

Démarche et proposition

Les deux précédents chapitres ont permis de formaliser la problématique précise de cette thèse, son objectif ainsi que l'approche requise. Quant au deuxième chapitre, il a permis de réaliser un bilan des démarches, méthodes, outils et modèles dédiés à la conception en identifiant leurs apports potentiels, mais également les manques.

A ce stade de l'étude, tous les éléments entrant dans l'élaboration d'une solution pertinente sont réunis. Pour cela, nous élaborons une démarche spécifique permettant d'atteindre l'objectif fixé tout en répondant à l'ensemble des points de la problématique.

Celle-ci nécessitant une approche systémique, une démarche en deux phases est élaborée. La première consiste à identifier l'ensemble des objets et des mécanismes entrant dans la conception d'un produit. Quant à la seconde phase, son objectif est de construire un cadre méthodologique à partir des éléments issus de la première phase.

L'objectif de ce chapitre est donc de présenter en détail cette démarche particulière, puis le cadre méthodologique qui résulte de son application.

3.1. La démarche

La démarche en deux phases que nous avons retenue s'appuie sur deux outils spécifiques qu'il convient de préalablement définir et de caractériser. Le premier est le diagramme de concepts qui constitue notre principal outil de réflexion. Le second est le formalisme de représentation du cadre méthodologique qui est le vecteur de communication de notre proposition. Ces deux outils sont complétés par un mécanisme permettant d'exploiter les résultats issus du diagramme de concepts pour élaborer le cadre méthodologique. Ce chapitre a donc pour objectif de présenter ce travail préparatoire.

3.1.1. Création du diagramme de concepts

La création du diagramme de concepts suit un processus en trois étapes. Tout d'abord, un cadre représentatif des besoins de cette étude est fixé. Il est ensuite complété par un formalisme de représentation spécifique. Enfin, une stratégie est proposée afin d'initier le travail de peuplement du diagramme. Ces trois étapes sont à présent détaillées dans les paragraphes suivants.

3.1.1.1. Caractérisation du cadre du diagramme de concepts

Pour faciliter l'identification des objets recherchés, il est préalablement nécessaire de définir un cadre. Celui-ci doit non seulement être adapté aux besoins de cette étude mais il doit également permettre de spécifier les éléments du diagramme.

Ainsi, en considérant qu'un projet de développement d'entreprise ou de conception de produit n'est fondamentalement qu'un ensemble d'actions qui génèrent des données, nous proposons de représenter ce cadre à travers des caractéristiques représentatives des deux éléments. Celles-ci sont issues de deux hypothèses fortes qui sont présentées ci-après.

La première est la suivante : pour atteindre l'ensemble des objectifs de conception d'un produit (en termes de coût, de délai et de performances), il est indispensable de pouvoir contrôler les données et donc préalablement les actions. En d'autres termes, nous considérons que la conception d'un produit résulte de la construction préalable d'un processus à partir duquel s'organisent des ressources qui créent à leur tour des données. Par conséquent, nous choisissons un modèle multi-vues de type PPR (Produit/ Processus/ Ressources) qui peut parfaitement s'adapter à cette vision de la conception.

Quand à la seconde, tout projet de conception de produit est constitué d'un mélange d'actions ou de données plus ou moins récurrentes. Certaines peuvent être réutilisées au sein d'un même projet ou dans des projets différents (à l'image d'une procédure), alors que d'autres n'ont un sens que dans un contexte extrêmement limité (comme un composant spécifique de machine par exemple). Le niveau de généralité des actions est donc un critère important dans un projet de conception car il en impacte directement le rendement. En effet, identifier, capitaliser et réutiliser des savoir-faire permet de gagner un temps précieux. Nous choisissons donc de représenter ce critère de généralité à travers trois niveaux complémentaires : stratégique (réurrence entre projets), tactique (réurrence au sein d'un même projet) et opérationnel (pas de réurrence).

Ces deux hypothèses sont représentées de manière matricielle à travers trois colonnes figurant le produit, le processus et les ressources de conception et de trois lignes associées aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel. L'ensemble forme neuf cellules qui constituent le cadre du diagramme de concepts qui est présenté dans le tableau 3-1.

	Produit	Processus	Ressources
Niveau stratégique			
Niveau tactique			
Niveau opérationnel			

Tableau 3-1 : représentation matricielle du cadre du diagramme de concepts.

Il est important de noter que les deux hypothèses sur lesquelles repose ce cadre permettent de répondre à une partie importante de la problématique de cette étude (respect des objectifs de conception, réduction du coût de développement, pilotage et rentabilité des projets...).

3.1.1.1. Le formalisme de représentation

Compte-tenu du rôle et du cadre attribués à ce diagramme de concepts, le formalisme de représentation retenu pour représenter chacun d'eux est simplement composé de deux types d'éléments :

- des objets qui sont des ensembles de données,
- des liens unidirectionnels qui explicitent la fonction ou le rôle de l'objet émetteur par rapport à l'objet récepteur.

Mais, ces éléments ne suffisent pas car ils ne permettent pas d'initier le peuplement du diagramme. Pour cela, nous considérons un projet de conception de produit comme une simple activité qui transforme des données d'entrée en données de sorties (ou livrables). Le peuplement du diagramme de concepts peut alors être réalisé trois temps :

1. Identification et positionnement d'objets initiaux (entrées de l'activité)
2. Identification et positionnement d'objets finaux (sorties de l'activité)
3. Identification et positionnement d'objets intermédiaires permettant de passer des objets initiaux aux objets finaux.

Ces trois catégories d'objets sont détaillées dans les paragraphes suivants. Une définition plus précise ainsi que plusieurs exemples sont présentés.

3.1.1.2. Les objets initiaux

Les objets initiaux sont relativement peu nombreux, cependant ils constituent les seules données fiables sur lesquelles il est possible de s'appuyer pour initier un projet de conception de produit. Ils en forment donc les références de plus haut niveau.

Au niveau stratégique, le point de départ est constitué par les objectifs et le plan de développement de l'entreprise qui représentent l'orientation commerciale que celle-ci souhaite prendre. A ce stade, les savoir-faire et la documentation techniques (sur les produits et sur les outils de conception) sont également disponibles.

Au niveau tactique la réalisation de tout projet de conception de produit dépend des objectifs fixés par le plan de développement de l'entreprise en termes de coût, de délai et de performances, mais également des ressources disponibles à cet instant. A noter que l'ensemble de ces objectifs peuvent fluctuer ce qui implique deux modes de conception : la création initiale des données et leur modification.

Quant au niveau opérationnel, il consiste à créer et à modifier les données de conception du produit. Pour cela, chaque concepteur doit préalablement savoir comment s'inscrit sa tâche dans le contexte global du projet. En d'autres termes, avant de débiter tout travail de conception, il lui est théoriquement indispensable de savoir ce qu'il doit faire, quand et comment. Ainsi, son emploi du temps est un élément majeur pour mener à bien sa mission. Il représente aussi l'élément de communication principal entre un concepteur au rôle très contextuel et un chef de projet détenant la vision d'ensemble du projet. Bien entendu, on retrouve également d'autres éléments constituant généralement l'environnement de travail des concepteurs : leurs outils, leurs connaissances techniques et le contexte réglementaire et normatif auquel leur travail doit répondre.

A titre d'exemple, le tableau 3-2 présente les objets initiaux identifiés lors du peuplement du diagramme de concepts. Ils sont répartis suivant le cadre matriciel qui lui est associé.

	Produit	Processus	Ressources
Niveau stratégique	▶ Objectifs stratégiques de l'entreprise	▶ Savoir-faire	▶ Manuels d'utilisation des outils de conception
Niveau tactique	▶ Performances attendues du produit ▶ Modification des performances attendues du produit ▶ Approbation client	▶ Objectifs commerciaux (coût et date de mise à disposition du produit) ▶ Modification des objectifs commerciaux (coût et date de mise à disposition du produit)	▶ Ressources Humaines disponibles ▶ Ressources Logicielles disponibles ▶ Ressources Matérielles disponibles
Niveau opérationnel	Aucun	▶ Emplois du temps des concepteurs	▶ Outils de conception ▶ Savoir-faire technique ▶ Normes

Tableau 3-2: présentation des objets de départ requis lors de la conception d'un produit.

3.1.1.3. Les objets d'arrivée

Les objets intermédiaires d'arrivée (ou livrables) sont ceux qui entrent dans l'élaboration des livrables d'un projet de conception de produit, mais également ceux qui permettent de passer d'un niveau de généralité à un autre.

Comme pour les objets de départ, le tableau 3-3 présente l'exemple des objets finaux retenus lors du peuplement du diagramme de concepts. Ceux-ci sont également positionnés par rapport au même cadre matriciel.

	Produit	Processus	Ressources
Niveau stratégique	Aucun	▶ Activités de conception coordonnées	▶ Procédures ▶ Tutoriaux
Niveau tactique	▶ Contrat ▶ Avenants au contrat	▶ Planning de réalisation des activités de conception	Aucun
Niveau opérationnel	▶ Données de conception du produit	Aucun	▶ Paramètres de réalisation

Tableau 3-3: présentation des objets d'arrivée requis lors de la conception d'un produit.

Au niveau stratégique, les seuls livrables ayant un véritable caractère générique sont les procédures de réalisation d'actions de conception et les tutoriaux permettant la mise en œuvre des outils qu'elles requièrent.

Au niveau tactique, on distingue deux éléments complémentaires : le premier formalise la relation avec le client (qui peut être interne ou externe) alors que le second définit et pilote la manière dont sera mené le projet de conception d'un produit.

Enfin, en tant que maillon final de cette « chaîne de conception », le niveau opérationnel fournit les données de conception d'un produit (livrable client). Mais, il peut potentiellement livrer d'autres données concernant plus précisément le projet et la manière dont il s'est déroulé en alimentant les niveaux supérieurs qui peuvent par exemple les exploiter afin de fiabiliser leurs estimations en termes de planification ou de chiffrage d'un projet.

3.1.1.4. Les objets intermédiaires

Les objets intermédiaires représentant le cheminement permettant de relier les objets initiaux aux objets finaux, ils proviennent donc de la mise en œuvre d'un savoir-faire. Pour les identifier, nous nous sommes appuyés sur l'observation et l'analyse de projets de conception de produits réalisés dans différentes PME. Leur sélection est réalisée en fonction de deux critères : leur invariance et cohérence vis-à-vis de l'ensemble de la problématique. Concernant ce dernier point, il repose sur le principe du moindre engagement qui implique la création d'une suite d'objets dont l'ordonnancement est dicté par leurs liens d'antériorités.

A noter que le terme « objet intermédiaire de la conception » a été introduit à la fin des années quatre vingt-dix par A.JEANTET [Jeantet 98] [Boujut 03]. Il fait suite à une étude sociologique des concepteurs et plus particulièrement sur leur manière de s'organiser. Ainsi, il remarque que celle-ci fait émerger des objets récurrents qu'il caractérise à travers trois fonctions : « traduction », « médiation » et « représentation ». Ils constituent donc les éléments privilégiés de la coopération entre les métiers. Dans le cadre de cette étude, les objets intermédiaires ne remplissent pas forcément les trois fonctions évoquées précédemment. Par contre, ils doivent impérativement contribuer à relier les objets initiaux aux objets finaux.

Il est également important de préciser que l'analyse détaillée des caractéristiques des objets intermédiaires et de leurs interactions fait apparaître des mécanismes génériques qui assurent la cohérence de l'ensemble. Ceux-ci sont alors formalisés à travers des règles et des

contrôles qui viennent compléter les différentes suites d'objets.

