



HAL
open science

Conception et ergonomie. Méthodes et outils pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de conception des outils à mains.

J. Marsot

► To cite this version:

J. Marsot. Conception et ergonomie. Méthodes et outils pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de conception des outils à mains.. [Rapport de recherche] Notes scientifiques et techniques de l'INRS NS 219, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). 2002, 69 p., ill., bibliogr. hal-01420178

HAL Id: hal-01420178

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420178v1>

Submitted on 20 Dec 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception et Ergonomie

Méthodes et Outils pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de conception des outils à mains

J. MARSOT

*Département "Ingénierie des Equipements de Travail",
centre de Lorraine de l'INRS, VANDOEUVRE.*

Résumé

Afin de définir les méthodes de conception favorisant l'intégration de l'ergonomie, une vision générique d'une méthode de conception est dans un premier temps proposée. Ensuite, les principales approches industrielles de la conception de produit sont exposées et, pour chacune d'elles, les moments et les types d'intervention proposés aux ergonomes sont mis en évidence. Une démarche adaptée pour l'intégration de l'ergonomie dans le processus de conception a ainsi pu être définie. Il s'agit dans un contexte d'ingénierie concurrente, de suivre un processus de conception évolutif reposant sur le couplage de l'analyse fonctionnelle avec des techniques de prototypage. Enfin trois outils méthodologiques de conception sont présentés ; l'analyse fonctionnelle du besoin, le QFD et TRIZ. Au travers de leur mise en œuvre dans le projet CEROM (Conception Ergonomique d'Outils à Mains) il a été montré en quoi ils sont capables de répondre à la problématique de l'intégration de l'ergonomie à la conception des produits.

Mots clés :

ERGONOMIE - CONCEPTION – METHODE – OUTILS

SOMMAIRE

AVANT PROPOS	3
1. METHODES, MODELES ET OUTILS DE CONCEPTION	5
1.1. DEFINITIONS	5
1.2. ORGANISATION DES PHASES DE LA CONCEPTION.....	9
1.3. ORGANISATION DES ACTEURS DE LA CONCEPTION	14
1.4. LES OBJETS INTERMEDIAIRES DE LA CONCEPTION	17
1.5. LES OUTILS DE LA CONCEPTION.....	19
2. L'ANALYSE FONCTIONNELLE DU BESOIN	21
2.1. PRESENTATION	21
2.2. APPLICATION DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE DANS CEROM	22
2.3. CONCLUSION SUR L'ANALYSE FONCTIONNELLE	23
3. LE QFD	24
3.1. PRESENTATION	24
3.2. APPLICATION DU QFD DANS CEROM	26
3.3. CONCLUSION SUR LE QFD.....	31
4. TRIZ	33
4.1. PRESENTATION	33
4.2. APPLICATION DE TRIZ DANS CEROM.....	37
4.3. CONCLUSION SUR TRIZ.....	41
5. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	42
6. BIBLIOGRAPHIE	45
LISTE DES ILLUSTRATIONS	50
LISTE DES TABLEAUX	51
ANNEXE I	52
LA SOCIETE A.....	53
LA SOCIETE B.....	55
LA SOCIETE SANDVIK	56
ANNEXE II	57
ANNEXE III	62
ANNEXE IV	68

AVANT PROPOS

Ces dernières années, la conception des outils à main fait l'objet d'un regain d'attention de la part des utilisateurs, des fabricants (*Sandvik, 1995 ; Atlas-Copco, 1995*) et des chercheurs (*Eurohantools, 1996 ; ACOME, 1998*). En effet, de l'objectif initial lié à une préoccupation d'efficacité en termes de rendement : *faire plus et mieux (que la main) et plus vite*, est venu s'ajouter le souci de moindre sollicitation de l'utilisateur et donc d'une conception plus "ergonomique" : *faire sans nuire, sans fatigue, ni inconfort*. Plusieurs évènements sont à l'origine de cette évolution.

Le premier est en relation directe avec l'accroissement, depuis le début des années 1980, du nombre de troubles musculo-squelettiques (TMS) dans de nombreux pays industrialisés. Les TMS sont fréquents dans les entreprises où il est largement fait appel à l'utilisation d'outils à main : industrie agro-alimentaire (*Armstrong et coll., 1982*), industrie automobile (*Vanbergeijk, 1996*), industrie électronique (*Tichauer et coll., 1977*) ou entreprise d'assemblage d'appareils électroménagers (*Aptel, 1993*). Selon une enquête réalisée par le NIOSH (1993) aux Etats-Unis, les TMS représentent 24 % de tous les accidents du travail et maladies professionnelles liés à l'utilisation d'outils à main. Pour la France, les outils à main sont à l'origine de près de 6% des Accidents du Travail et les TMS représentent plus de 66% des Maladies Professionnelles indemnisées¹ (*Travail & Sécurité, 2001*). Cet accroissement très important du nombre de TMS observés depuis plusieurs années (cf. figure 1) justifie qu'un effort important soit réalisé dans le sens d'une réduction des sollicitations de l'opérateur.

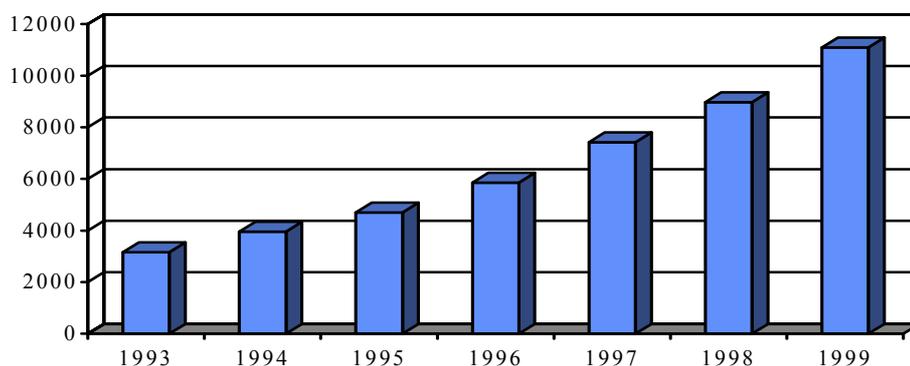


Figure 1: Evolution du nombre de TMS indemnisés

¹ Les maladies professionnelles liées aux TMS sont recensées dans le tableau 57 "Affections périarticulaires" de la Caisse Nationale d'Assurance Maladies

Le second découle de la compétition entre les industriels qu'ils soient concepteurs ou utilisateurs d'outils à mains. En effet, le raccourcissement du cycle de vie des produits, l'évolution rapide des marchés et de la concurrence, l'accroissement des exigences des clients qui attendent des produits de plus en plus personnalisés, contraignent les entreprises à développer de nouvelles technologies et de nouvelles formes d'organisation de la production. Elles incluent notamment des aspects tels que l'augmentation de la complexité de la tâche, du temps de cycle et donc du nombre d'opérations, ce qui a pour effet d'entraîner de nouvelles exigences relatives aux outils utilisés.

C'est dans ce cadre que c'est inscrit le projet **CEROM** (Conception ERgonomique d'Outils à Main) dont un des objectifs est de mettre à la disposition des fabricants, des connaissances et des méthodes leur permettant de concevoir des outils à mains efficaces plus sûrs et moins sollicitants pour les utilisateurs. Ce projet est articulé autour d'une problématique industrielle qui est celle des métiers de découpe et de désossage de la viande. Ce choix est basé sur les résultats d'une étude statistique menée dans le cadre de l'étude d'instruction du projet (*Aptel et coll. 1998*) faisant apparaître un grand nombre de maladies professionnelles reconnues au titre du tableau n°57 dans l'industrie de la viande.

Ce projet regroupe outre l'INRS, les partenaires suivants : la Caisse Centrale de la Mutualité Sociale Agricole (CCMSA), la Caisse Régionale d'Assurance Maladie de Bretagne, la Société Vitréenne d'Abattage (S.V.A) et les fabricants et/ou distributeurs de couteaux DASSAUD Fils et INDUSTRIADE.

