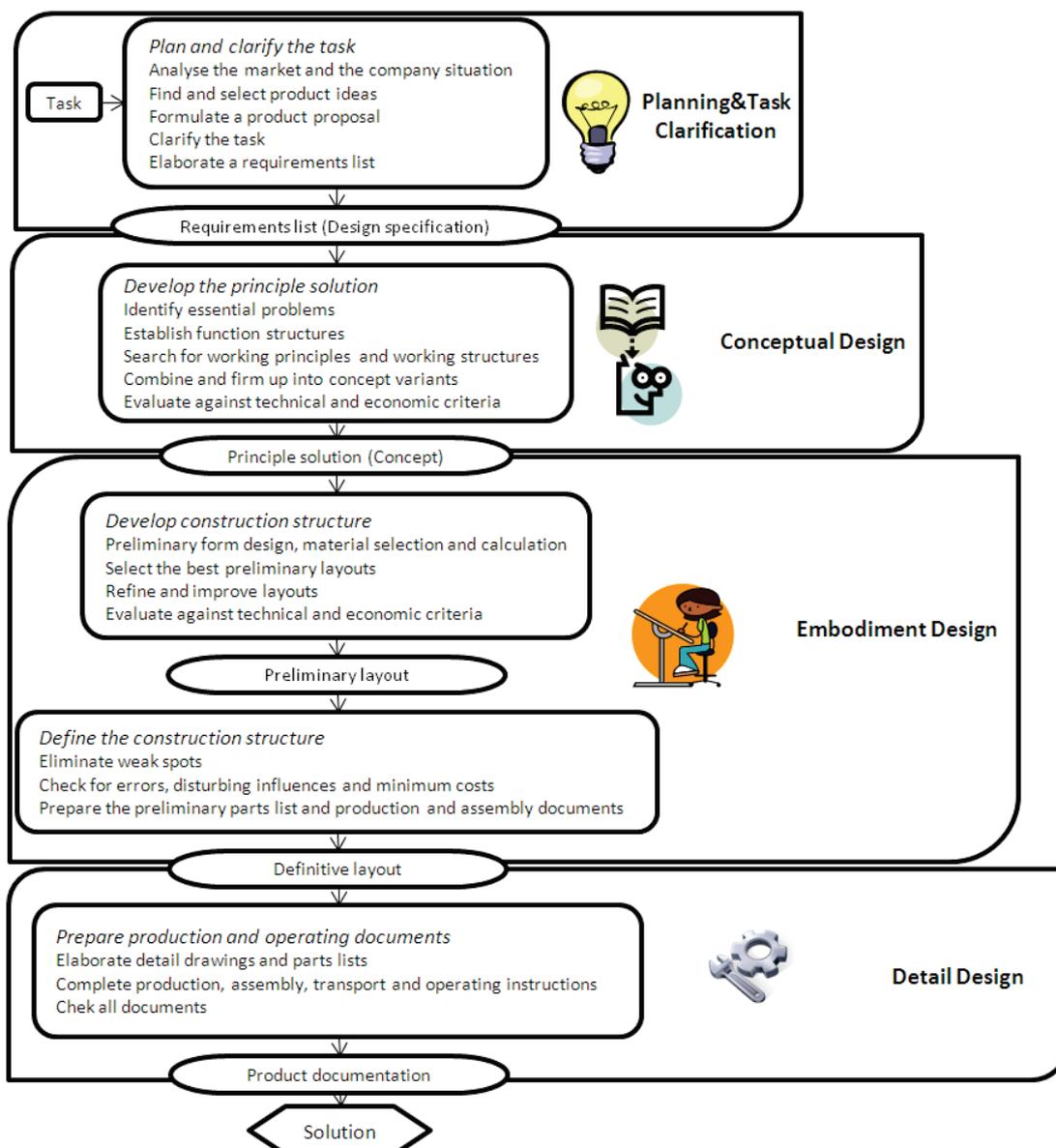


Figure 23 : processus de conception de produit, selon (Pahl et al. 2007).

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.

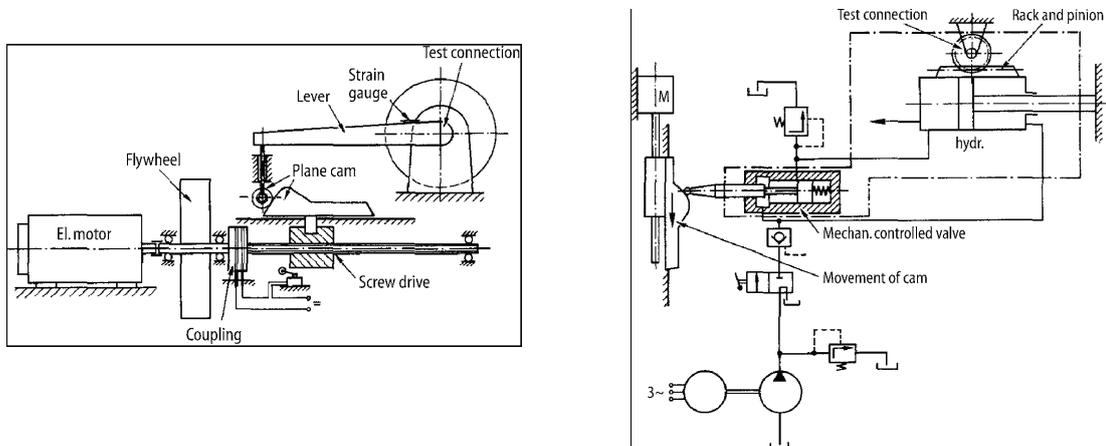


Figure 24 : concepts d'un banc d'essais, selon (Pahl et al. 2007).

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).