La figure 3-1 présente un exemple décontextualisé du diagramme de concepts tel que nous l'avons mis en œuvre. Elle fait notamment apparaître les différents types d'objets (initiaux, finaux, intermédiaires, régulation/contrôle) et leurs interactions qui peuvent franchir les frontières de chaque cellule du cadre matriciel.

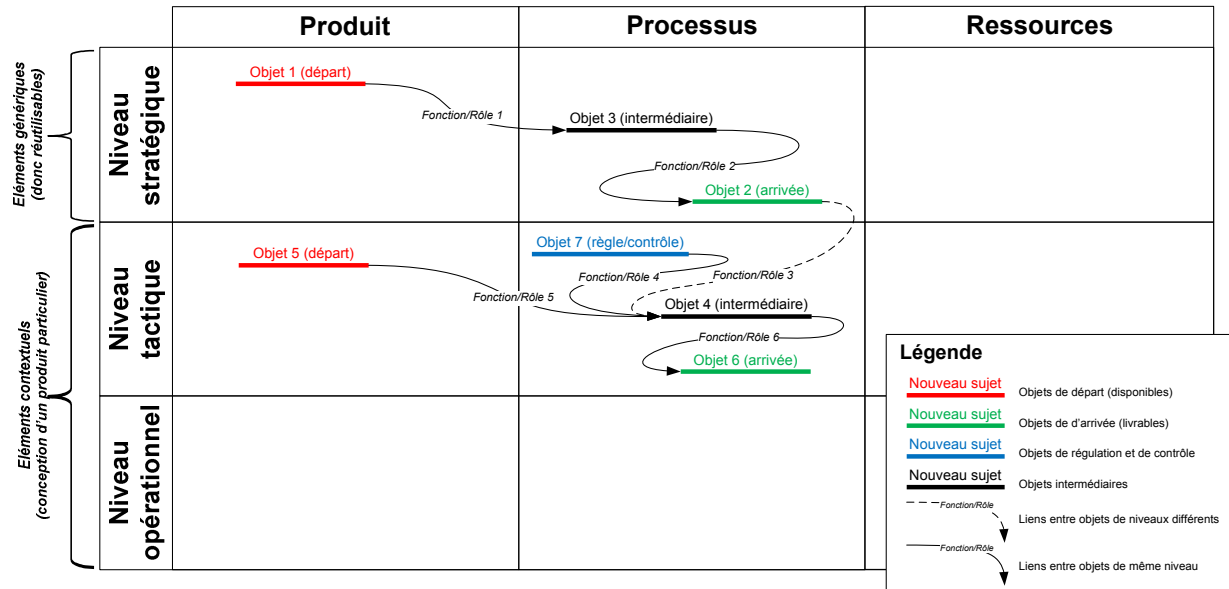


Figure 3-1: formalisme graphique du diagramme de concepts.

En résumé, la définition des caractéristiques du diagramme de concepts fixe l'environnement dans lequel est réalisée la première phase de la démarche. Ce travail préparatoire doit également être mené pour la seconde phase. C'est l'objet du paragraphe suivant.

3.1.2. Formalisation du cadre méthodologique

Avant de débiter l'élaboration du cadre méthodologique en exploitant le diagramme de concepts, il est préalablement indispensable de choisir un formalisme de représentation. En effet, c'est un vecteur de communication qui doit répondre à plusieurs besoins parmi lesquelles :

- véhiculer l'ensemble des concepts et données nécessaires à l'application de la méthodologie,
- permettre à l'utilisateur de s'approprier rapidement la méthodologie,
- guider l'utilisateur pas à pas dans la mise en œuvre de la méthodologie.

Dans le cas plus contextuel de cette étude, les critères de choix que nous avons retenus sont directement inspirés des besoins présentés ci-dessus. Ils sont présentés dans le tableau 4-4 en fonction de l'élément qu'ils impactent : la méthodologie ou l'utilisateur.

Critères liés à la méthodologie	Critères liés à l'utilisateur
<ul style="list-style-type: none"> ▶ représentation des actions ▶ représentation des données générées par chaque action ▶ représentation des données nécessaires à l'exécution de chaque action ▶ représentation des flux de données transitant entre les actions ▶ représentation des ressources requises pour l'exécution de l'action 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ lisibilité des données ▶ simplicité d'utilisation ▶ vision globale du cadre méthodologique ▶ description procédurale des actions à mener ▶ suivi aisé de la progression lors du déploiement du cadre méthodologique

Tableau 3-4: liste des critères de sélection du formalisme de représentation de notre méthodologie.

Notre choix s'est finalement porté sur SADT (Structured Analysis and Design Technique) car il répond à l'ensemble de nos critères de sélection et il est très simple et très rapide à assimiler notamment pour des utilisateurs n'étant pas habitués à lire ou manipuler des formalismes de représentation d'éléments abstraits. La figure 3-2 rappelle les concepts et les principaux éléments sur lesquels repose le modèle SADT [Vernada 99].

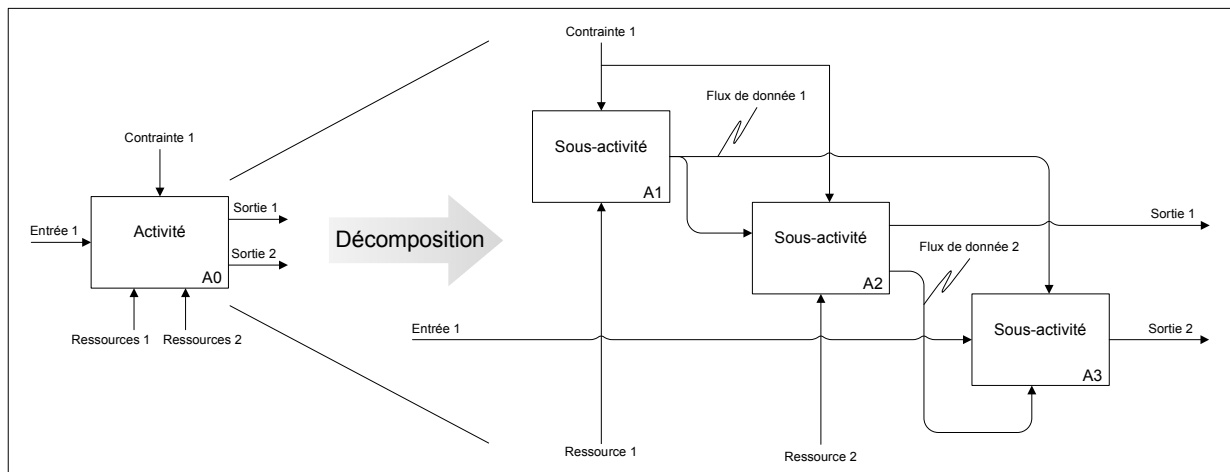


Figure 3-2: présentation des concepts principaux de SADT.

Ainsi, l'ensemble du cadre méthodologique est formalisé par un diagramme SADT dont chaque activité élémentaire en représente une étape.

3.1.3. Mécanisme de structuration

L'objectif de ce travail de structuration est de traduire le diagramme de concepts en un ensemble d'étapes formant le cadre méthodologie. Pour cela, nous avons décomposé le travail en trois temps :

1. identifier des activités correspondant à des regroupements cohérents des objets issus du diagramme de concepts,
2. identifier et caractériser les différents flux de données à partir des interactions entre ces objets,
3. identifier et caractériser les ressources associées à chaque activité.

Le diagramme de concepts et le cadre méthodologique étant constitués d'éléments dont la sémantique est différente, le passage de l'un vers l'autre ne peut donc pas être une

simple traduction. En effet, le premier est composé d'objets représentant des données alors que le second comporte des activités qui sont des actions. Par conséquent, l'exploitation des résultats du diagramme nécessite un travail de transformation.

Celui-ci consiste à identifier les étapes composant le cadre méthodologique à partir des éléments constituant le diagramme de concepts. Pour cela, un regroupement d'objets est associé à une étape. La complétude et la cohérence de la transformation, sont alors contrôlées à travers sept règles spécifiques :

- l'intitulé des activités doit être représentatif des objets du regroupement,
- l'identification et la caractérisation des flux de données générés par l'activité doivent également être représentatifs des objets du regroupement,
- les antériorités entre les activités doivent respecter celles définies par les interactions entre les objets appartenant à des regroupements connexes,
- les objets initiaux sont considérés comme des données d'entrée ou de contrainte des activités (en fonction du contexte),
- les objets finaux (ou livrables) sont considérés comme les données de sortie des activités,
- si un regroupement d'objet ne contient pas d'objet final, le dernier objet de la suite est assimilé à une donnée de sortie de l'activité qui en résulte,
- les objets de régulation ou de contrôles sont considérés comme des contraintes s'appliquant aux activités,
- chaque regroupement ne peut contenir que les objets appartenant à un seul et unique niveau de généralité (afin de continuer à distinguer les trois niveaux de généralité).

Les étapes identifiées sont finalement positionnées dans un cadre spécifique reprenant les trois niveaux de généralité du diagramme de concepts et distinguant les actions initiales de conception des actions de modification. Le rôle de ce nouveau cadre est d'aider l'utilisateur à positionner de manière claire et rapide chaque étape de la méthodologie dans le contexte global d'un projet de conception de produit (voir tableau 3-5).

	Conception initiale	Modification
Niveau stratégique		
Niveau tactique		
Niveau opérationnel		

Tableau 3-5 : cadre de référence de la méthodologie.

La figure 3-3 présente une synthèse de ce travail de transformation et de structuration. Deux exemples viennent illustrer le mécanisme de transformation des objets du diagramme de concepts en activités du cadre méthodologique. Les contextes spécifiques des deux étapes de la démarche sont représentés à travers les deux cadres matriciels. Dans le premier exemple, l'activité « A1 » résulte du regroupement des « objets 1, 2 et 3 ». « L'objet initial 1 » devient une contrainte de l'activité, alors que « l'objet 2 » en est la sortie. Dans le second, le regroupement « d'objets 4, 5, 6 et 7 » contient un objet de régulation ou de contrôle (« objet 7 ») qui devient une contrainte de l'activité « A2 ».