Ce document est une synthèse des travaux réalisés dans le cadre de ce projet relatif à la définition des méthodes et des outils de conception favorisant l'intégration de l'ergonomie (*Bonnevie et coll., 1998 ; Marchall, 2000 ; Bouaziz, 2001*).

1. METHODES, MODELES ET OUTILS DE CONCEPTION

La problématique qui pose la question « *comment intégrer l'ergonomie dans le processus de conception* » en appelle en fait une deuxième « *pourquoi rechercher des méthodes de conception formalisées alors que tant d'industriels réalisent d'excellents produits à partir de méthodes empiriques ou semi-empiriques ?* ».

La structuration méthodique du processus de conception est une nécessité car, aujourd'hui, la compétitivité des entreprises dépend non seulement de la maîtrise des technologies essentielles à leur activité, mais également de leur stratégie et de leur gestion du processus global de conception. Il est, en effet, admis que 75% des coûts totaux de développement et d'industrialisation d'un produit sont déterminés dès le début de la conception (*Bascoul, 1999*). Une étude réalisée sur les facteurs de réussite des projets de conception montre que 12 % des projets structurés aboutissent contre seulement 1 à 1,7 % pour les projets non structurés (*Breton, 1996*). Par ailleurs, la formalisation ouvre la voie à la capitalisation des savoirs et savoir-faire.

1.1. DEFINITIONS

A l'instar de la communauté scientifique (*Rodenacker, 1970 ; Maître et coll., 1992 ; Duchamp, 1999*), nous considérons la conception comme la transformation d'un concept en un produit. Pour définir ce qu'est une « méthode de conception » nous avons retenu la définition selon laquelle « *Une méthode propose une démarche cherchant à définir l'ordonnement de toutes les activités à mener à bien pour atteindre un objectif final. Une technique est un procédé permettant de réaliser une ou plusieurs de ces activités. Une méthode peut donc demander l'emploi successif de plusieurs techniques.* » (*Pomian et coll. 1997*).

En accord avec cette définition, la démarche de conception représente l'ensemble des activités, donc des acteurs² et de leurs tâches qu'il faut organiser au mieux pour transformer un concept (abstrait) en un produit (réel). Les techniques (ou outils) désignent l'ensemble des moyens utilisés lors des différentes activités. Ce peut être des logiciels, des normes, des questionnaires, du prototypage, des outils d'analyse, etc.

² La notion d'acteur n'est pas forcément attachée à une seule et même personne. Un acteur peut être un service, une entreprise, un organisme qui disposent d'un représentant lors des réunions.

Malgré la multiplicité des domaines de conception et la variété des méthodologies développées pour chacun d'entre eux, l'ordonnancement des activités de conception reste assez semblable d'une méthode à l'autre. La principale différence entre ces démarches porte sur le point de départ de l'acte de conception et le moment où celui-ci prend fin (*Vadcard, 1996*). Nous retiendrons pour la suite un découpage simplifié en 4 phases (cf. figure 2) que nous définissons succinctement comme suit :

- Phase de spécifications ; les services requis du système et les contraintes de développement sont établis avec le client. Ensuite, les exigences auxquelles l'objet technique doit répondre, sont précisées dans un cahier des charges. Chaque fonction du futur objet est définie complètement et sans ambiguïté par un ou plusieurs critères quantifiables.
- Phase de conception générale ; cette étape représente une phase d'avant-projet ou une représentation schématique de la cinématique et de l'architecture. Elle sera définie pour permettre d'analyser les divers schémas conceptuels possibles.
- Phase de conception détaillée ; c'est la conception proprement dite de l'objet réel à l'aide des acquis et des expériences de conceptions antérieures.
- Phase de fabrication ; phase où l'objet est physiquement réalisé et où des vérifications de conformité seront effectuées.

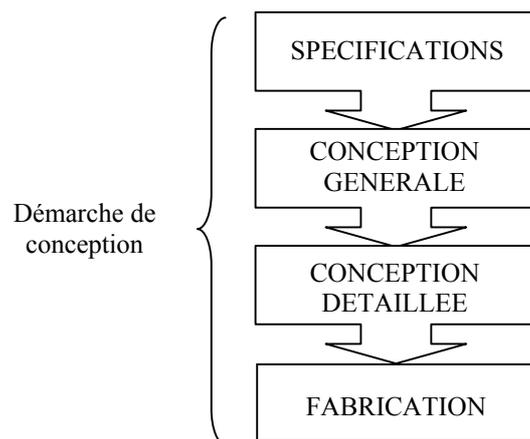


Figure 2 : Illustration de la notion de démarche de conception

Chacune de ces phases de conception est constituée d'une ou plusieurs activités réellement opérantes pour la conception d'un produit, auxquelles sont rattachés des outils de conception. A titre d'exemple, la figure 3 illustre le répartition des outils utilisés lors des phases de spécifications et de conception générale et de conception détaillée (AFAV, 1997).

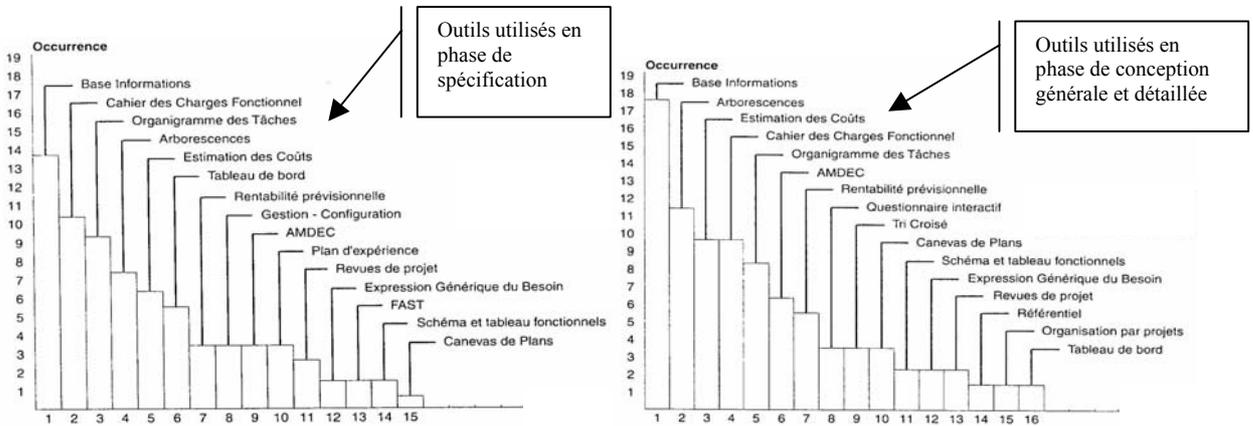


Figure 3 : Illustration de la répartition des outils de conception

Par ailleurs, l'activité de conception est par nature pluridisciplinaire (cf. figure 4). Les disciplines relevant des sciences du comportement telles que l'ergonomie sont amenées à se croiser avec les disciplines de l'ingénierie qui traditionnellement constituent l'essentiel de l'activité de conception « *La conception est nécessairement une discipline horizontale dans laquelle la maîtrise des points de rencontre avec des disciplines carrefours est indispensable* » (Aoussat, 1990).

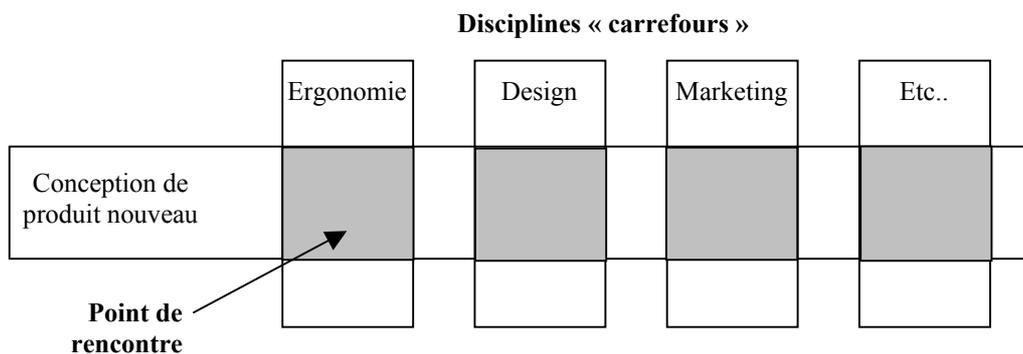


Figure 4 : La conception de produit

Ainsi le produit conçu sera vu différemment selon la personnalité, le métier, le langage, etc. de chacun des acteurs. Par exemple l'ingénieur de production jugera le produit selon les différents moyens techniques à mettre en œuvre, le commercial en termes de part de marché et de réseau de distribution, le préventeur en fonction des risques estimés, etc. Le but de la conception réside alors dans la prise en compte de ces différents points de vue.