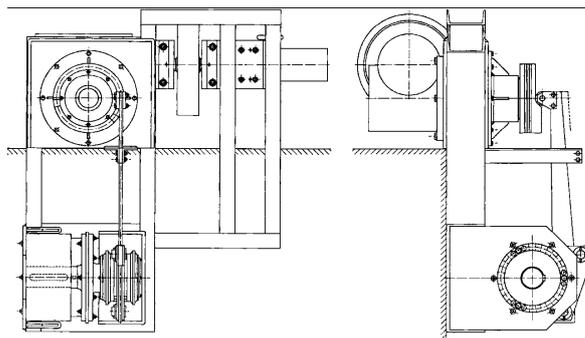


Figure 25 : exemple de tracé préliminaire, extrait de (Pahl et al. 2007).

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).

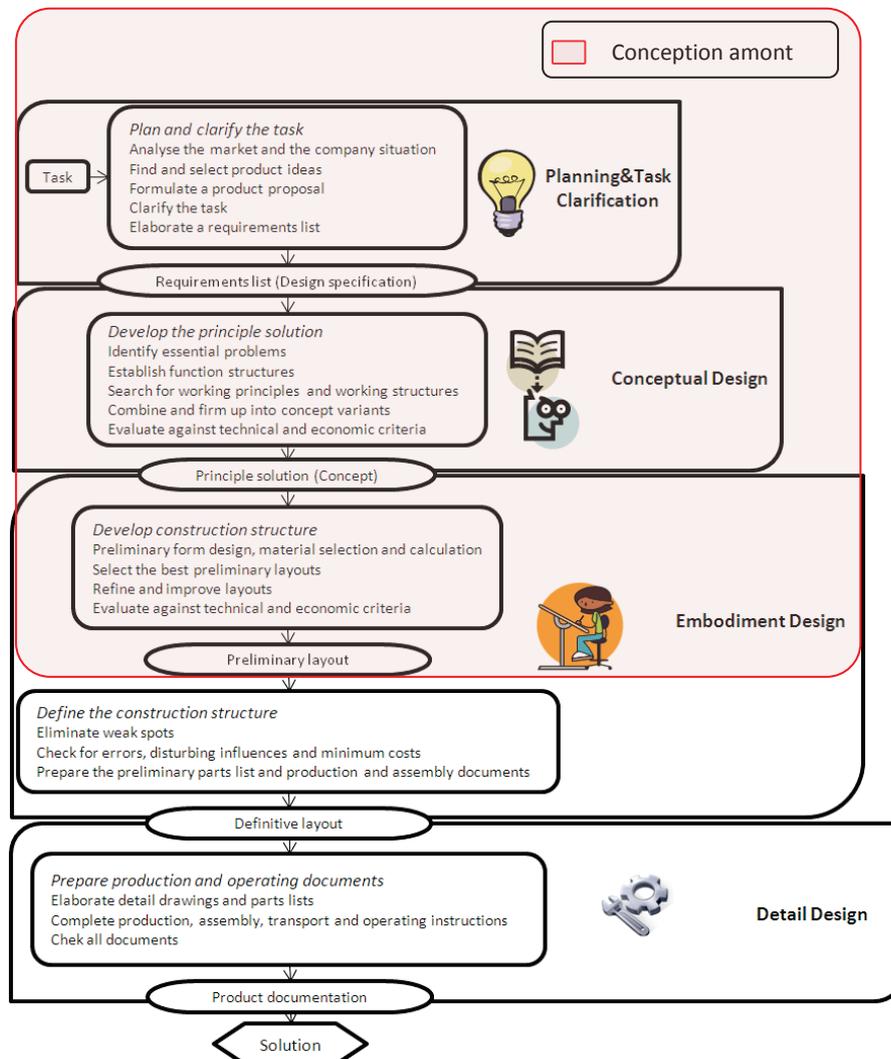


Figure 26 : position de la conception amont.

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^{ème} 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".

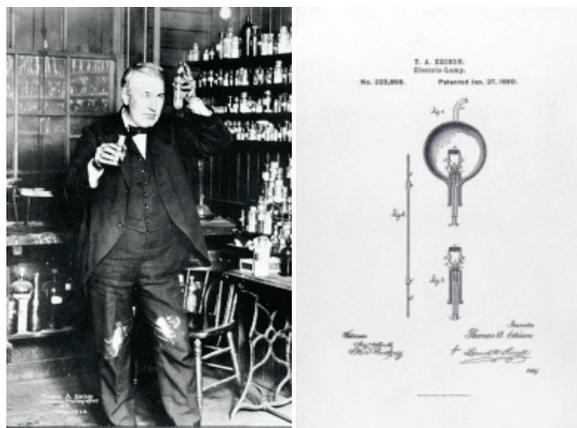


Figure 27 : Thomas Edison et son brevet de l'ampoule électrique à filament.

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).

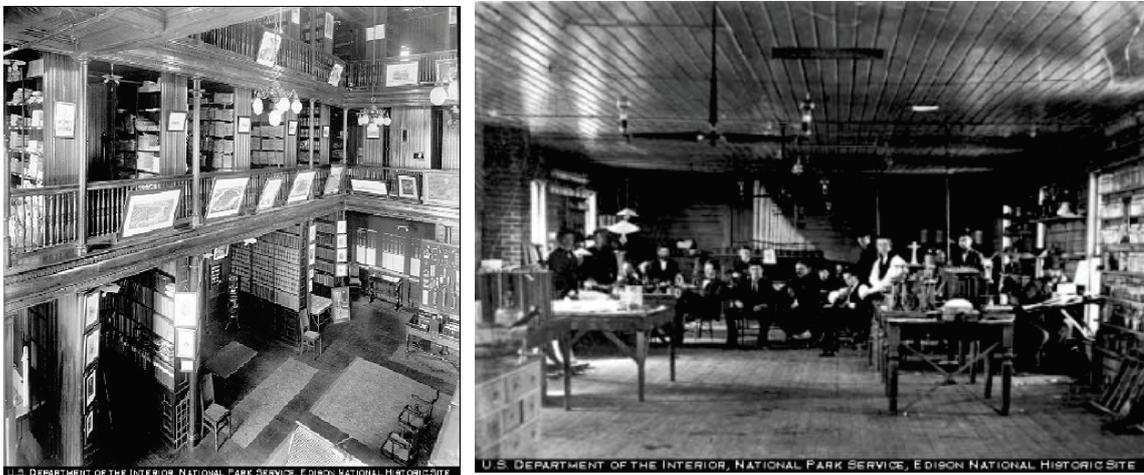


Figure 28 : la bibliothèque de Menlo Park et une photo d'une équipe de recherche d'Edison.