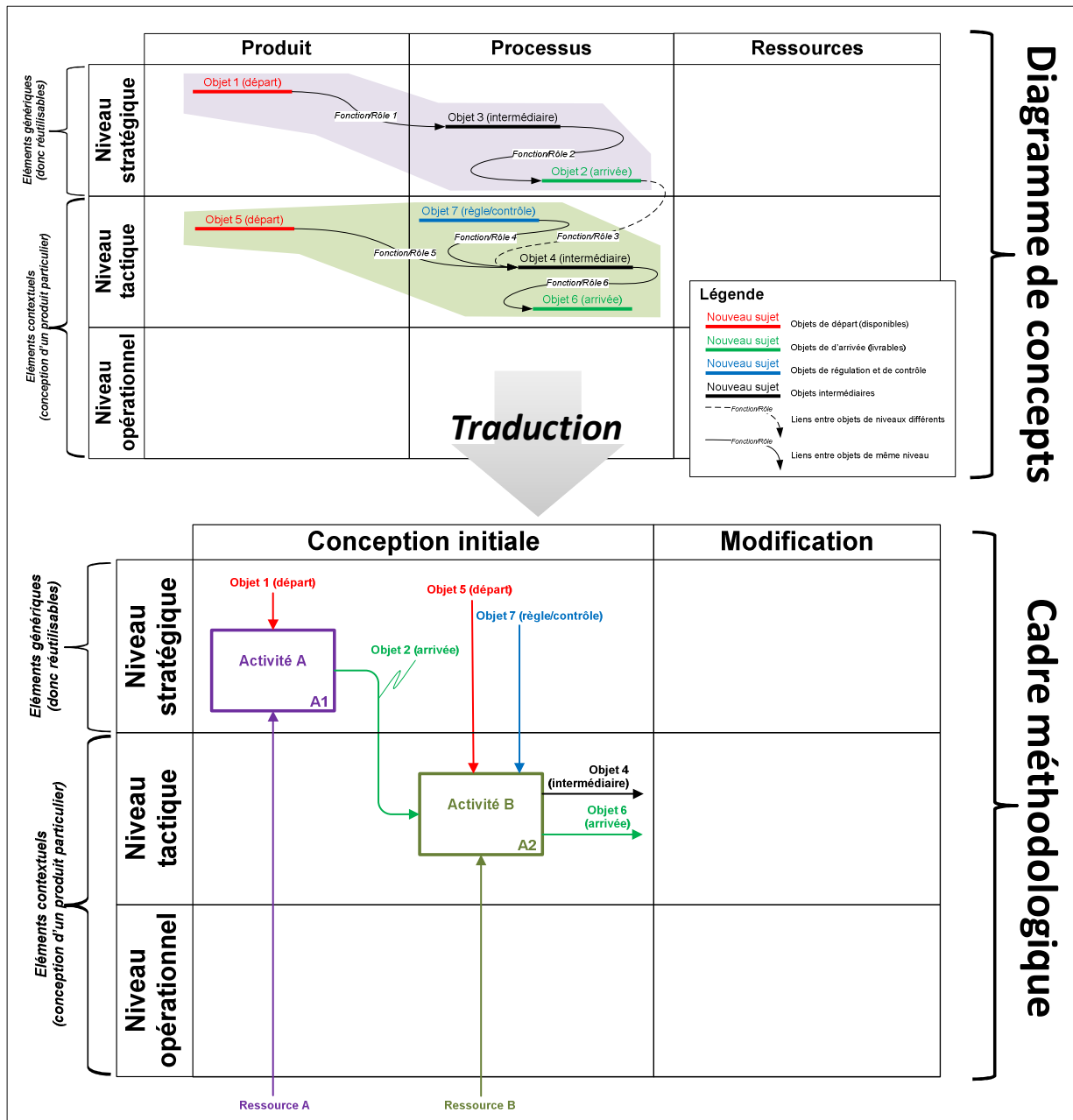


Figure 3-3: exemples de traduction permettant de passer du diagramme de concepts au cadre méthodologique.

En dehors des huit règles de transformation que nous avons suivies, un ultime contrôle à été réalisé afin de valider la complétude et la cohérence du travail réalisé. Ce contrôle consiste en trois actions :

- vérifier que chaque objet du diagramme de concepts appartient bien à un regroupement associé à une activité de la méthodologie,
- vérifier que la méthodologie respecte bien le « principe du moindre engagement » et le formalisme SADT,
- confronter le cadre méthodologique à des cas concrets de conception de produits.

Il est important de préciser que cette validation n'a nécessité que des corrections mineures qui ont consisté à compléter le diagramme de concepts (suite à des oublis) et à modifier le périmètre de certains regroupements d'objets afin qu'ils soient en adéquation

avec les activités concernées du cadre méthodologique.

En résumé, cette démarche a montré son efficacité et sa pertinence lors de sa mise en œuvre. Elle a notamment permis d'identifier et d'affiner de nombreux éléments tout en maintenant la cohérence de l'ensemble face aux multiples facettes de la problématique de cette étude. Cet aspect est largement développé dans la seconde partie de ce chapitre.

3.2. La proposition

L'objectif de ce paragraphe est de présenter la structure générale du cadre méthodologique résultant de l'application de la démarche. Après une présentation des résultats issus du diagramme de concepts et du travail de transformation, les trois parties qui la composent sont succinctement décrites.

Par convention, les activités décrivant le cadre méthodologique sont appelées des « étapes », alors que les activités correspondant à la formalisation d'un savoir-faire sont appelées des « activités de conception ». Cette précaution permet de prévenir toute ambiguïté pouvant apparaître dans le texte de ce chapitre entre le cadre méthodologique et le résultat de sa mise en œuvre.

3.2.1. Présentation générale

Le diagramme de concepts que nous avons défini est présenté en détail dans l'annexe 3 de ce document. Il contient les objets initiaux, les objets finaux, les objets intermédiaires, les objets de régulation et les interactions qui les unissent. Le tout est positionné suivant le cadre matriciel que nous avons fixé. Les orientations méthodologiques résultant de l'analyse de ce diagramme sont synthétisées en figure 3-4. Les principales caractéristiques des cellules du cadre matriciel sont présentées et leurs interactions sont mises en évidence. L'ordonnement de ces dernières fait bien apparaître une esquisse méthodologique.

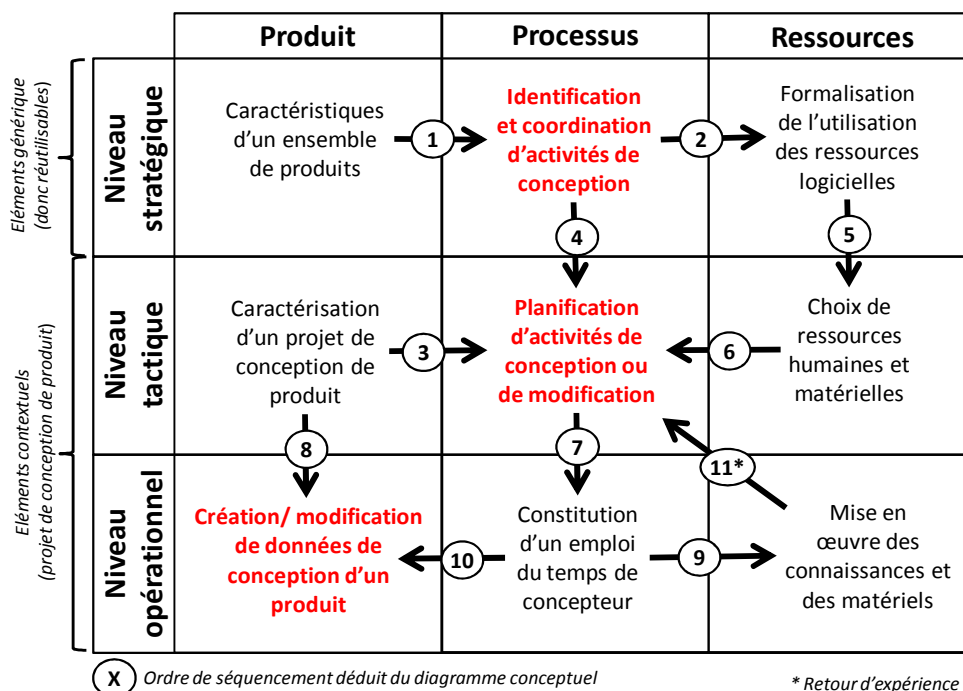
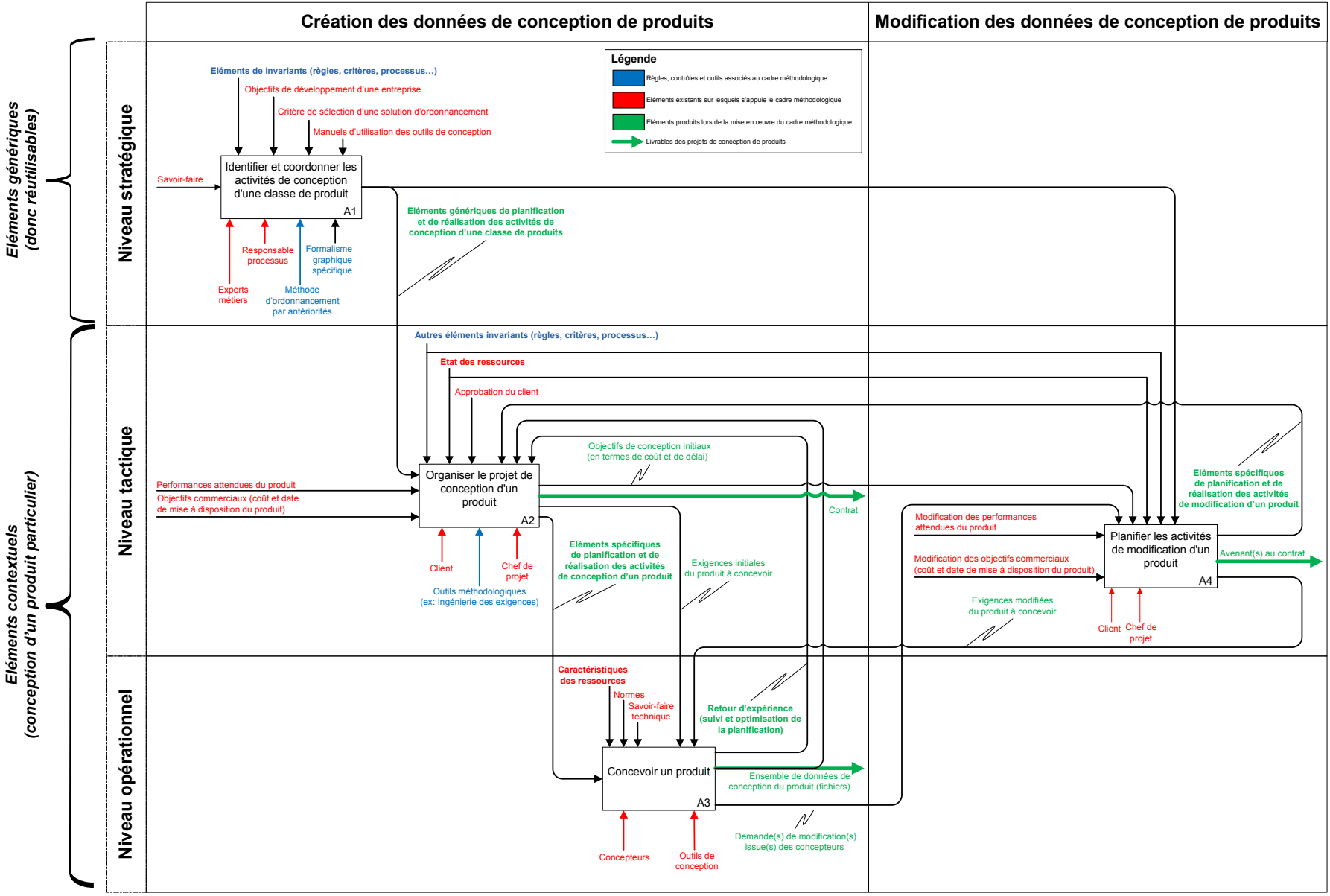


Figure 3-4: synthèse issue de l'analyse globale du diagramme de concepts.

Quant au cadre méthodologique résultant de ce diagramme de concepts, il est présenté en figure 3-5 (et repris en annexe 4) à travers un diagramme SADT sur lequel est apposé le cadre matriciel correspondant.