De même, la multitude des acteurs de la conception d'un produit est à l'origine des différents modèles (numérique, physique, textuel, symbolique, etc.) qui interagissent avec la démarche de conception (cf. figure 5). Par « modèles », on entend toutes compositions de symboles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu comme complexe (*Le Moigne, 1995*).

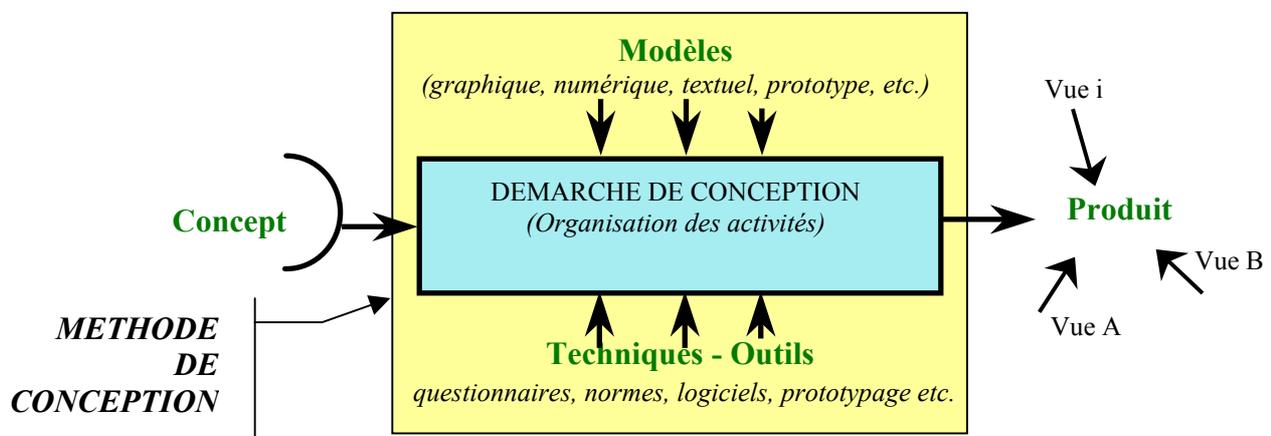


Figure 5 : Organisation générale d'une méthode de conception

Cette définition d'une méthode de conception ne doit pas être considérée comme intangible mais elle vise à souligner la logique qui préside dans l'activité de conception et ainsi structurer la suite de ce document.

La recherche d'une méthode de conception favorisant l'intégration de l'ergonomie nécessite donc de définir d'une part, l'organisation des activités, donc des acteurs et de leurs tâches, et d'autre part, l'ensemble des outils, utilisés lors de ces activités, les plus aptes à favoriser l'intégration de l'ergonomie.

1.2. ORGANISATION DES PHASES DE LA CONCEPTION

1.2.1. Cycle de vie

La vie de tout produit, peut être décrite selon un cycle depuis l'étape de spécifications jusqu'à celle de destruction du produit (*Leleu et coll., 1997*). De nombreuses démarches de conception s'appuient sur cette notion abstraite de cycle de vie. Elle apporte en effet un cadre de déroulement précis dans la planification des interventions des acteurs de la vie d'un produit et donc des acteurs de la conception de ce produit. Toutefois, cette notion de cycle de vie étant abstraite, il convient d'admettre qu'il puisse exister des divergences entre les différents modèles de cycles de vie présentés ci-après et une réelle activité de conception.

1.2.2. Cycles de vie linéaire

En 1970, la première version d'un modèle de développement apparaît : le **cycle de vie en cascade** (cf. figure 6). Celui-ci identifie les principales étapes du développement. L'importance de l'activité de vérification dans le développement de systèmes complexes a amené en 1976 le **cycle en cascade avec retour**. Les vérifications de conformité du produit et les corrections permettent alors de reprendre ou de revoir le résultat de la (des) étape(s) précédentes. Néanmoins, cette représentation fait apparaître sur un même niveau les activités et les produits, ce qui ne correspond pas exactement à la réalité d'un cycle de développement (*Pomian et coll. 1997 ; Laprie, 1996*).

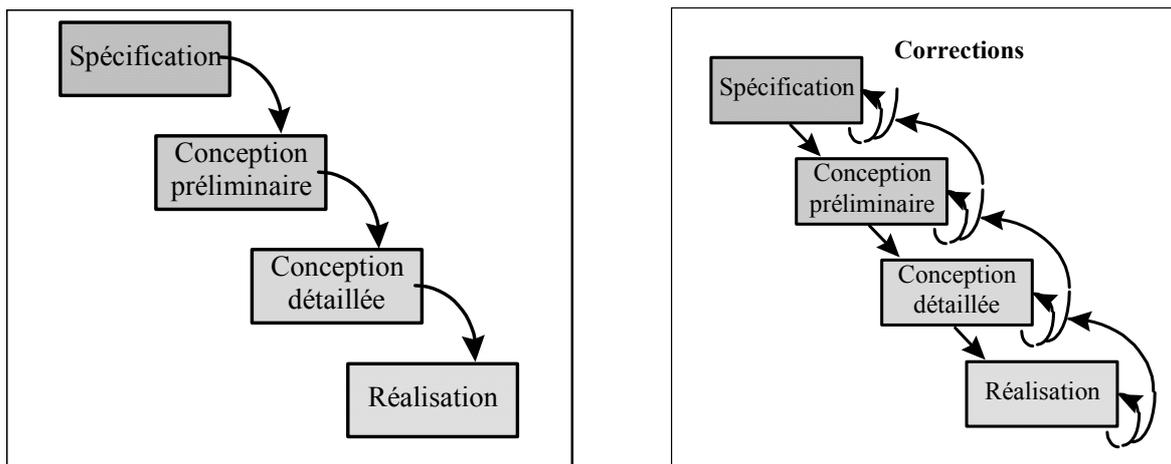


Figure 6 : Cycles de vie en cascade.

C'est pourquoi l'AFCIQ³ proposa le modèle **de cycle en V** (cf. figure 7), qui reste à l'heure actuelle le plus connu, au moins en Europe (AFCIQ, 1990). Les activités de vérification et d'évaluation du projet sont récursives et permettent de relier une à une, sur un axe horizontal, les étapes descendantes de spécification-conception à celles, ascendantes, de la réalisation.

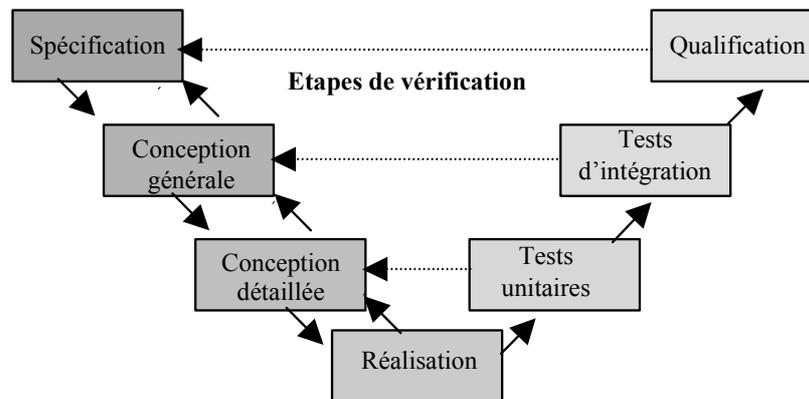


Figure 7 : Cycle de vie en « V »

Toutefois, la vision linéaire de ces différents modèles de cycle de vie introduisent les problèmes suivants (Ghezzi et coll. 1991) :

- l'illusion de pouvoir figer l'expression des besoins et la spécification au début du processus avant d'entreprendre toute autre activité,
- l'absence de prise en compte des inévitables changements à toutes les étapes du processus, en particulier des évolutions des besoins et spécifications,
- l'ignorance de la réutilisation de composants,
- le renforcement de standards largement basés sur la production de documents, conduisant à un style de travail bureaucratique,
- la difficulté d'estimer les ressources nécessaires au développement à partir d'informations incomplètes.