Cependant, 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).

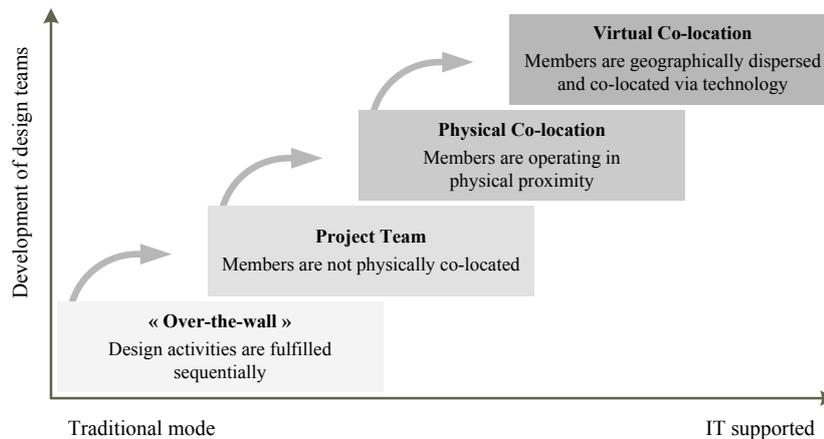


Figure 29 : évolution des tendances dans la formation de nouvelles équipes de développement de produits, adapté de (Sharifi et al. 2001).

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).

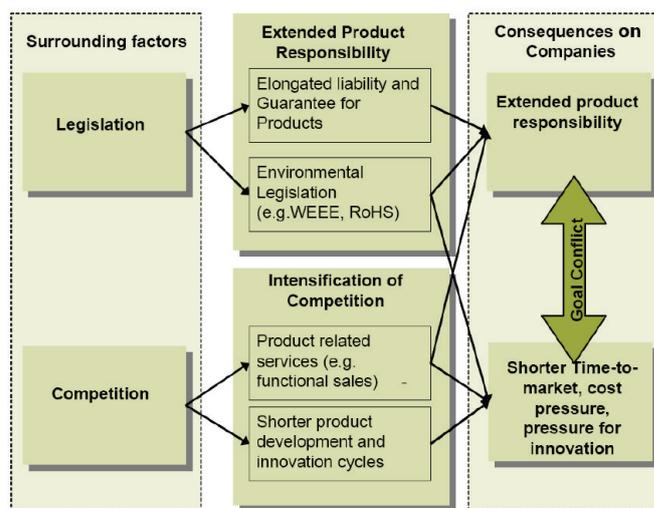


Figure 30 : les effets couplés de la compétitivité et de la législation, extrait de (Tichkiewitch et al. 2010b).

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.

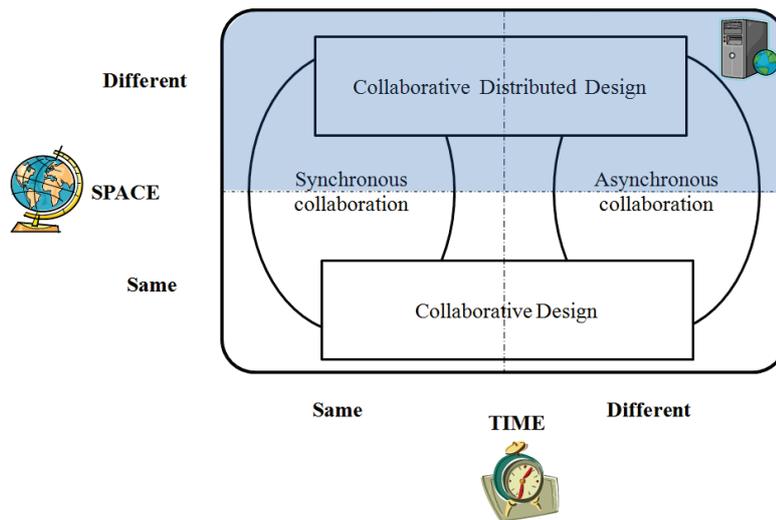


Figure 31 : matrice de classification des outils de collaboration, adaptée de (Johansen 1988).

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.

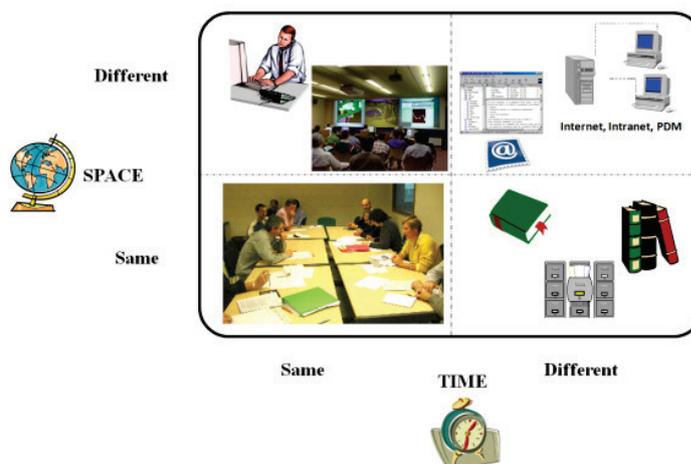


Figure 32 : classification des principaux outils de collaboration actuels.

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.