Détail des flux de données du diagramme SADT			
	Niveau stratégique	Niveau tactique	Niveau opérationnel
Détail des objets manipulés	<p>Éléments invariants (règles, critères, processus...)</p> <ul style="list-style-type: none"> Règle de définition des besoins de conception Contrôle de complétude Contrôle d'homogénéité Contrôle d'antériorité Règle de nommage et de gestion des données du projet (partie stratégique) Règle d'ordonnancement (partie stratégique) Processus Générique de Réalisation des Activités de Conception (PGRAC) (partie stratégique) Contrôle d'aptitude à l'intégration des configurations de produits Contrôle de la continuité de la chaîne numérique <p>Éléments génériques de planification et de réalisation des activités de conception d'une classe de produits</p> <ul style="list-style-type: none"> Liste de Processus Prévisionnel de Conception de Système (PPCCP) Ensembles de procédures et de tutoriaux répartis par activité et par tâche de conception 	<ul style="list-style-type: none"> Liste des ressources disponibles Liste des habilitations à la réalisation des instances de tâches de conception de chaque ressource <p>Caractéristiques d'un produit</p> <ul style="list-style-type: none"> Parties de la structure du produit et leurs caractéristiques Phases du cycle de vie du produit et leurs caractéristiques <p>Autres éléments invariants (règles, critères, processus...)</p> <ul style="list-style-type: none"> Règle de nommage et de gestion des données du projet (partie tactique) Règle d'ordonnancement (partie tactique) Processus Générique de Réalisation des Activités de Conception (PGRAC) (partie tactique) Contrôle d'imbriation de produits Règle d'éligibilité des ressources <p>Éléments spécifiques de planification et de réalisation des activités de conception d'un produit</p> <ul style="list-style-type: none"> Ensemble d'instance de tâches de conception nommées et ordonnées Ressource humaine disponibles Ressources logicielles et matérielles disponibles Données d'entrée disponibles <p>Éléments spécifiques de planification et de réalisation des activités de modification d'un produit</p> <ul style="list-style-type: none"> Objectifs de conception modifiés (en termes de coût et de délai) Identifiant et intitulé de chaque instance de tâche de modification 	<p>Caractéristiques des ressources</p> <ul style="list-style-type: none"> Identifiant concepteur Date de présence <p>Retour d'expérience (optimisation de la planification)</p> <ul style="list-style-type: none"> Liste des instances de tâches de conception du produit déjà réalisées Valeurs des paramètres de réalisation associés aux procédures

Figure 3-5: diagramme SADT du cadre méthodologique.

Ce diagramme SADT reflète bien les grandes orientations méthodologiques identifiées à partir du diagramme de concepts (voir les éléments en rouge dans la figure 3-4). Ainsi, les actions de coordination, de planification et de conception sont clairement identifiées.

Concernant le travail de coordination, il se situe au niveau stratégique (le niveau de généralité le plus élevé). Les données manipulées ou générées sont donc réutilisables aux niveaux inférieurs, qui représentent les projets de conception de produits particuliers. Son objectif est de trouver la meilleure adéquation entre les objectifs de développement de l'entreprise et ses caractéristiques (en termes de savoir-faire et de ressources). A noter que le caractère générique des données générées durant travail impose de les contrôler de manière rigoureuse. Ceci explique pourquoi la majorité des règles et contrôles contenus dans cette méthodologie s'appliquent à ce niveau stratégique.

Quant au travail d'organisation, il se positionne au niveau tactique qui représente la phase préparatoire de tout projet de conception de produit. Son objectif est de prévoir son déroulement en fonction des besoins du client et des caractéristiques de l'entreprise qui sont constituées de ses ressources et de ses objectifs stratégiques de développement. Pour cela, il s'appuie largement sur les données mises à disposition par le niveau supérieur.

Enfin, le travail de conception qui se situe naturellement au niveau opérationnel, constitue la seconde phase de tout projet de conception de produit. Son objectif est de créer ou de modifier l'ensemble des données de définition d'un produit. Il s'appuie à son tour sur les données issues des niveaux supérieurs. Le niveau tactique permet de définir qui doit faire quoi et quand il doit le faire, alors que le niveau stratégique lui indique comment il doit le faire. Ainsi, chaque concepteur peut se focaliser sur les aspects purement techniques du produit à concevoir sans avoir à se soucier de l'environnement du projet.

La figure 3-6 illustre l'intégration de ce cadre méthodologique de conception au sein de l'écosystème Marché/Entreprise. Elle met particulièrement en évidence la généralité des données issues du niveau stratégique et les interactions qui existent entre les trois niveaux.

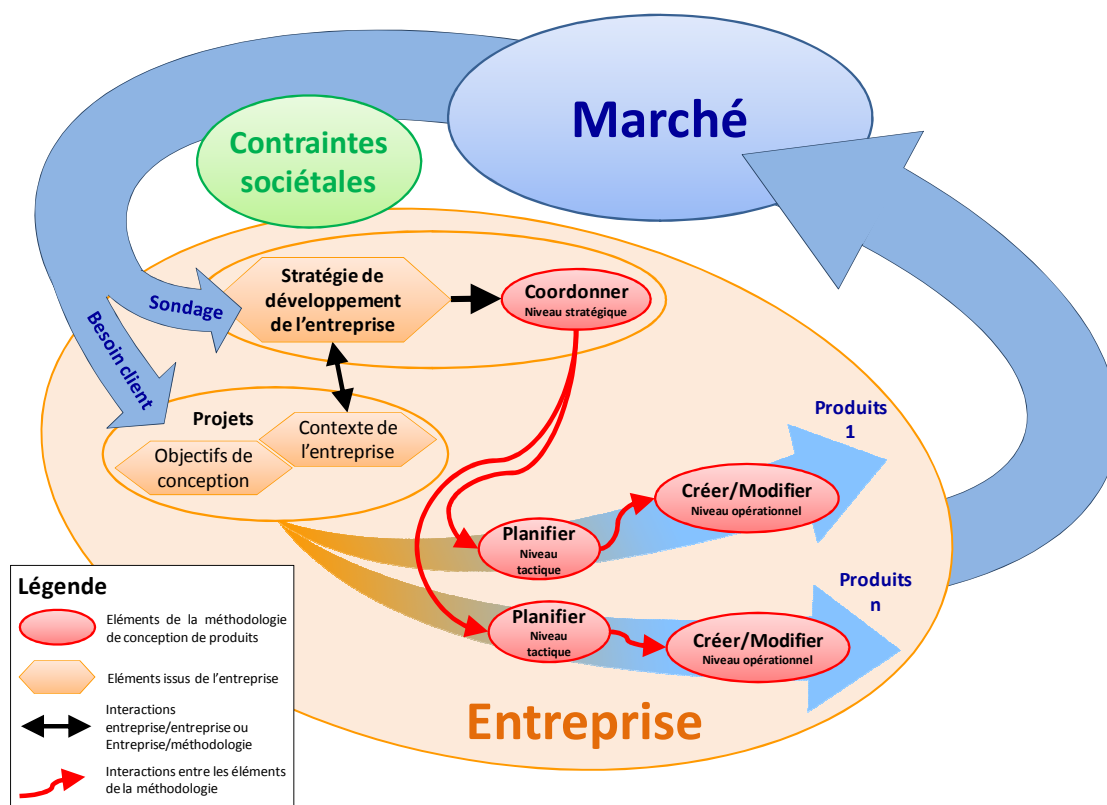


Figure 3-6: intégration du cadre méthodologique au sein de l'entreprise.

3.3. Le niveau stratégique

L'objectif de ce paragraphe est de présenter en détail la partie stratégique du cadre méthodologique. Les conditions et les objectifs de sa mise en œuvre sont abordés, mais également les principaux concepts sur lesquels elle s'appuie.

3.3.1. Présentation du processus associé

La figure 3-7 (rappelée annexe 5) décrit en détail l'étape A1 du diagramme SADT présentant l'intégralité du cadre méthodologique (voir figure 3-5 du chapitre 3.2.1). Celle-ci permet d'identifier et de coordonner les activités de conception d'une classe de produits. Il est important de rappeler que les données générées durant l'application de cette partie de la méthodologie sont génériques et donc réutilisables.

Celle-ci est donc constituée de sept étapes (A11 à A17 dans la figure 3-7). Ainsi, un ou plusieurs ensembles de produits permettant d'atteindre les objectifs de développement de l'entreprise sont caractérisés. Chacune de ces classes de produits possède ses propres caractéristiques. Les besoins de conception requis pour chaque classe de produit sont identifiés et formalisés en une succession d'activités de conception qui reflètent les savoir-faire disponibles au sein de l'entreprise. Les besoins de collaboration entre ses différents savoir-faire sont à leur tour identifiés. L'ensemble des activités de conception est alors ordonné en fonction de leurs contraintes d'antériorités et de critères de sélection d'une solution (déterminés par l'utilisateur). Une procédure de réalisation complète de chacune d'entre elles est finalement élaborée à partir des ressources matérielles disponibles dans l'entreprise.

A noter que cette première partie du cadre méthodologie peut permettre d'identifier des manques qui risquent de mettre en péril les objectifs de développement de l'entreprise. Ces lacunes peuvent concerner les compétences et les ressources matérielles disponibles au sein de l'entreprise. Ce sont les étapes relatives à la formalisation des savoir-faire et à l'élaboration des procédures qui permettent principalement de réaliser ce bilan.

Suite à la présentation des conditions et des objectifs de mise en œuvre de cette partie stratégique, les principaux concepts sur lesquels elle repose sont détaillés à travers les différentes étapes du diagramme SADT de la figure 3-7.

3.3.1.1. Conditions de mise en œuvre

La mise en œuvre de cette première partie du cadre méthodologie nécessite un nombre limité de prérequis : du temps et des objectifs de développement de l'entreprise qui soient clairement définis. Il est important de noter que le premier dépend directement des ambitions affichées par le second. Ainsi, plus l'entreprise souhaitera s'éloigner de son activité habituelle et plus le travail d'identification et de coordination des activités de conception sera important car il risque de faire appel à de nouveaux besoins de conception.

Concernant la personne chargé d'appliquer cette première partie de la méthodologie, elle doit remplir de préférence les conditions suivantes :

- avoir accès aux objectifs de développement de l'entreprise (données hautement stratégiques qui sont souvent confidentielles),
- avoir une vision globale de l'entreprise,
- avoir de bonnes capacités de formalisation des pratiques de l'entreprise,
- avoir un fort potentiel relationnel afin de favoriser la transmission des savoir-faire.

3.3.1.2. Objectifs (ou livrables)

Cette première partie de la méthodologie permet de générer deux livrables qui seront directement exploités par les niveaux tactique et opérationnel :

- pour chaque classe de produits, un Processus Prévisionnel de Conception d'une Classe de Produit (PPCCP) qui contient un ensemble ordonnées d'activités de conception (étapes A11 à A15 de la figure 3-7),
- pour chaque activité de conception, un ensemble de procédures et de tutoriaux permettant sa réalisation (étapes A16 et A17 de la figure 3-7).

3.3.2. Caractériser une classe de produits (étape A11)

Les objectifs de développement d'une entreprise sont le point d'entrée du cadre méthodologique et plus particulièrement de sa partie stratégique car ils définissent ses futures orientations à moyen ou long terme. Ils sont généralement accompagnés d'un plan de développement spécifique qui contient notamment une description sommaire des produits permettant de conquérir les marchés visés par l'entreprise. Afin de faire le lien entre les besoins de développement de l'entreprise et la conception de produits, nous proposons de compléter cette description à travers un ensemble de caractéristiques spécifiques permettant d'identifier les groupes de produits (ou « classes de produits ») nécessitant des démarches de

conception différentes [Romon (Tec.Ing.)] (voir figure3-8).