Par apport à notre problématique d'intégration de l'ergonomie à la conception des produits, l'ergonome peut intervenir soit tout au début de ces cycles de vie linéaire lors des phases d'analyse des besoins et de spécifications soit tout à la fin du cycle lors des tests d'acceptation (cf. figure 8) (Coutaz, 1995).

³ AFCIQ : Agence Française pour le Contrôle Industriel de la Qualité

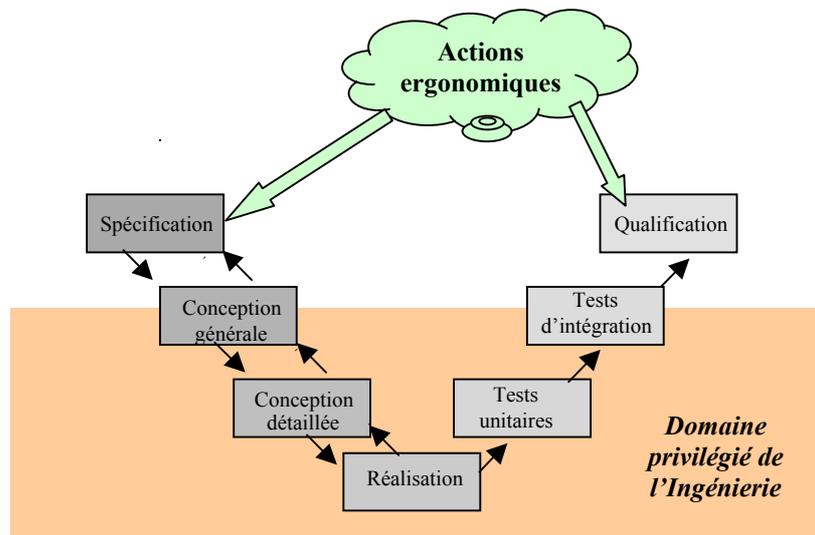


Figure 8 : L'ancrage de l'ergonomie dans le processus de développement

En début de processus, l'objectif est d'identifier et de formaliser les différentes attentes relatives au produit à concevoir dans lesquelles figurent, de façon explicite ou implicite, celles relatives à l'ergonomie. Même si de nombreux travaux restent à faire dans ce domaine, les concepteurs disposent, pour la réalisation de cette phase, de méthodes telles que l'analyse fonctionnelle du besoin (*AFAV, 1989*), la conception à l'écoute du marché (*Daetz et coll., 1995 ; Shiba et coll., 1995*), etc.

Une fois ces attentes identifiées et hiérarchisées, cela ne signifie pas pour autant que l'objet conçu les respecte toutes. En effet, les phases suivantes du processus de conception (conception générale, conception détaillée et réalisation) sont généralement dirigées par des spécialistes de l'ingénierie. Les modifications inévitables qui apparaissent lors de ces phases (il est en effet illusoire de penser pouvoir figer l'expression des besoins et les spécifications au début du processus de conception) conjuguées à la difficulté, voire l'absence, de communication entre ces spécialistes et ceux appartenant à des disciplines différentes (par exemple l'ergonomie) peuvent avoir un impact néfaste et/ou imprévisible sur la satisfaction de ces besoins, notamment sur ceux liés à la prévention des risques professionnels. L'ergonome, quant à lui, n'en prendra connaissance qu'en fin de processus et n'aura d'autres choix que de préconiser des mesures correctives, faites de compromis, qui peuvent alors être en contradiction avec des besoins opérationnels. Par exemple, le diamètre d'un manche d'outil énergisé sera le plus souvent conditionné par des contraintes techniques liées à l'apport d'énergie (moteur électrique ou pneumatique, batteries électriques, etc.) au détriment de critères ergonomiques. Ces inconvénients expliquent les modifications apportées pour aboutir à des modèles de développement dits "évolutifs".

1.2.3. Cycles de vie évolutifs

Le premier résultat de ces modifications fût un modèle en cascade avec retour amélioré, appelé **modèle incrémental** (cf. figure 9). A partir d'une étape donnée, le processus suivant sera itéré plusieurs fois aboutissant chacun à un système opérationnel. Ceux-ci s'approchant à chaque fois davantage du produit final (*Laprie, 1996*). Ce type de modèle amènera plus tard au modèle à version successive car à chaque incrément émerge un produit opérationnel.

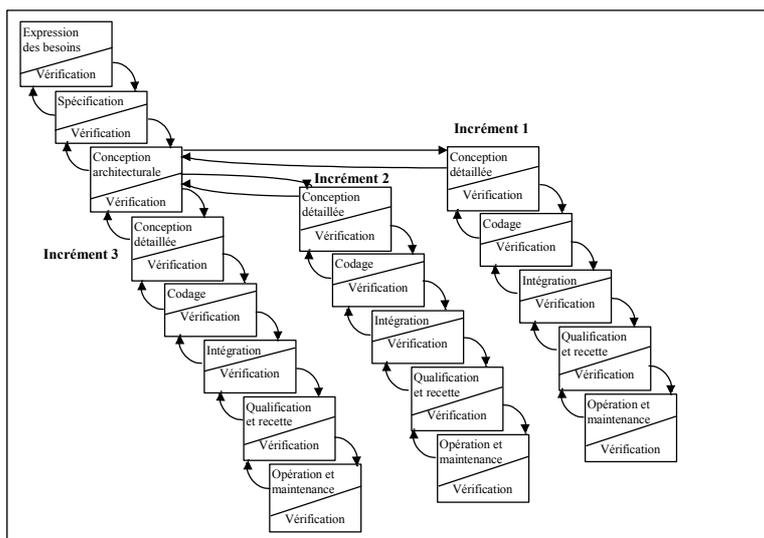


Figure 9 : Cycle de vie incrémental

Le **modèle en spirale** est une autre forme de développement évolutif. Il repose sur un couplage de la méthode d'analyse fonctionnelle avec les techniques de prototypage rapide. Le prototypage rapide désigne l'ensemble des techniques permettant l'obtention rapide, à un stade précoce de la conception, de prototypes virtuels ou matériels (*Bernard, 1998*).

Il existe différents types de prototypes :

- le prototype qui représente le modèle sur un plan esthétique,
- le prototype de géométrie qui permet de vérifier les cotes, le futur assemblage, le contrôle et le montage,
- le prototype fonctionnel qui permet de valider le produit, d'optimiser le principe fonctionnel et permet le lancement du travail du bureau des méthodes et de concevoir le futur outillage,
- et enfin le prototype technologique dans la matière finale qui permet de faire des tests et par la suite, le lancement de la présérie.

Toutes ces formes de prototype sont d'une importance capitale pour améliorer la coopération et la communication des différents acteurs de la conception. Leur utilisation de façon itérative permet de résoudre ce que Pinsky et Theureau appellent le paradoxe de l'ergonomie de conception « ...pour dire quelque chose de réellement fondé sur une situation de travail, il faut attendre qu'elle soit complètement conçue, mais alors il sera trop tard pour intervenir dans la conception" (Theureau et coll., 1984). A défaut du produit final qui est par définition absent puisqu'il est en cours de conception, seuls des prototypes, sont capables de matérialiser le futur produit à l'esprit des concepteurs. Les prototypes sont en effet des « modèles » compréhensibles par l'ensemble des acteurs qui, de ce fait, peuvent intervenir dès qu'ils décèlent une difficulté par rapport à leur métier.

Contrairement au modèle de cycle de vie linéaire, chaque phase du processus de conception peut alors être validée par l'ensemble des acteurs, donc par l'ergonome (cf. figure 10).