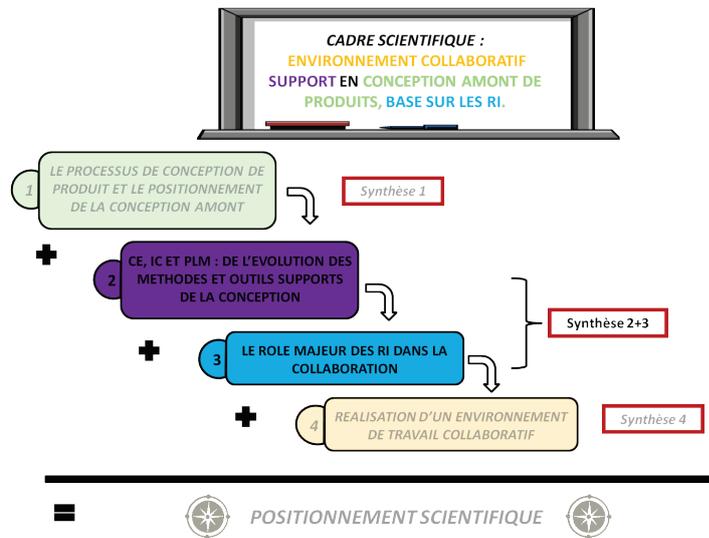


Figure 33 : progression de la démarche suivie pour l'état de l'art scientifique afin d'aboutir à un positionnement de nos travaux.

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.

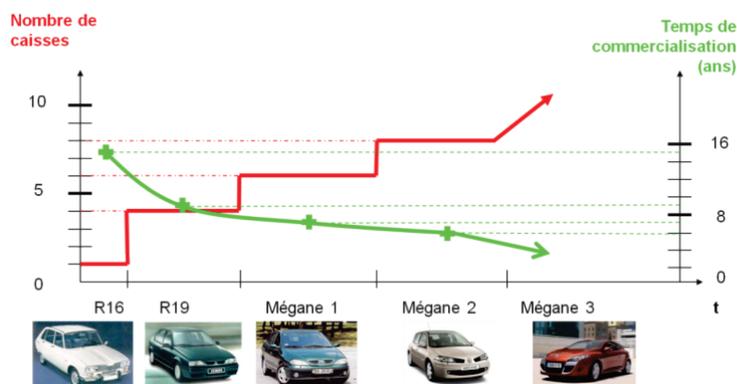


Figure 34 : passage d'un mono-produit à une gamme complexe, l'exemple de Renault.

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.

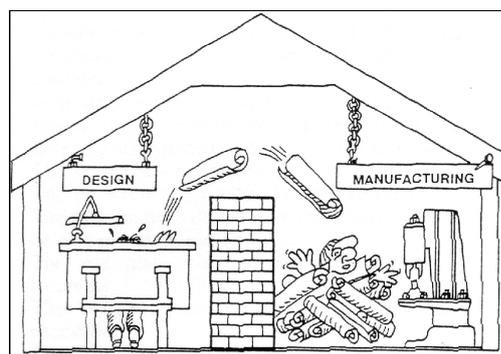


Figure 35 : illustration de la méthode du "throw over the wall" en conception de produit, extrait de (Boothroyd et al. 2011).

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, concourante 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.

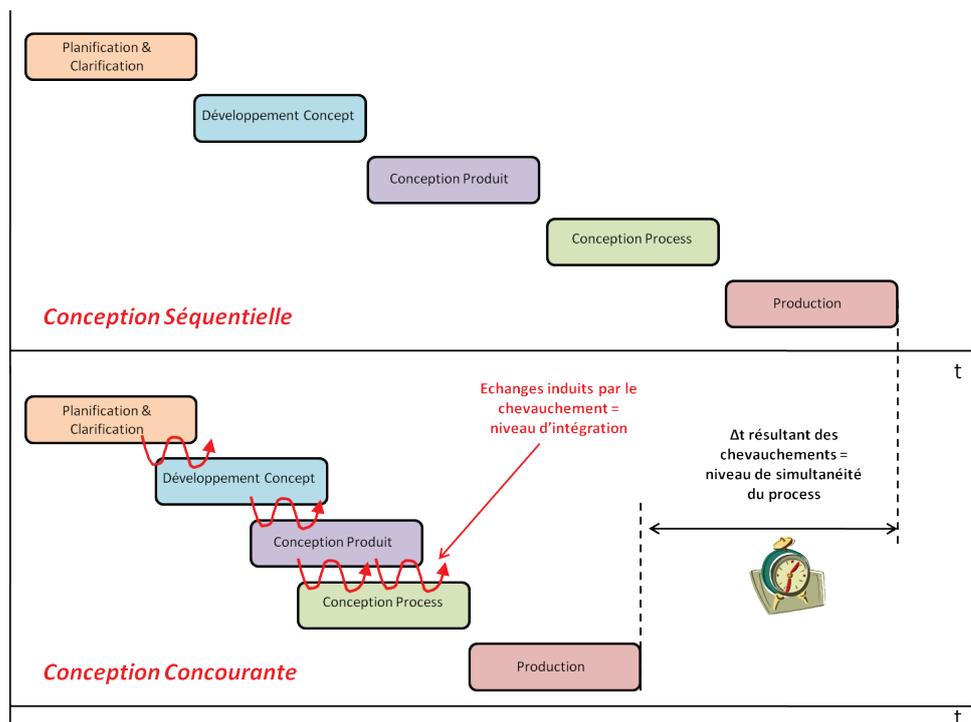


Figure 36 : comparaison entre les processus de conception séquentielle et conception concourante.

La représentation du processus de conception, selon le modèle de conception concourante, 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.