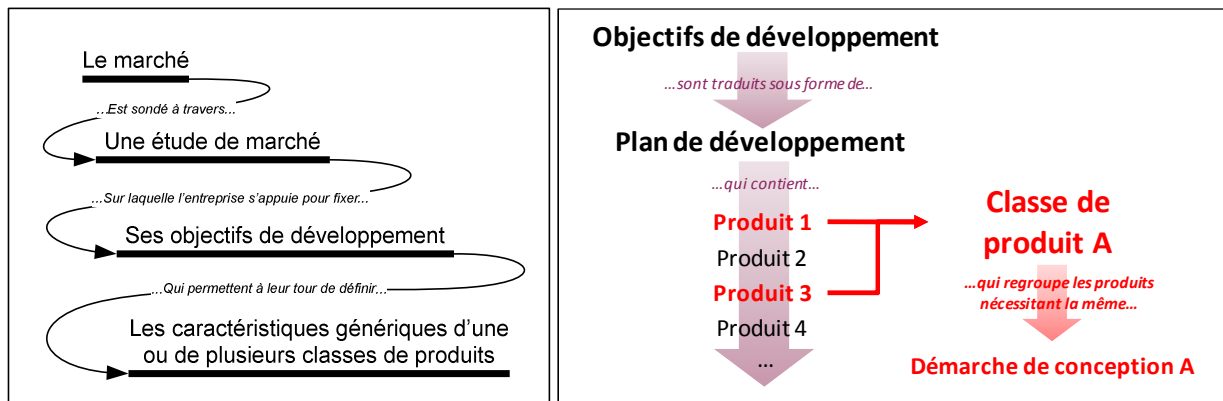


Figure 3-8: émergence des classes de produits.

Concernant les caractéristiques permettant d'identifier les classes de produits, elles sont de deux types : les fonctions génériques et les phases du cycle de vie du produit. Elles sont présentées et détaillées dans les sections suivantes.

3.3.2.1. Les fonctions génériques d'une classe de produits

A un niveau prospectif, nous considérons que tout produit peut être défini à travers un ensemble de quatre fonctions techniques génériques qui lui permettent de remplir le rôle pour lequel il doit être conçu et fabriqué. Ces fonctions techniques génériques sont :

- transmettre de la puissance en suivant un schéma cinématique et structurel qui réponde au besoin du client (partie structure),
- générer et/ou transformer de la puissance (partie puissance),
- commander de la puissance (partie commande),
- contrôler de la puissance (partie contrôle).

Pour chacune d'entre elles, les différentes sources d'énergies qu'elles permettent de traiter sont spécifiés (exemple : hydraulique, électrique, humaine...). Par convention, la première fonction technique générique n'est associée à aucune source d'énergie.

La figure 3-9 illustre cette définition du produit à travers un exemple représentatif. Les éléments mécano-soudés du bras, le châssis et d'autres composants mécaniques assurent la cohérence cinématique et structurelle de la pelleuse. Le moteur thermique et les composants du circuit hydraulique génèrent et transforment de la puissance. Enfin, les mini-manches, boutons, interrupteurs, permettent bien entendu de commander la machine.

Mais l'appartenance aux quatre fonctions générique ne se limite pas aux composants précédemment cités. Ainsi, tous les autres composants de cette pelleuse peuvent également y être associés. Par exemple, le siège est un élément contribuant à commander la machine. En effet, il permet de positionner l'utilisateur afin que celui-ci puisse accéder et manipuler de manière optimale les commandes. Quant au pare-brise, il concourt à assurer le contrôle du comportement de la foreuse à travers ses propriétés de transparence qui permettent à l'utilisateur de vérifier que ses actions sur les commandes ont bien engendré les mouvements qu'il souhaitait.

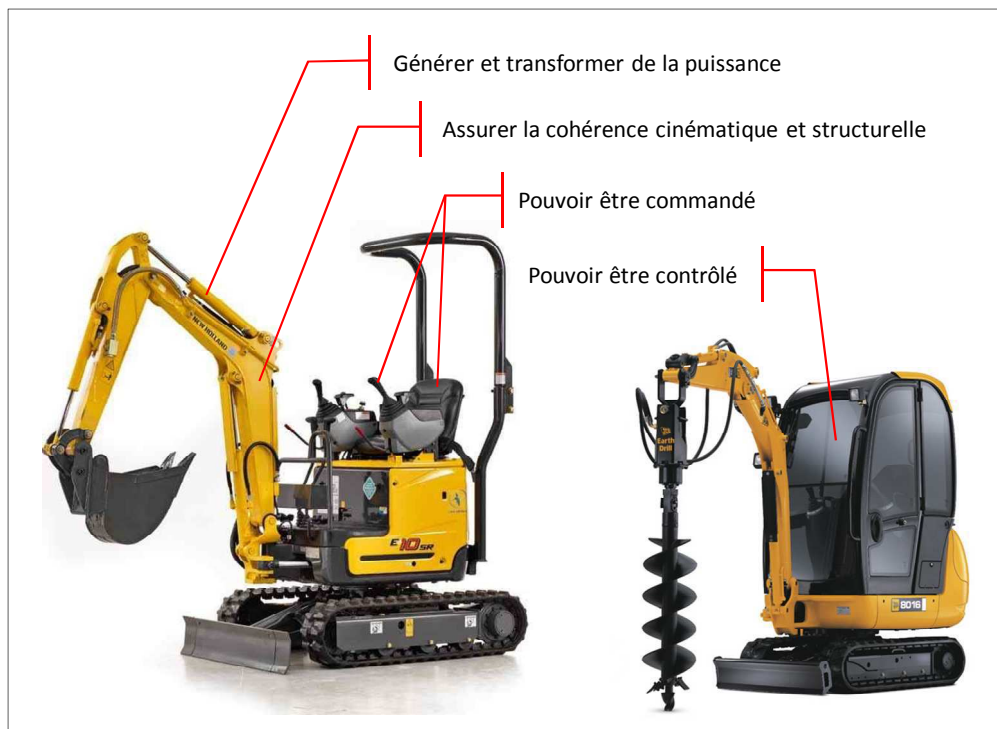


Figure 3-9: illustration des quatre fonctions génériques d'une classe de produits.

3.3.2.2. Le cycle de vie d'une classe de produits

De manière classique, il s'agit des principales étapes ponctuant la vie d'un produit. Ce découpage en phases successives n'est pas unique car il dépend du point de vue adopté par l'observateur et de l'exploitation qu'il souhaite faire de cette caractérisation du produit.

Ainsi, d'un point de vue commercial, le cycle de vie d'un produit suit généralement cinq phases : développement, introduction, croissance, maturité et déclin. Son analyse permet d'estimer le potentiel de vente d'un produit au cours du temps (voir figure 3-10).

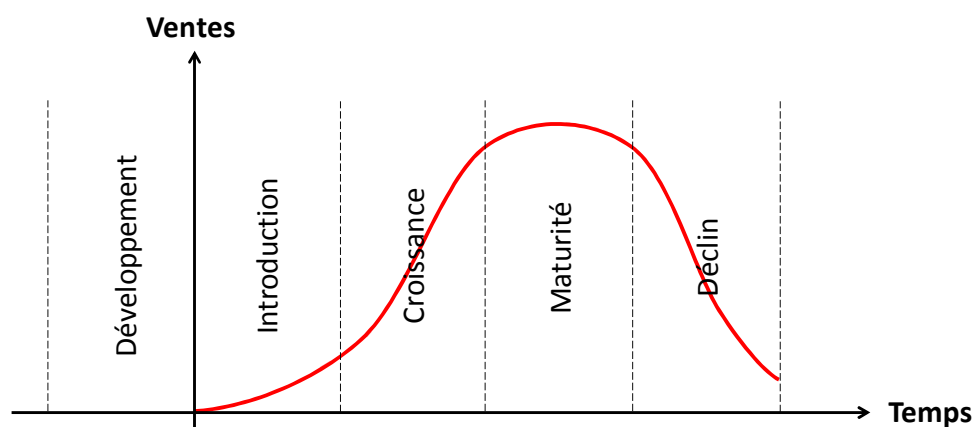


Figure 3-10: représentation du cycle de vie d'un produit du point de vue commercial.

Par contre, du point de vue de la conception, celui-ci est plutôt décrit à travers des phases telles que : la fabrication, la vente, l'utilisation, la maintenance, le recyclage... En effet, il fait apparaître des éléments qui ont un impact direct et important sur la conception d'un produit (voir figure 3-11) [Tichkiewitch 01] [Ryan 96]. C'est donc ce dernier point de vue que nous retenons pour spécifier le cycle de vie d'une classe de produits. De plus, des

caractéristiques peuvent être spécifiées afin de délimiter clairement le périmètre de chaque phase (exemple : les procédés de fabrication...).



Figure 3-11: exemple de cycle de vie d'un produit physique du point de vue de la conception.

3.3.2.3. Les besoins de conception

Les « besoins de conception » constituent le lien entre les objectifs de développement de l'entreprise et les savoir-faire requis pour les atteindre. Ils sont issus des caractéristiques génériques d'une classe de produit. Ainsi, chacun d'entre eux émerge de l'association d'une fonction générique et d'une phase du cycle de vie (voir figure 3-12).

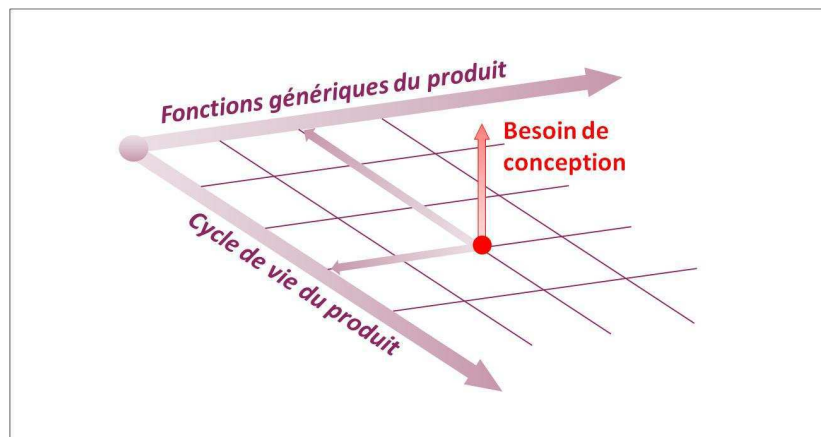


Figure 3-12: représentation des besoins de conception.

L'exemple suivant illustre ces propos. Suite à la définition de ses objectifs de développement une entreprise a identifié une classe de produits dont les caractéristiques sont les suivantes :

- du point de vue fonctionnel, les produits doivent assurer une cohérence cinématique et structurelle,
- du point de vue du cycle de vie, leur conception doit prendre en compte les phases d'utilisation et de fabrication.

L'association de ces éléments fait émerger deux besoins de conception (voir figure 3-13). Par conséquent, pour concevoir un produit appartenant à cette classe de produit, il faudra :

- concevoir sa structure d'un point de vue purement fonctionnel,
- étudier la fabrication de sa structure.