De ce fait, le processus en spirale est également dénommée processus de développement ergonomique (Laprie, 1996).

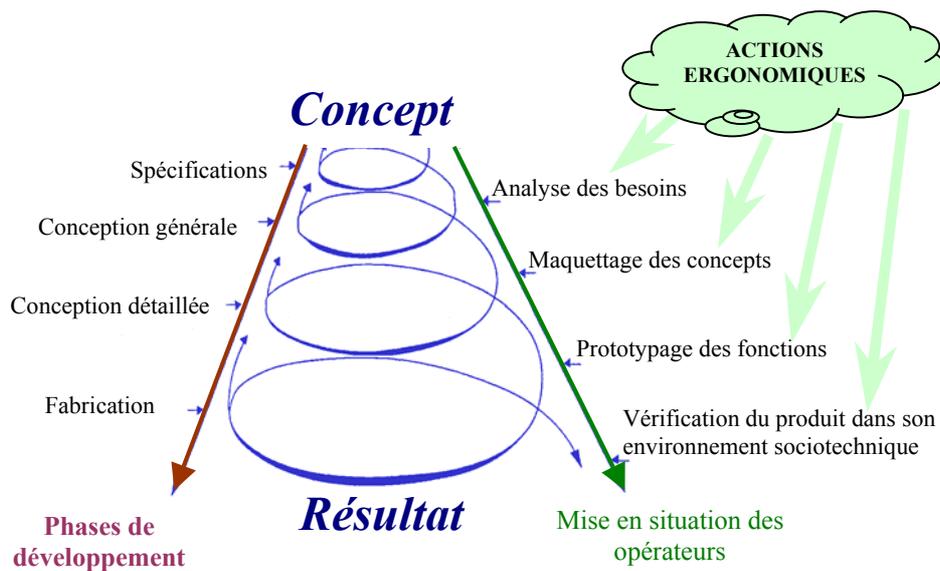


Figure 10 : Cycle de vie en spirale

Après avoir étudié les différentes organisations d'activités et identifié celles favorisant l'intégration de l'ergonomie (cycle en spirale), nous allons maintenant analyser les différents types d'organisation des acteurs de la conception.

1.3. ORGANISATION DES ACTEURS DE LA CONCEPTION

1.3.1. L'ingénierie séquentielle

L'ingénierie séquentielle est une approche traditionnelle de conception de par laquelle toutes les activités sont effectuées séquentiellement avant l'élaboration des procédés de production. La plupart des entreprises appliquent des méthodes de conception basées sur une suite d'observations et d'expériences. Ces méthodes empiriques organisent naturellement les acteurs en ingénierie séquentielle.

Les acteurs de la conception connaissent leur métier et se répartissent les tâches de telle façon que chacun puisse travailler dans son domaine de spécialité. A première vue, cette décomposition semble très intéressante et permet de réduire la complexité en appliquant la devise « *diviser pour mieux régner* » (Salau, 1995).

L'ingénierie séquentielle, où l'organisation des acteurs est dictée par l'organisation des étapes (cf. figure 11), introduit les mêmes types de problèmes que les processus de conception dits linéaires. De plus, il est difficile, pour ne pas dire impossible, d'identifier une étape relative à la prise en compte de l'ergonomie. **L'ergonome ne trouve donc pas réellement sa place dans ce type d'organisation.**

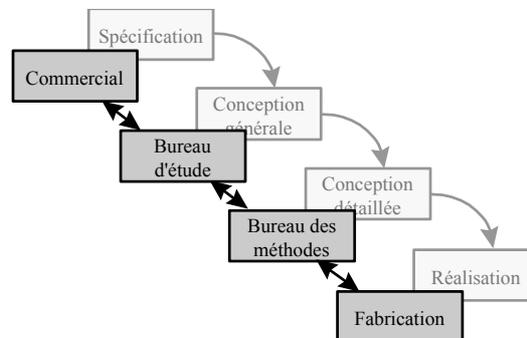


Figure 11 : Ingénierie séquentielle et cycle de vie linéaire

1.3.2. L'ingénierie concurrente

Le concept d'ingénierie concurrente est apparu au début des années 80 dans certaines grandes entreprises américaines pour pallier les différents problèmes engendrés par l'ingénierie séquentielle (Feschotte, 1998). Le terme « *concurrent engineering* » possède plusieurs traductions en français : « *ingénierie concurrente* », « *ingénierie simultanée* » ou même « *ingénierie intégrée* » d'après la norme française NF X 50-415 : 1994.

Nous préférons ici le terme « *ingénierie concourante* » qui évoque une convergence et donc un but commun à tous les acteurs du projet (Cerezuela, 1996).

L'ingénierie concourante est une approche qui vise à intégrer de façon simultanée les différentes phases de développement d'un produit et la gestion de son processus, c'est à dire : la recherche des besoins du client, la conception du produit le choix des moyens de production, la production, le service après-vente, le recyclage, etc. .

La norme NF X 50-415 insiste sur le fait que l'ingénierie concourante permet de prendre en compte les connaissances des métiers avals, le plus en amont possible. En d'autres termes, l'ingénierie concourante implique une participation des représentants de métiers avals dès les premières étapes de conception, ainsi qu'une participation des acteurs amonts jusqu'à la réalisation du produit (cf. figure 12).

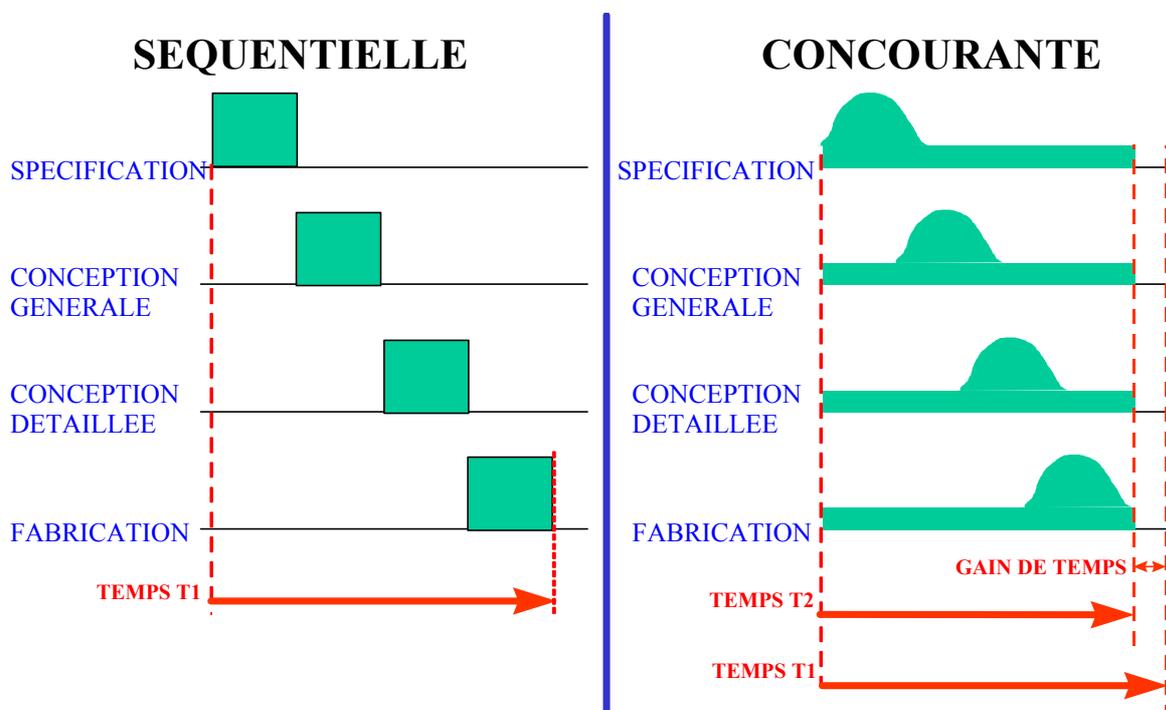


Figure 12 : Du séquentiel au simultané par les courbes de charge de travail (Jouffroy, 1999)

L'ingénierie concourante peut être considérée comme un dispositif organisationnel permettant d'améliorer la communication en mettant en avant la coopération comme principe de coordination entre acteurs (Perrin et coll. 1995). Afin de favoriser cette coopération, l'ingénierie concourante nécessite la mise en place d'une équipe projet entre tous les acteurs de la conception ; ceux directement concernés par les différentes phases de la conception (bureau d'études, méthodes, fabrication..) mais également ceux, des disciplines « carrefours » qui relèvent des sciences du comportement comme l'ergonomie, le design, le marketing, etc..