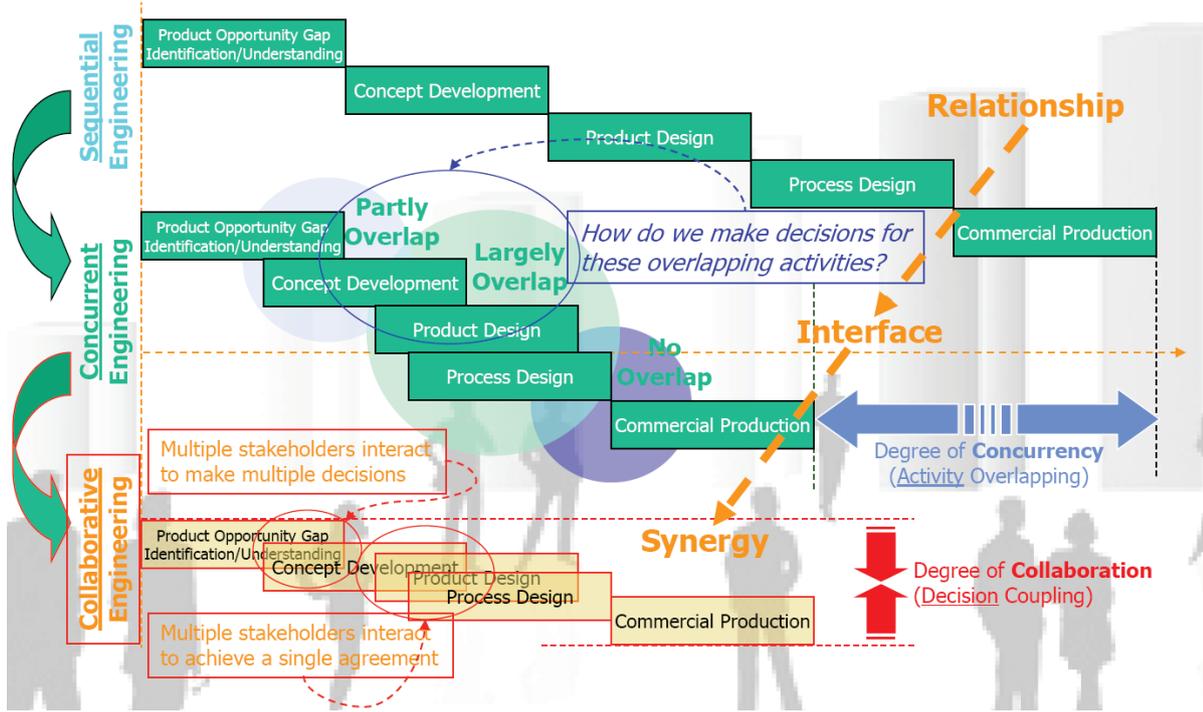


Figure 37 : synthèse des évolutions entre ingénierie séquentielle, ingénierie concurrente et ingénierie collaborative, extraite de (Tichkiewitch et al. 2010a).

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.

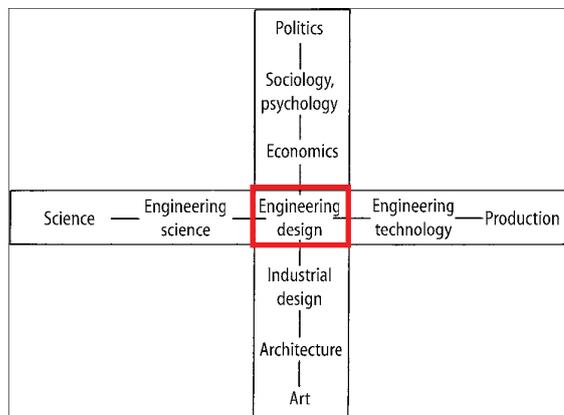


Figure 38 : la conception, une activité centrale, extrait de (Pahl et al. 2007).

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).

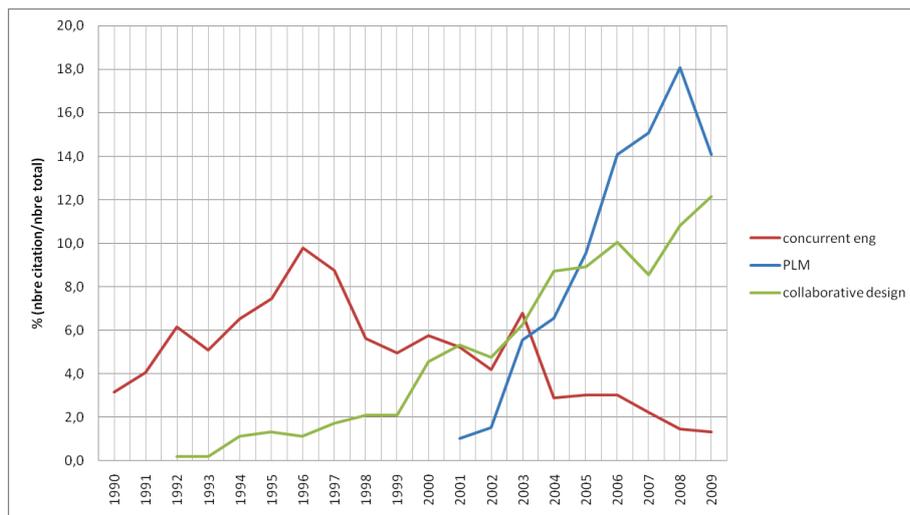


Figure 39 : évolution des publications scientifiques liées au CE, à l'IC et au PLM, depuis 1990

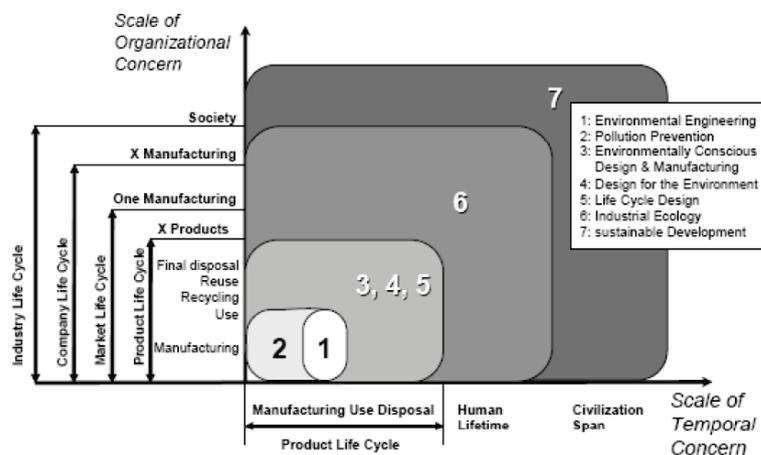


Figure 40 : graphe de l'impact de travaux de recherche, selon une échelle temporelle et organisationnelle, extrait de (Niemann et al. 2009).