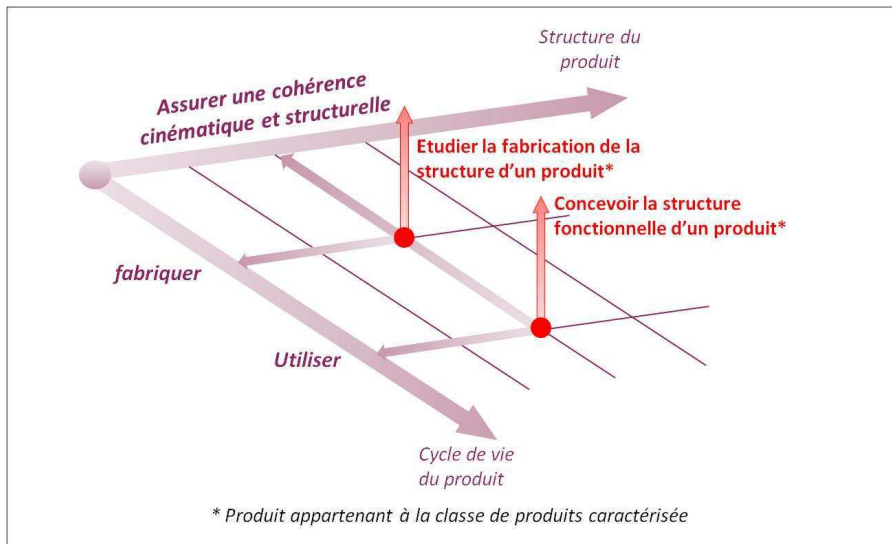


Figure 3-13: exemple d'identification de besoins de conception.

3.3.3. Formaliser des savoir-faire (étape A12)

La formalisation des savoir-faire de conception fait suite à l'identification des besoins de conception requis par une classe de produits. Pour chacun d'entre eux, elle consiste à construire un processus cohérent et pertinent à partir des pratiques de l'entreprise. Celles-ci sont tout d'abord captées de manière brute à travers un travail d'observation et d'audit. Puis le processus résultant est éventuellement modifié afin de respecter un ensemble de conditions qui garantissent :

- l'homogénéité de l'ensemble,
- la continuité de la chaîne des données traversant chaque processus,
- la complétude de chaque processus par rapport au besoin de conception auquel il répond.

Ainsi, chaque processus est composé d'activités de conception qui peuvent interagir à travers l'échange des flux de données qu'elles produisent. La figure 3-14 illustre ce cadre.

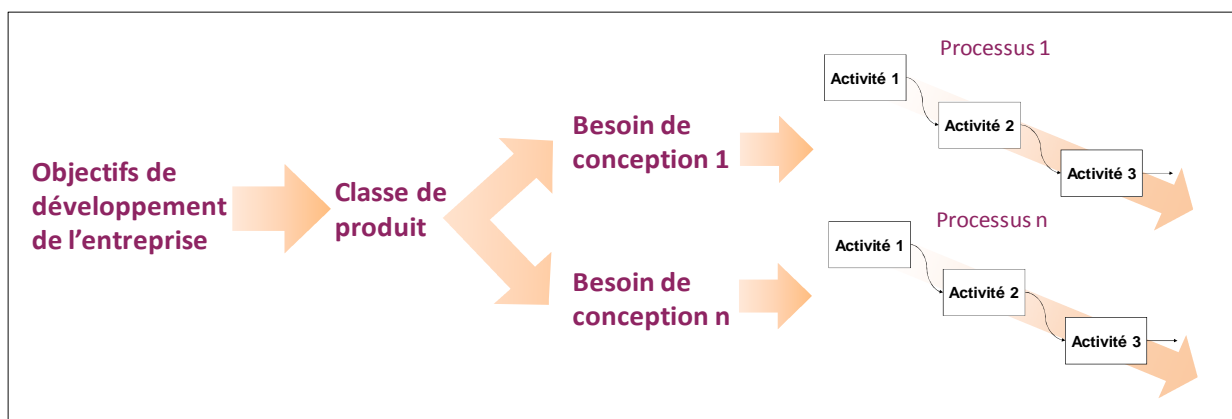


Figure 3-14: illustration de la formalisation des savoir-faire.

Concernant le contrôle de l'homogénéité il permet de garantir une granularité similaire entre toutes les activités de conception. En effet, la formalisation des savoir-faire de conception s'appuyant exclusivement sur l'observation et de l'interprétation d'une ou de

plusieurs personnes, il risque d'introduire de fortes disparités entre les différents processus. Celui-ci peut alors compromettre la suite du déroulement du cadre méthodologie et dégrader les résultats obtenus. Il est donc indispensable de réduire, voire d'effacer ces disparités. La figure 3-15 présente un exemple illustrant ce risque de disparité. Afin de remédier à ce problème, le champ d'action des activités de conception est volontairement limité : chacune d'entre elles ne peut produire qu'un seul et unique flux de données.

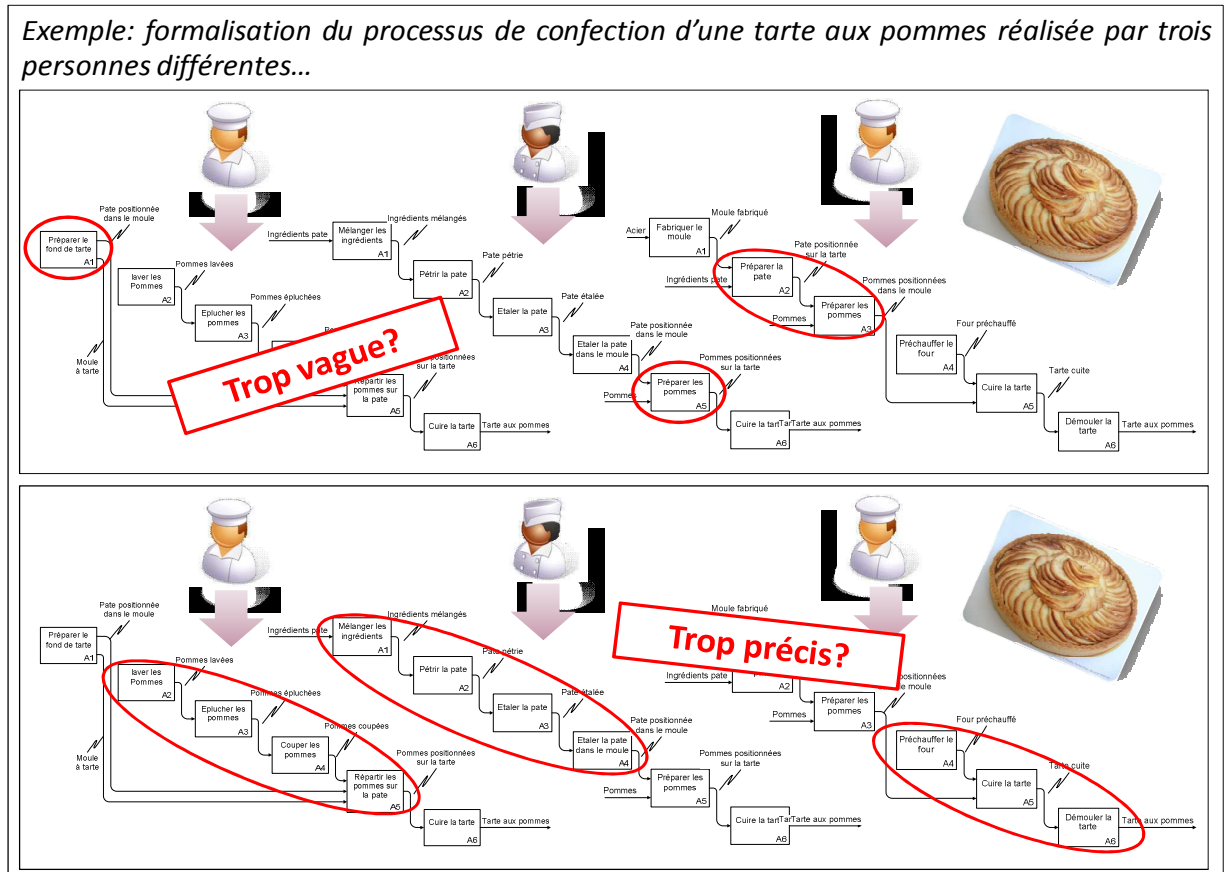


Figure 3-15: exemple illustrant le risque de disparité lors de la formalisation des savoir-faire de conception.

Quand au contrôle de la continuité de la chaîne de données, il permet de vérifier qu'au moment de sa réalisation chaque activité de conception dispose bien de l'ensemble des éléments nécessaires. Il repose sur une analyse des antériorités de chaque activité de conception (ou « principe du moindre engagement »). De ce fait, les rebouclages sont proscrits (figure 3-16).

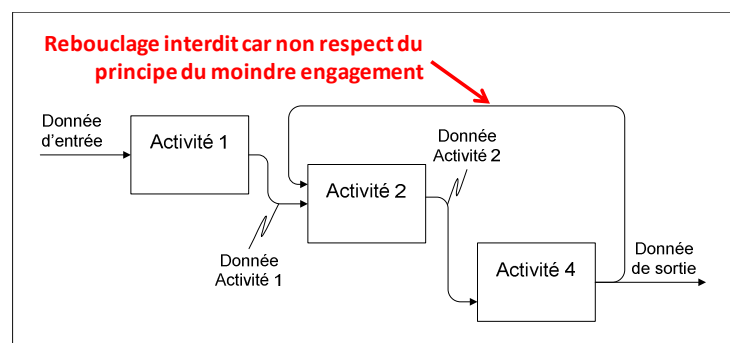


Figure 3-16: cas de discontinuité de la chaîne des données.

Enfin, le contrôle de complétude permet simplement de s'assurer que le processus formalisé couvre bien l'ensemble du besoin de conception auquel il est associé. Il consiste à évaluer l'adéquation entre les données produites par le processus et le besoin de conception.

3.3.3.1. Présentation de l'outil de formalisation des savoir-faire

Compte tenu de la complexité potentielle de ce travail de formalisation des savoir-faire, nous proposons dans un premier temps de construire les processus sous forme graphique. En effet, ce type de représentation permet de mettre en évidence les liens entre les activités de conception et d'avoir à tout instant une vision globale de chaque processus. L'outil graphique que nous utilisons est fortement inspiré de SADT. Ceci dit, nous l'avons adapté afin qu'il réponde parfaitement à notre besoin : représenter des activités de conception et leurs interactions le plus simplement possible. Le critère de simplicité est ici très important car il permet une appropriation autonome et rapide de l'outil par l'utilisateur. De plus, il permet d'augmenter la lisibilité du processus en ne focalisant l'attention de ce dernier que sur les éléments importants. Enfin, il constitue un préalable indispensable permettant d'appréhender de manière simple et efficace la complexité émanant des nombreux objets à gérer durant le travail de planification qui est réalisé au niveau tactique.

Ainsi, cet outil graphique est constitué de deux éléments : les activités de conception et les flux de données de conception concernant le produit. Leurs propriétés sont les suivantes :

- les activités de conception sont représentées par un rectangle dans lequel est inscrit un intitulé formé à partir d'un verbe d'action à l'infinitif,
- deux des quatre côtés du rectangle représentent un connecteur de données particulier (le côté gauche reçoit les données d'entrée à transformer et le côté supérieur les données de contrôle ou de contrainte),
- à ce stade, chaque activité de conception forme un élément indivisible d'un savoir-faire,
- le nombre d'activités de conception associé à un savoir-faire est illimité,
- une activité de conception génère un seul et unique flux de données sortant par le côté droit du rectangle,
- les flux de données permettent de relier les activités de conception entre elles et sont représentés par des liens unidirectionnels qui sont accompagnés de leur intitulé,
- la connexion aux activités de conception se fait par les côtés entrants du rectangle (gauche et supérieur) en fonction du rôle qu'a le flux de données par rapport à l'activité,
- en dehors des flux de données générés par les activités de conception et des besoins du client (exigences, spécifications fonctionnelles...), aucun flux externe ne peut être ajouté.

La figure 3-17 illustre cet outil graphique à travers un exemple représentatif.