La figure 13 ci-dessous illustre le fait qu'en ingénierie concurrente, tous les acteurs participent à chaque étape, avec une participation importante de l'acteur plus particulièrement en charge de l'étape. Les autres acteurs sont présents principalement pour participer, comprendre et vérifier si des erreurs apparaissent et effectuer les modifications qui s'imposent le plus tôt possible. Cette figure met également en évidence le fait qu'un acteur appartenant à une discipline « carrefour » est complètement intégré dans un cycle de conception organisé de façon concurrente, ce qui n'est pas le cas en ingénierie séquentielle.

De ce fait, l'ingénierie concurrente est aujourd'hui reconnue comme favorisant l'intégration de l'ergonomie à la conception (Sagot, 1999 ; Jouffroy et coll., 1999 ; Roussel, 1996).

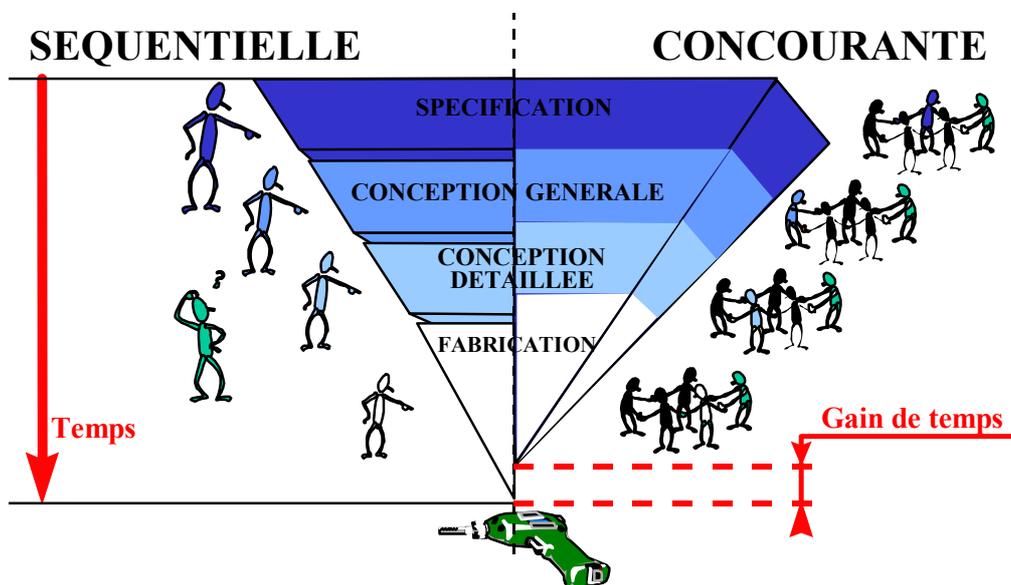


Figure 13 : Du séquentiel au simultané par l'organisation des acteurs

Tel que nous venons de le voir, la communication entre les acteurs de la conception est l'un des fondements de l'ingénierie concurrente. Nous ne pouvons donc pas terminer ce chapitre sans parler des objets intermédiaires de la conception qui ont un rôle de supports de communication.

1.4. LES OBJETS INTERMÉDIAIRES DE LA CONCEPTION

Les objets intermédiaires de conception sont des moyens d'échange d'informations et de documents, tels que des dessins, des modèles, des notices de calcul, du texte, des maquettes, etc.. Outre l'information qu'ils véhiculent, ces objets ont un rôle d'instruments de coordination entre les acteurs (*Mer et coll., 1995*).

Toutefois, ces objets intermédiaires ne sont pas toujours utilisables et interprétables par tous les acteurs pour assurer une communication et une coopération suffisante. En effet, ils reposent généralement sur des connaissances issues de corpus différents (mécanique, électricité, ergonomie, mathématiques, etc.) et de ce fait les acteurs de la conception se heurtent à un manque de référentiel commun, condition nécessaire pour obtenir une communication efficace (*Girard et coll., 1995*). **Cette carence de référentiel commun est sans doute une des causes indirectes du manque de prise en compte de l'ergonomie dans le processus de conception.** Par exemple, une gamme d'usinage et/ou un plan de fabrication élaborés par des ingénieurs méthodes seront difficilement, voire totalement, incompréhensibles, par des ergonomes et inversement certaines recommandations ergonomiques ne seront pas comprises par des ingénieurs (cf. figure 14).

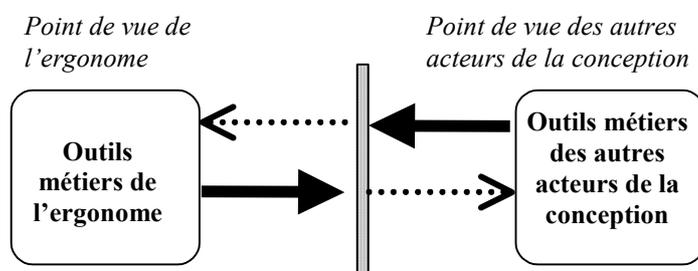


Figure 14 : Difficulté de communication par manque de référentiel commun

A l'instar de B. Roussel qui propose de « rendre ergonomique les recommandations ergonomiques » (*Roussel, 1996*), il est souhaitable de **rendre ergonomique les objets intermédiaires de la conception** afin qu'ils soient de bons vecteurs de la communication.

Il ne s'agit pas pour autant de tomber dans l'excès, l'ingénierie concourante ne repose pas sur la communication à outrance (*Zreik, 1995*), si celle-ci est trop importante, les informations pertinentes se dissipent dans le flux de données.

Pour éviter cela, les objets intermédiaires de la conception doivent concerner le contenu même du futur produit. Plus ce contenu sera fort, par exemple à l'aide de prototypes tel que le préconise le modèle de cycle de vie en spirale (cf. § 1.2.3), meilleure sera la coopération (cf. figure 15).

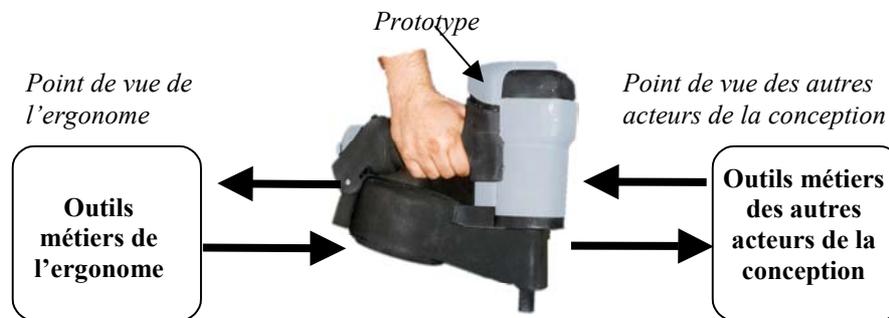


Figure 15 : Prototype en tant que référentiel commun pour favoriser la communication

En conclusion, de cette étude bibliographique des différents types d'organisation des étapes et des acteurs de la conception, nous pouvons définir la démarche la mieux adaptée pour l'intégration de l'ergonomie. **Il s'agit dans un contexte d'ingénierie concurrente, de suivre un processus de conception évolutif reposant sur le couplage de l'analyse fonctionnelle avec des techniques de prototypage (cycle en spirale).** Ce résultat est conforté par l'analyse des démarches de conception de trois fabricant d'outils à main « ergonomiques » (cf. annexe I).

Nous allons dans les chapitre suivants étudier les outils de conception afin de déterminer ceux qui favorisent l'intégration de l'Ergonomie.