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.

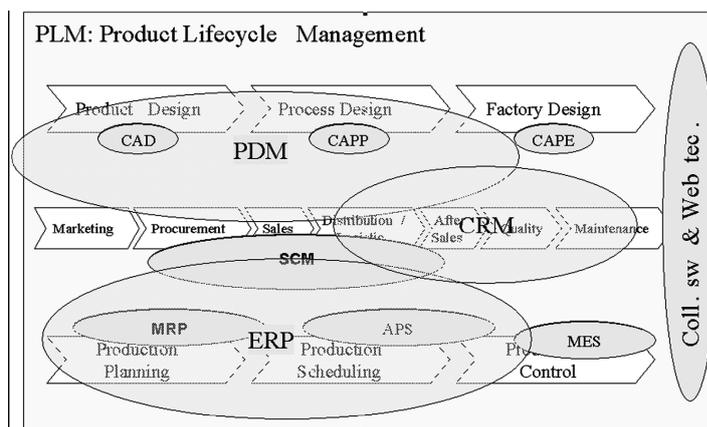


Figure 41 : contexte d'un outil PLM, extrait de (Garetti et al. 2005).

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 RÔLE MAJEUR DES REPRÉSENTATIONS INTERMÉDIAIRES 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.

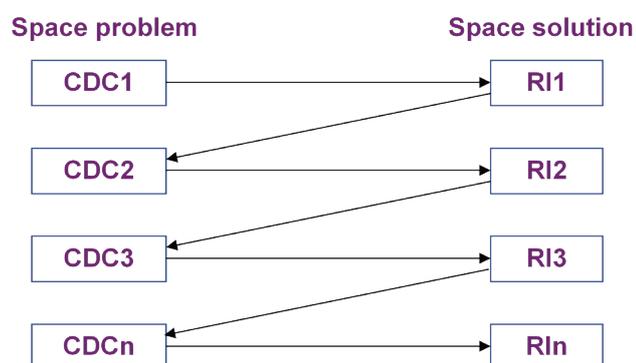


Figure 42 : transformations successives entre l'espace des problèmes et celui des solutions.

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.

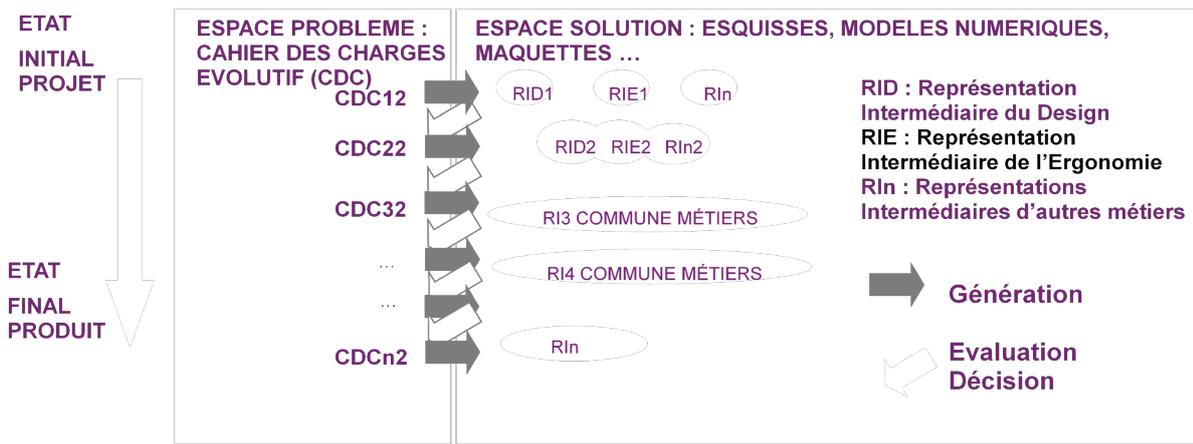


Figure 43 : différentes RI au cours de la conception d'un produit.

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^{ère} 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.

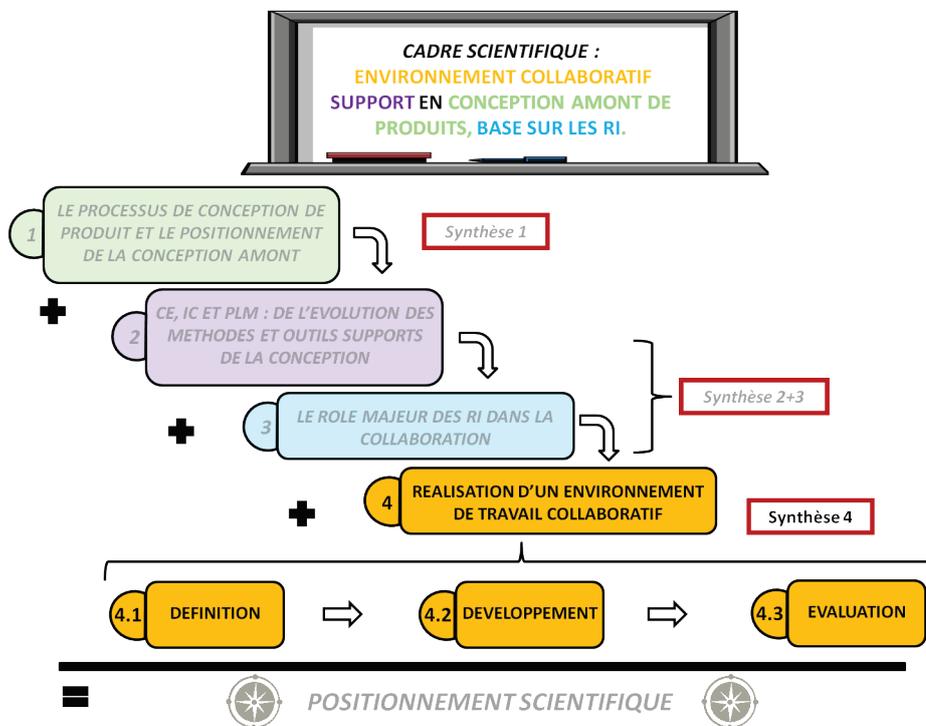


Figure 45 : progression de la démarche suivie pour l'état de l'art scientifique afin d'aboutir à un positionnement de nos travaux.