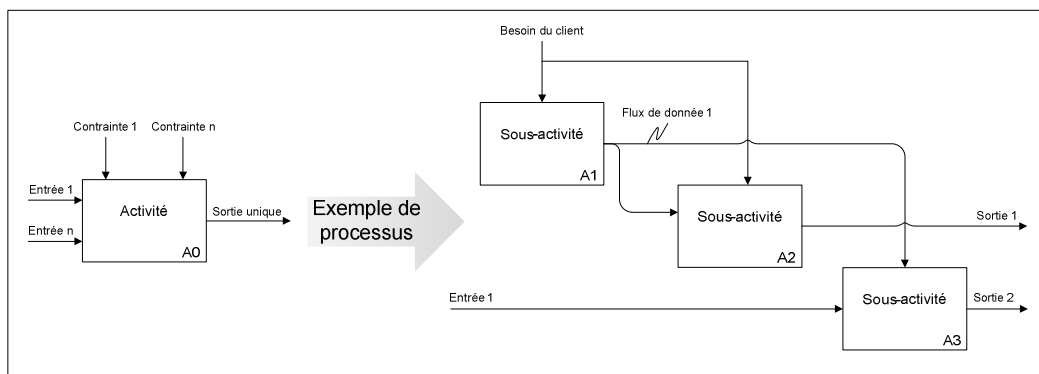


Figure 3-17: présentation de l'outil graphique de représentation des processus.

3.3.4. Identifier des collaborations (étape A13)

Quel que soit sa nature, toute conception de produit nécessite des collaborations. Elles sont donc omniprésentes dans le processus de conception et il est indispensable de les prendre en compte pour en optimiser l'efficacité. Malheureusement, certaines apparaissent de manière très contextuelle et il est difficile de les anticiper. Ce sont donc de véritables phénomènes aléatoires qui sont hors de tout contrôle. Ceci pose un véritable problème de coordination et de planification des activités de conception. Il est donc indispensable d'y remédier en identifiant et en analysant leurs propriétés du point de vue du projet de conception. Ainsi, on distingue deux types de collaborations (voir figure 3-18) :

- les collaborations synchrones,
- les collaborations asynchrones.

Les premières traduisent la simultanéité des échanges. Des données sont produites et partagées durant une courte période dans le but d'atteindre un ou plusieurs objectifs prédéfinis. Elles peuvent être distantes (visioconférences) ou présentes (réunions). Elles sont très contextuelles puisqu'elles dépendent des caractéristiques du produit à concevoir et de ressources humaines disponibles à un instant donné. Elles permettent notamment de résoudre des problèmes techniques, de faire émerger des solutions technologiques, de faire des choix ou de prendre des décisions concernant un produit.

Quant aux secondes, elles sont caractérisées par un séquençage des échanges. Ce décalage dans le temps implique que ces échanges sont unidirectionnels et que leur apparition suit un ordre précis. Des données sont donc produites puis transmises pour être enrichies ou pour être utilisées comme références. Elles représentent donc les interactions entre les activités de conception qui permettent de répondre aux besoins de conception. Ainsi, si ce processus est générique, alors les collaborations asynchrones qui y sont associées sont également génériques. Par conséquent, elles peuvent être anticipées et gérées.

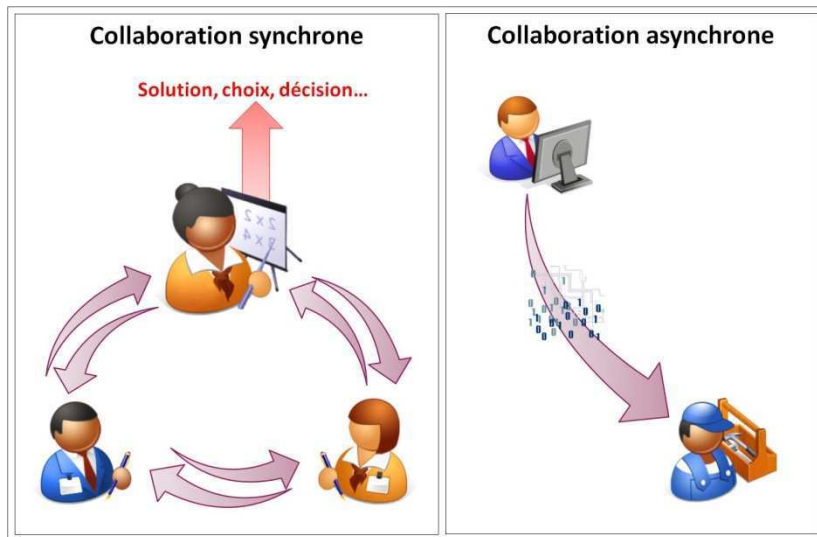


Figure 3-18: illustration de la collaboration synchrone et asynchrone.

Dans le cadre de la formalisation des savoir-faire permettant de répondre aux besoins de conception identifiés, un grand nombre de ces collaborations asynchrones ont d'ores et déjà été identifiées et même spécifiées. Ce sont les flux de données transitant entre les activités de conception. Concernant les collaborations synchrones, il n'est pas possible de les identifier à ce stade car elles sont trop contextuelles. Par contre, elles seront identifiées et également gérées dès que l'environnement approprié apparaîtra (au niveau tactique).

Ceci étant dit, toutes les collaborations asynchrones n'ont pas encore été identifiées. En effet, la formalisation des savoir-faire génère autant de processus indépendants qu'il y a de besoins de conception. Or, ces processus peuvent également interagir entre eux. Ainsi, le flux de données produit par l'une des activités de conception d'un processus peut transiter vers l'une des activités de conception d'un autre processus. Ce n'est qu'après l'identification de toutes ces interactions transverses que l'ensemble des collaborations asynchrones pourra être considéré comme exhaustif (voir figure 3-19).

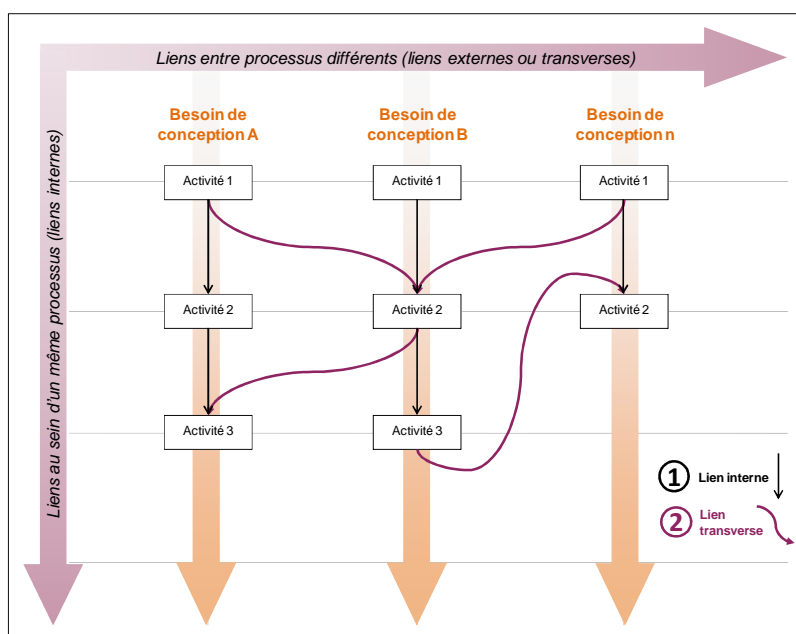


Figure 3-19: illustration des liens transverses.

3.3.5. Créer des procédures de réalisation (étapes A16, A17)

Les procédures de réalisation des activités de conception ont un double rôle. Elles servent à décrire précisément la manière dont est réalisée chaque activité de conception et également à évaluer les savoir-faire répondant aux besoins de conception.

Ainsi, les constituants des procédures sont tout d'abord présentés. Ils sont au nombre de trois : les sous-procédures, les étapes et les tutoriaux. Les deux rôles évoqués précédemment sont ensuite détaillés. Le cas de l'intégration des stratégies de conception illustre le premier. Quant au second, il est présenté à travers le diagnostic des savoir-faire et des ressources matérielles de l'entreprise. Le cas de la « chaîne numérique » est notamment abordé.

3.3.5.1. Les sous-procédures

Lors de la conception d'un produit, nous avons observé que chaque activité de conception suit un même motif constitué de cinq étapes successives. Elles consistent à créer/imaginer, puis dimensionner, puis représenter, puis évaluer/optimiser, puis valider. Bien entendu, la proportion qu'occupe chacune de ces étapes est fortement variable d'une activité de conception à l'autre (certaines peuvent même être nulles). Cependant ce schéma est un élément invariant dans le domaine de la conception. La figure 3-20 le présente sous la forme d'un processus que nous nommons « Processus Générique de Réalisation des Activités de Conception » ou « PGRAC ». Chacune des cinq étapes (ou sous-activités de conception) est illustrée à travers plusieurs exemples concrets.

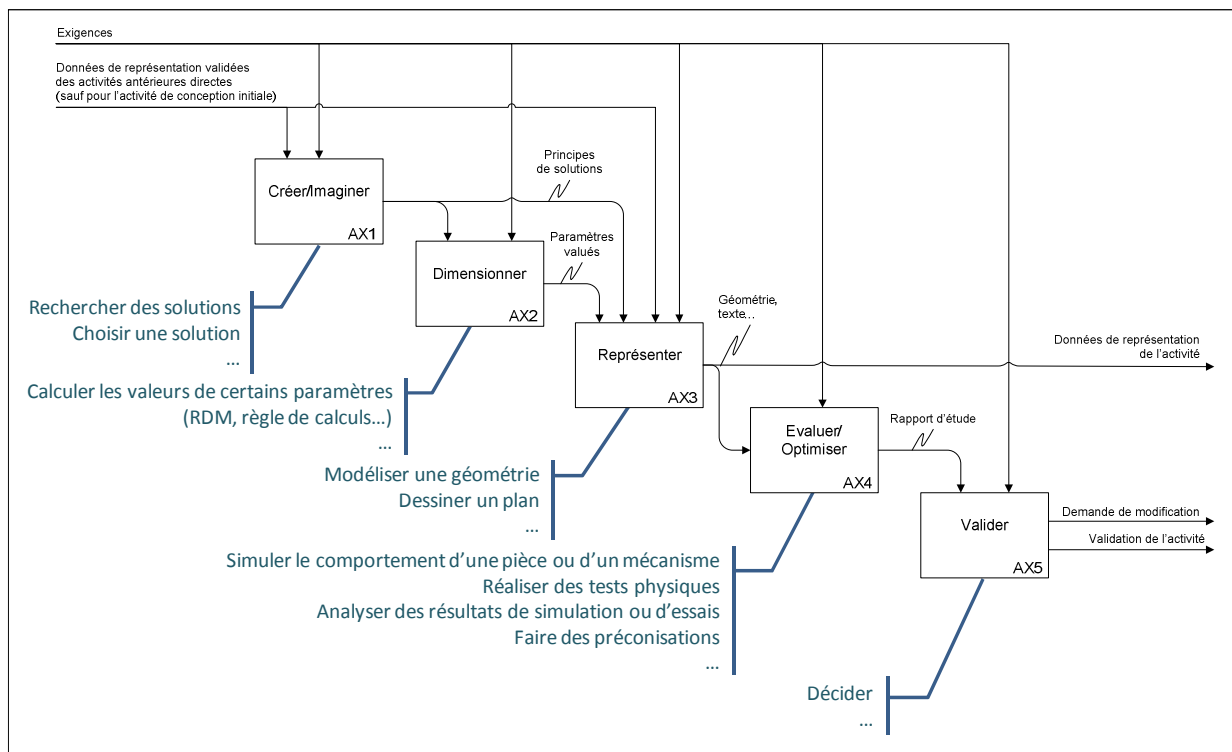


Figure 3-20: Processus Générique de Réalisation des Activités de Conception.