1.5. LES OUTILS DE LA CONCEPTION

S'il existe une multitude d'outils disponibles pour la conception de produit, il y a peu de référentiels permettant d'effectuer un choix des outils en fonction du contexte d'un projet. Ce constat explique en grande partie pourquoi peu de PME/PMI appliquent des outils formalisés. En conséquence, pour tenter de répondre à notre problématique à savoir « *quels sont les outils de conception les plus aptes à favoriser l'intégration de l'ergonomie* », nous avons utilisé la taxinomie établie par Vadcard (1996) pour aider les concepteurs à programmer l'utilisation des outils de conception.

Vadcard a établi une classification des outils de conception en sept familles distinctes et complémentaires ; caractérisation du besoin, créativité, définition, matérialisation et analyse de solution, gestion de projet et enfin qualité de développement. Les cinq premières peuvent être rattachées aux différentes activités de la conception. Les deux dernières sont relatives au projet lui-même et à la qualité.

Toujours selon Vadcard, ces outils peuvent également être classés selon :

- qu'ils transforment (outils opérants) ou qu'ils présentent (outils de formalisation) l'information,
- qu'ils sont spécialisés dans un domaine d'activité précis (outils métiers) ou qu'ils peuvent être utilisés par des spécialistes de plusieurs disciplines (outils pluridisciplinaires).

Les tableaux qui figurent en annexe II recensent, de façon non exhaustive, les principaux outils de conception classés selon les familles précédemment définies. Ce classement n'est toutefois pas suffisant car il met au même niveau des outils totalement différents tel que l'analyse fonctionnelle et un tableau à double entrée ! Si l'analyse fonctionnelle est bien un des outils de l'activité de conception, le tableau à double entrée peut être un outil au service de l'analyse fonctionnelle, qui dans ce cadre-là, devient une méthode pour la détermination des fonctions d'un produit (cf. figure 16).

Suite à cette constatation, il est possible de dire que tout outil, qui n'est pas opérant à lui seul et qui fait appel à d'autres procédés, est en fait un outil méthodologique.

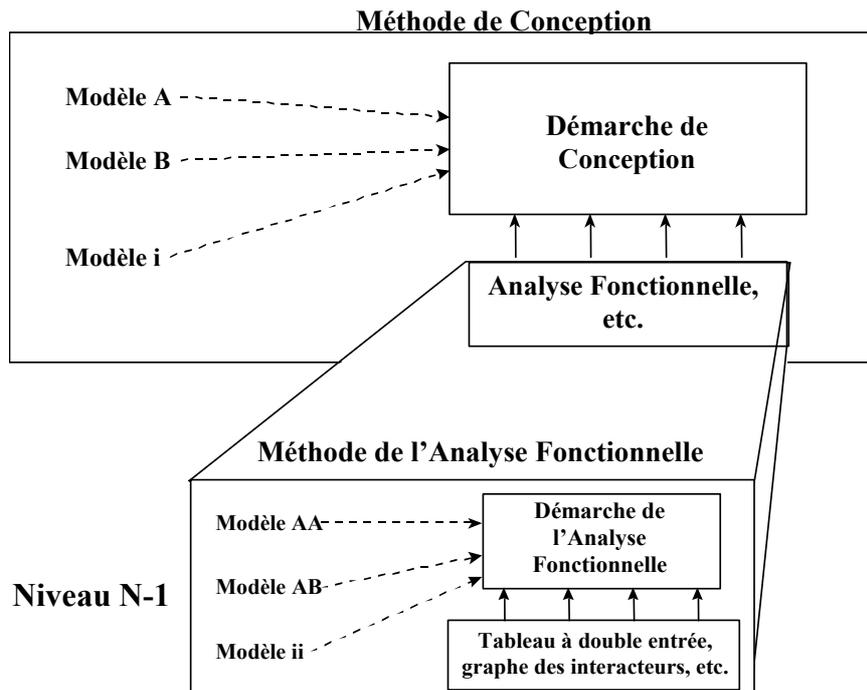


Figure 16 : Illustration de la notion d'outil méthodologique

Comme nous l'avons vu précédemment, l'interdisciplinarité et la communication sont deux conditions nécessaires pour favoriser l'intégration de l'ergonomie à la conception. Nous porterons donc notre intérêt sur les outils méthodologiques pluridisciplinaires. L'avantage des outils « racines » est qu'ils regroupent à la fois des outils opérants et des outils de formalisation de l'information donc de communication.

Les chapitres suivants présentent, de façon générale et au travers de leur mise en œuvre dans le projet CEROM, trois outils de conception ; l'Analyse Fonctionnelle, le QFD⁴ et TRIZ⁵. Ces outils ont été retenus car d'une part, ils répondent aux critères définis ci-dessus et d'autre part, ils peuvent être enchaînés de façon logique.

⁴ QFD : *Quality Function Deployment*

⁵ TRIZ : *Acronyme russe pour «Algorithme pour la Résolution des Problèmes Inventifs »*

2. L'ANALYSE FONCTIONNELLE DU BESOIN

2.1. PRESENTATION

Créée à la fin des années 40 par la société Général Electric, l'analyse fonctionnelle a vite été utilisée par les industriels ayant à faire face à des défis économiques et stratégiques importants. Elle franchit l'Atlantique et le Pacifique dans les années 60. En 1978, une association française pour l'analyse de la valeur (FAV) rassemblant les divers praticiens de la méthode est constituée (FAV, 1989).

D'après la norme AFNOR NF X 50-151 : 1991, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui amène à s'interroger sur les réelles attentes des utilisateurs par rapport à un produit ou à un service. Elle comporte généralement les étapes suivantes :

- la recherche de l'information nécessaire pour identifier les différentes phases du cycle de vie du produit depuis son stockage jusqu'à son retrait de service, en passant par son utilisation "pure". Pour chaque situation, il est recommandé de lister les éléments, personnes, matériels, matières qui constituent l'environnement du produit,
- la recherche des fonctions en étudiant les relations du futur produit avec son environnement. Elle s'effectue selon une méthodologie axée sur le recensement exhaustif des fonctions. Chaque fonction doit être exprimée exclusivement en terme de finalité et être formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments,
- l'ordonnancement et la quantification des fonctions précédemment identifiées (arbre fonctionnel),
- la définition des critères qui permettront d'effectuer le choix d'une solution technique,
- la hiérarchisation des fonctions soit en associant directement un coefficient à chaque fonction, soit en comparant chaque fonction à toutes les autres en jugeant si elle est "plus importante" ou "moins importante".

C'est une démarche pluridisciplinaire qui doit être menée au sein d'un groupe de travail réunissant les différents acteurs de la conception. Les résultats de l'analyse fonctionnelle sont formalisés dans le Cahier des Charges Fonctionnel du besoin (CdCF).

2.2. APPLICATION DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE DANS CEROM

L'application de cette méthode a permis l'élaboration du cahier des charges fonctionnel de l'outil de coupe devant être réalisé dans le cadre du projet CEROM. Les principaux éléments qui ont servi à son élaboration sont :

- les données technico-économiques fournies par les fabricants partenaires du projet,
- les résultats d'une enquête terrain réalisée auprès de 196 opérateurs appartenant à différents secteurs d'activité (Claudon, 2000),
- les informations obtenues lors de réunions de travail, animée par un consultant en analyse fonctionnelle, et regroupant des agents de l'institution prévention (INRS et CRAM), un fabricant de couteaux et des utilisateurs (désosseurs et affûteurs).

La technique retenue pour la recherche des fonctions est celle des milieux extérieurs. Il faut dans un premier temps définir les éléments en contact (les milieux extérieurs) avec le produit à concevoir et ce, dans toutes ses phases de vie. Ensuite, l'identification des fonctions se fait en envisageant toutes les possibilités de liens entre les différents milieux extérieurs et le produit étudié (cf. figure 17).