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).

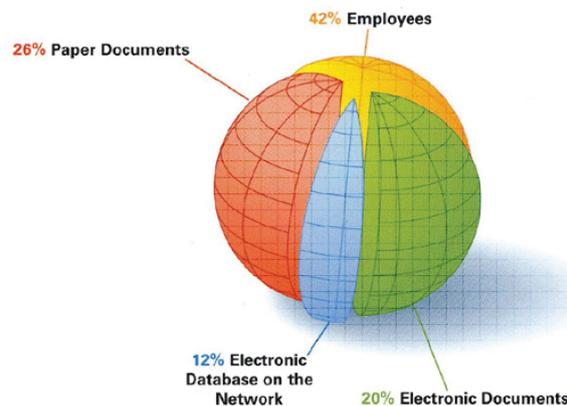


Figure 46 : répartition de la connaissance en conception de produit, extrait de (Père et al. 2010).

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.

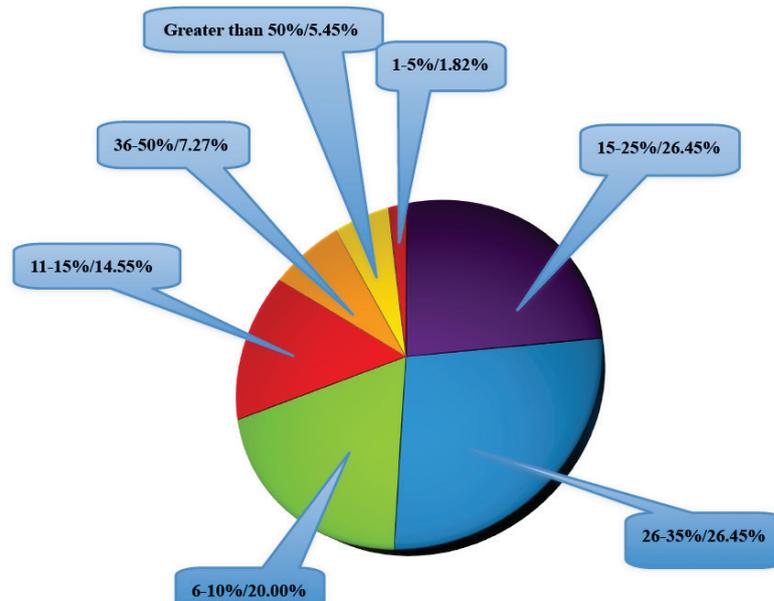


Figure 47 : pourcentage des personnes (à droite des bulles) et leurs temps moyens (en % de la journée de travail, à gauche) passés à chercher de l'information, données extraites de (DelphiGroup 2010).

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.

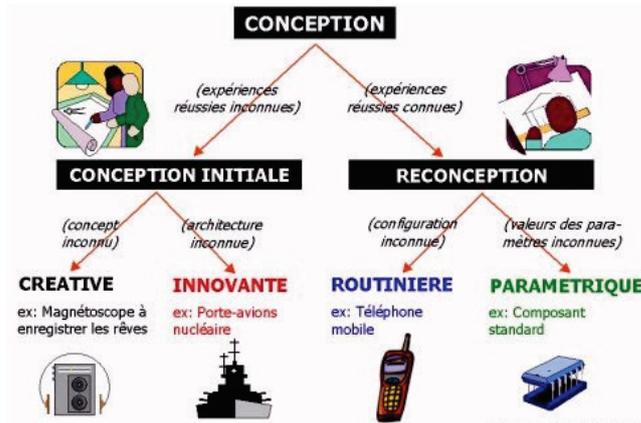


Figure 48 : les différents projets de conception, extrait de (Serrafero 2008).

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).

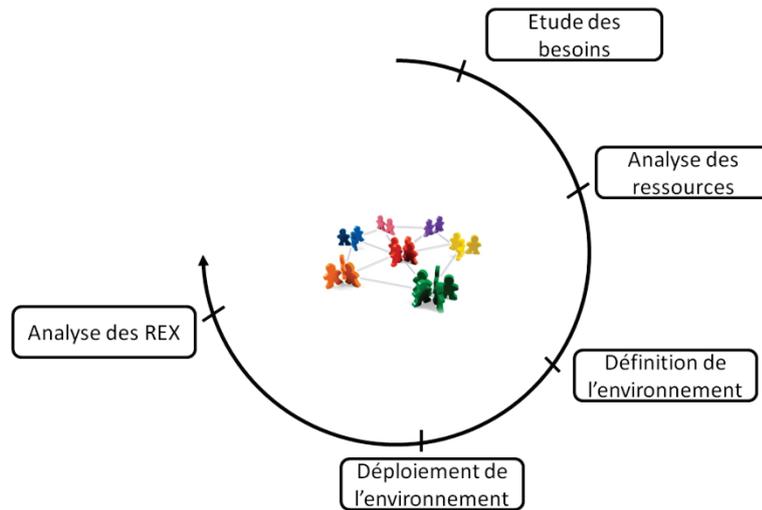


Figure 49 : démarche de définition d'un environnement collaboratif, adaptée de (Bernard 2004).

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.