Ainsi, chaque procédure est tout d'abord décomposée suivant un ordre précis pour faire apparaître cinq sous-procédures décrivant :

1. la création des données de l'activité de conception (AX1) [PTC 11] [Kuate 06],
2. le dimensionnement des données de l'activité de conception (AX2),
3. la représentation des données de l'activité de conception (AX3),
4. l'évaluation et l'optimisation des données de l'activité de conception (AX4),
5. la validation des données de l'activité de conception (AX5),

Notons que l'identification de ce PGRAC résulte de l'observation des pratiques de conception courantes, mais également de l'analyse des outils de conception tels que les modeleurs géométriques, les logiciels de dimensionnement et de simulation.

3.3.5.2. Les étapes et les tutoriaux

Les étapes sont les seuls constituants des sous-procédures. Elles se succèdent donc dans un ordre précis afin de permettre la réalisation d'une activité de conception. Elles sont décrites de manière succincte sans faire référence à une ressource logicielle ou matérielle précise afin de préserver la généralité de la procédure (voir tableau 3-6). Cependant, chaque étape est systématiquement associée à un tutoriel qui lui, décrit de la façon la plus détaillée possible l'étape. Il s'appuie sur les fonctionnalités proposées par les ressources logicielles ou matérielles. La rédaction de son contenu est totalement libre (texte, images, vidéos...). Ainsi, l'étape contient les données génériques de la procédure, alors que le tutoriel en contient les données contextuelles (celles relatives à la mise en œuvre d'une ressource logicielle ou matérielle bien précise). Il est donc tout à fait envisageable d'associer plusieurs tutoriaux à une même étape. Chacun d'entre eux peut requérir l'utilisation d'outils différents. L'introduction de ce binôme permet d'assurer une certaine pérennité des procédures en les rendant les plus indépendantes possibles des outils de l'entreprise.

Procédures	Sous-procédures	Etapes	Tutoriel
Procédure associée à l'activité de conception n	Sous-procédure de création	Etape 1	Tutoriel 1 à o
		Etape 2	Tutoriel 2 à p
	
	Sous-procédure de dimensionnement	Etape 1	Tutoriel 1 à q
		Etape 2	Tutoriel 2 à r
	

Tableau 3-6: structure des procédures associées aux activités de conception.

Néanmoins, il est important de noter que le périmètre de chaque étape est défini par ajustement mutuel avec celui du tutoriel auquel elle est associée. L'objectif consiste à obtenir une couverture identique des deux éléments du binôme.

3.3.5.3. L'intégration des stratégies de lignes de produits

Les stratégies de lignes de produits (telle que la modularité) sont massivement déployées dans les entreprises car elles permettent de réaliser des économies d'échelles substantielles tant au niveau de la fabrication des produits qu'au niveau de leur

développement. Elles se traduisent par des produits modulaires standards dont la combinatoire permet de générer des produits quasiment spécifiques appelés « configurations ». Cette pratique a non seulement un impact sur l'architecture et les solutions technologiques sur lesquelles repose le produit, mais elle en a également sur la manière dont sont créées les données de conception du produit.

La modélisation géométrique en est l'exemple typique. En effet, chaque configuration de produit nécessite en théorie la création de l'assemblage spécifique afin de vérifier sa faisabilité. Or, ce travail peut être très long et donc fort coûteux s'il nécessite de repositionner tous les composants du produit via des contraintes d'assemblages. Par contre, il peut s'avérer être très rapide et même entièrement automatisable si la géométrie de chaque composant du produit est modélisée via un référentiel géométrique unique (communément appelé « squelette ») [Bellaciccio 07]. La figure 3-21 illustre cet exemple.

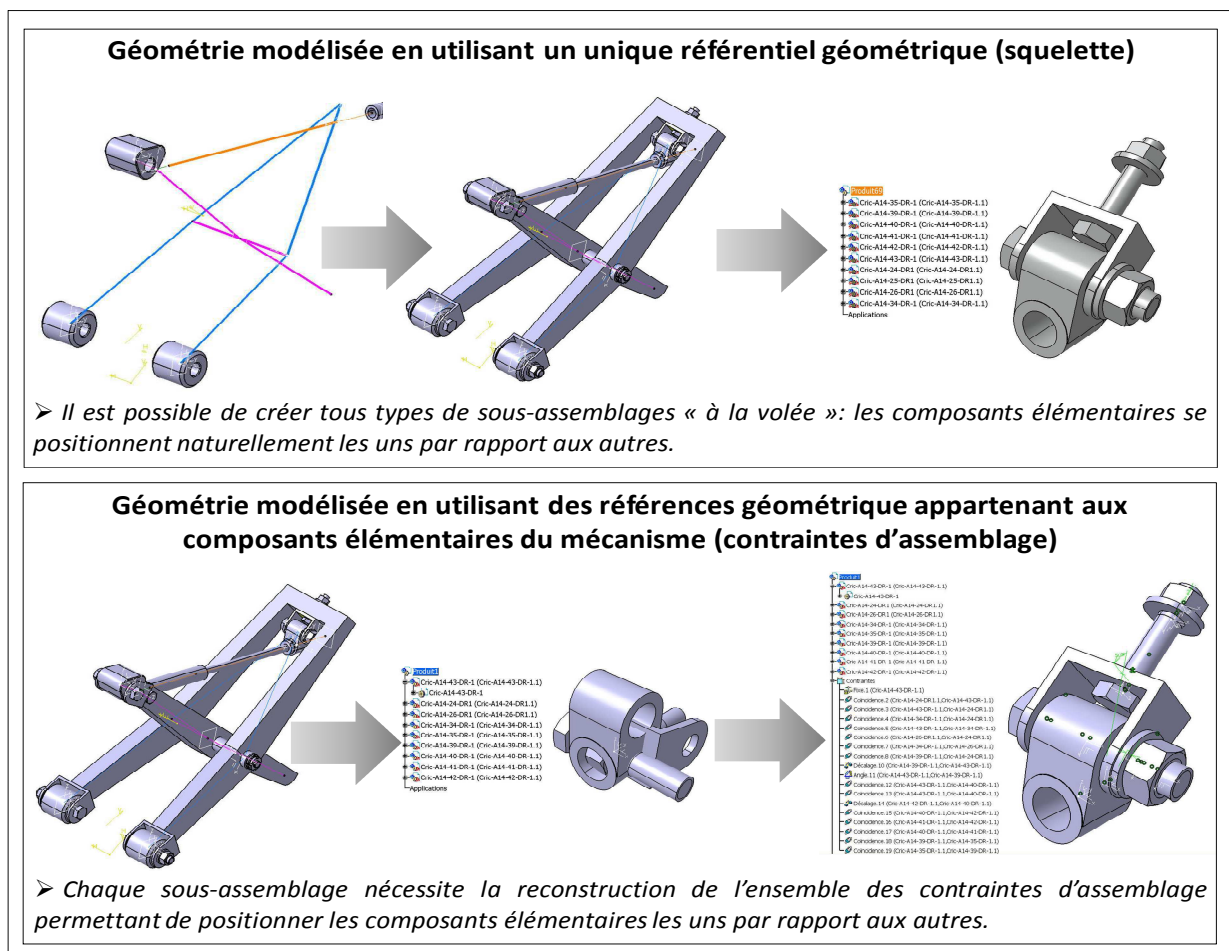


Figure 3-21: illustration du lien entre les procédures de réalisation des activités de conception et les stratégies de conception.

Dans ce cas, le choix du « modus operandi » est capital. La prise en compte de ces stratégies de lignes de produits permet donc d'orienter les choix qui sont faits lors de l'élaboration des procédures et d'adapter leur contenu en fonction des spécificités de ces pratiques. De manière générale, le recours aux stratégies de lignes de produits est facilité si :

- les données représentant les composants élémentaires d'un produit ne sont pas liées entre elles,

- ces mêmes données partagent un unique référentiel.

3.3.5.4. L'évaluation des ressources logicielles et matérielles

Le second rôle des procédures est de vérifier l'adéquation entre chaque activité de conception et les ressources logicielles et matérielles dont dispose l'entreprise. Deux cas de figure sont alors possibles : soit l'adéquation est bonne et le processus peut être validé, soit elle est mauvaise ce qui permet de dresser un bilan précis de la situation. Dans ce dernier cas, les conclusions qui en découlent peuvent avoir plusieurs conséquences : les objectifs de développement de l'entreprise sont trop ambitieux et il faut les revoir à la baisse, les ressources logicielles et matérielles sont sous-adaptées et il faut envisager de les compléter ou de les remplacer. De ce point de vue, l'élaboration de ces procédures est une étape importante dans cette première partie de la méthodologie puisqu'elle peut aboutir à de profondes remises en causes.

Le paragraphe suivant traite le cas des ressources logicielles à travers l'analyse de la « chaîne numérique »

3.3.5.5. La continuité de la « chaîne numérique »

La « chaîne numérique » est constituée des différents flux de données informatiques transitant entre tous les logiciels utilisés lors de la conception d'un produit. Elle est continue si chaque logiciel peut directement exploiter les données qu'il reçoit en entrée. Les problèmes d'incompatibilités entre ces logiciels créent souvent des ruptures dans cette chaîne numérique. Celles-ci nécessitent alors des interventions manuelles qui sont très coûteuses en temps et qui sont des sources d'erreurs. Il est donc indispensable de connaître l'état de cette chaîne numérique afin de prendre toutes les dispositions nécessaires pour en éliminer les impacts sur les futurs projets de conception de produits (voir figure 3-22).

L'élaboration des procédures et plus particulièrement des tutoriaux est le moment idéal pour contrôler cet aspect. Le résultat de ce contrôle peut entraîner un remaniement plus ou moins profond de ressources logicielles et matérielles de l'entreprise.

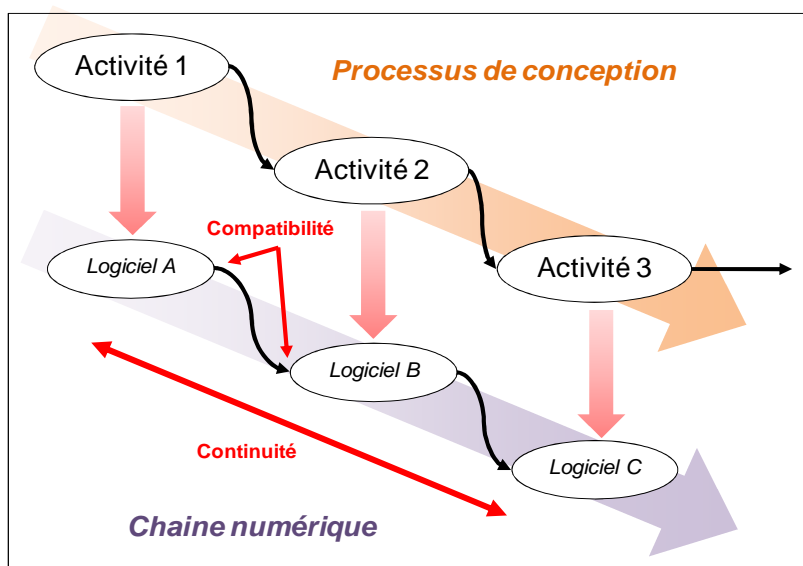


Figure 3-22: illustration de la chaîne numérique.