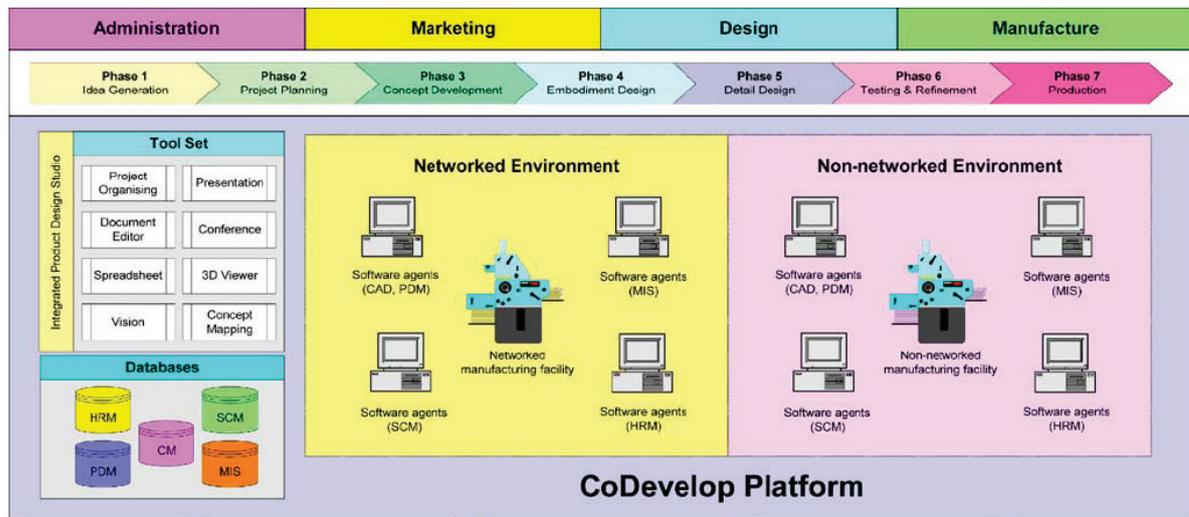


Figure 50 : la plateforme CoDevelop, extrait de (Tseng et al. 2008).

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.

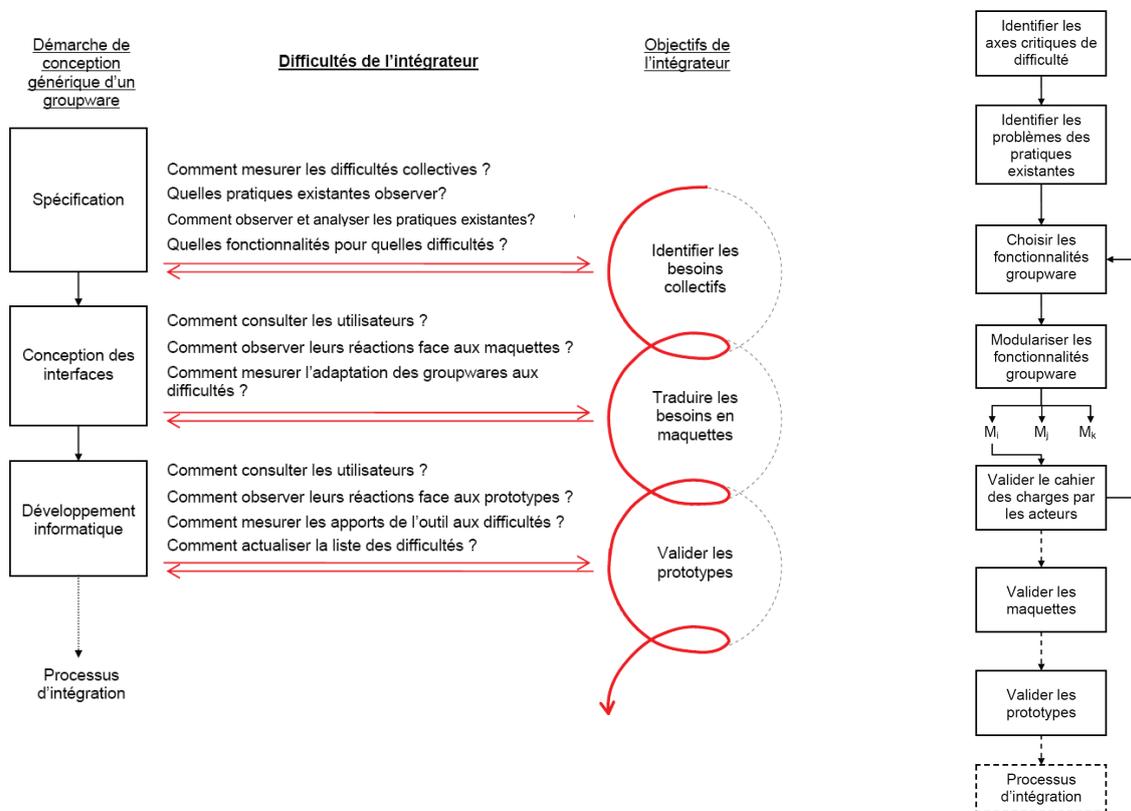


Figure 51 : Synthèse des difficultés de l'intégrateur face à la conception d'un groupware (à gauche), et proposition de méthode (à droite), extrait de (Restrepo 2006).

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.

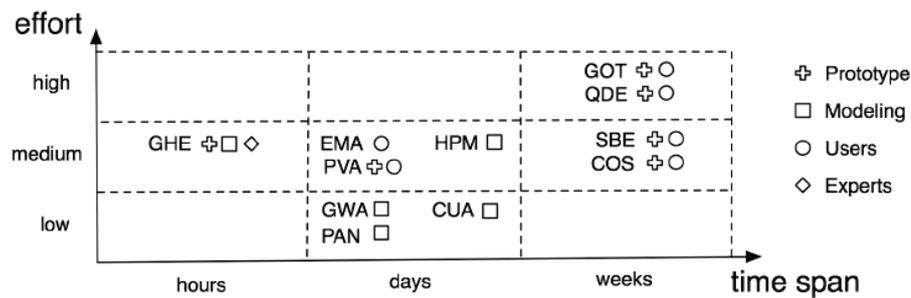


Figure 52 : les méthodes d'évaluation classées selon leurs coûts, extraite de (Herskovic et al. 2007).

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 concurrente 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.