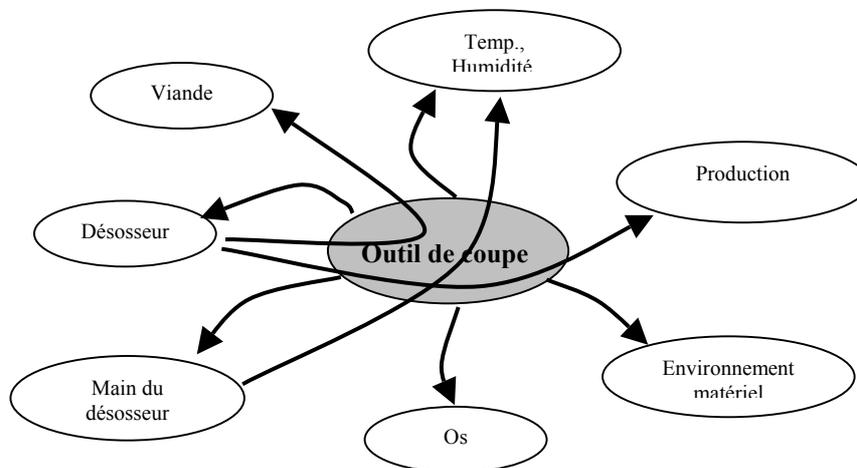


Figure 17 : Illustration simplifiée de la technique des milieux extérieurs

C'est ainsi que 32 fonctions ont été listées puis regroupées en 9 groupes fonctionnels (cf. figure 18). Deux de ces groupes fonctionnels (GF3 et GF 4) sont spécifiques à des exigences ergonomiques. Conformément à la méthode d'analyse fonctionnelle du besoin, toutes ces fonctions ont ensuite été ordonnées, caractérisées et hiérarchisées (cf. annexe III).

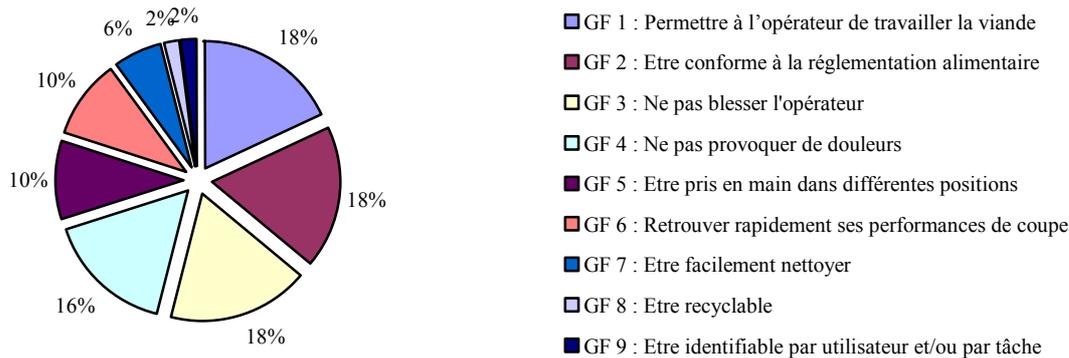


Figure 18 : Groupes fonctionnels identifiés par la démarche d'analyse fonctionnelle

2.3. CONCLUSION SUR L'ANALYSE FONCTIONNELLE

Du fait de son caractère pluridisciplinaire, la démarche d'analyse fonctionnelle permet aux ergonomes de participer à l'élaboration des spécifications du produit à concevoir et de formaliser les attentes en matière d'ergonomie. Cette tâche est facilitée par le fait qu'en plus de la recherche des fonctions, la démarche d'analyse fonctionnelle pose de façon explicite des questions sur ce sujet :

- « *A-t-on des exigences particulières en matière de sécurité ?* »
- « *Le respect de standards, de normes est-il demandé ?* »
- « *Quel genre d'ergonomie est attendue ?* »

Par ailleurs, en laissant ouvert le choix des solutions, l'analyse fonctionnelle permet une meilleure adéquation entre les concepts de solution qui apparaîtront et le besoin exprimé. Enfin, elle structure la réflexion et elle favorise la communication au sein d'un groupe de travail. Ainsi, en plus de la rédaction du CdCF, un des apports de l'analyse fonctionnelle a été de faire dialoguer les différents partenaires du projet (désosseurs, affûteurs, fabricants) et ainsi de trouver des solutions à des problèmes simples mais non énoncés auparavant faute de communication tels que l'altération du pouvoir de coupe du fait du conditionnement en vrac des couteaux après affûtage ou encore de leur séjour prolongé dans les stérilisateurs.

Le formalisme qui a ensuite été retenu pour définir les paramètres de conception permettant de satisfaire les fonctions identifiées est celui du QFD.

3. LE QFD

3.1. PRESENTATION

Dans la perspective de sans cesse s'améliorer, les industries japonaises ont cherché dans les années 70 à optimiser et à rationaliser la conception de leurs produits et de leurs procédés. Les premiers outils méthodologiques utilisés furent les diagrammes de causes à effets pour identifier la demande des clients. En 1972, le chantier de constructions navales de Kobe développa la première matrice « besoins clients/caractéristiques qualité ». Le QFD était né. Le Dr Yoji Akao, un de ses fondateurs, le définit ainsi *"le QFD propose des méthodes spécifiques pour garantir la qualité à chaque étape du procédé de développement des produits, en commençant par la conception. En d'autres termes, il s'agit d'une méthode pour introduire la qualité dès le stade de la conception, afin de satisfaire le client puis de traduire les exigences des clients en objectifs de conception et en points clés qui seront nécessaires pour assurer la qualité en phase de production"* (Akao, 1993).

Introduite en Amérique du nord, puis en Europe dans les années 80, cette méthode connaît depuis un fort développement dans la plupart des pays industrialisés.

L'approche classique du QFD⁶, s'appuie, comme son nom l'indique, sur un déploiement des attentes (besoins) des utilisateurs (les « Quoi ») en paramètres relatifs à la conception et à la fabrication du nouveau produit (les « Comment »). Cela se traduit par une succession de quatre tableaux à deux entrées « Quoi/Comment » permettant d'identifier et de hiérarchiser les corrélations entre ces entrées. La continuité dans la conception est assurée en reprenant les « Comment » d'une matrice pour établir les « Quoi » de la matrice suivante et ainsi de suite (cf. figure 19). On s'assure ainsi que les attentes (besoins) du client sont pris en considération tout au long du développement du produit.

⁶ Approche ASI (American Supplier Institute)

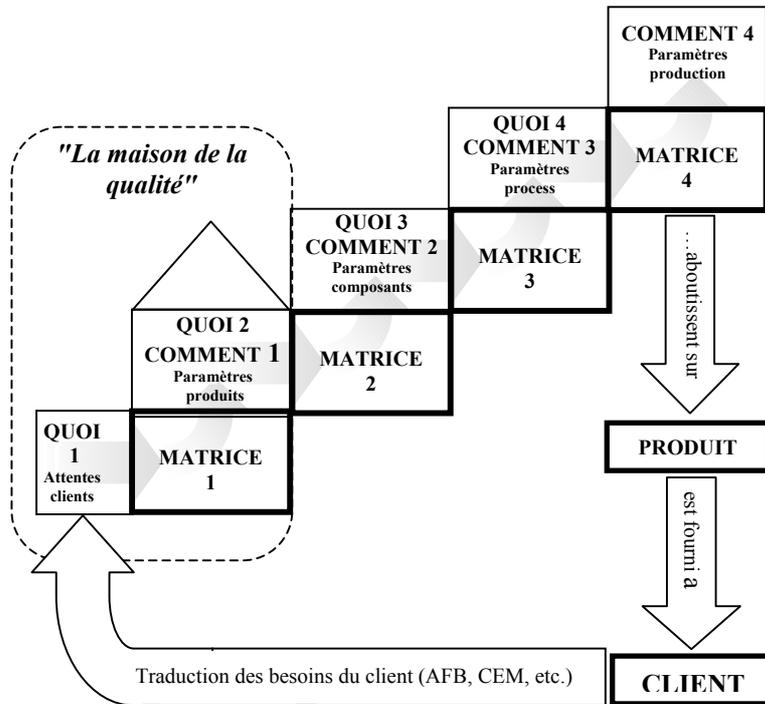
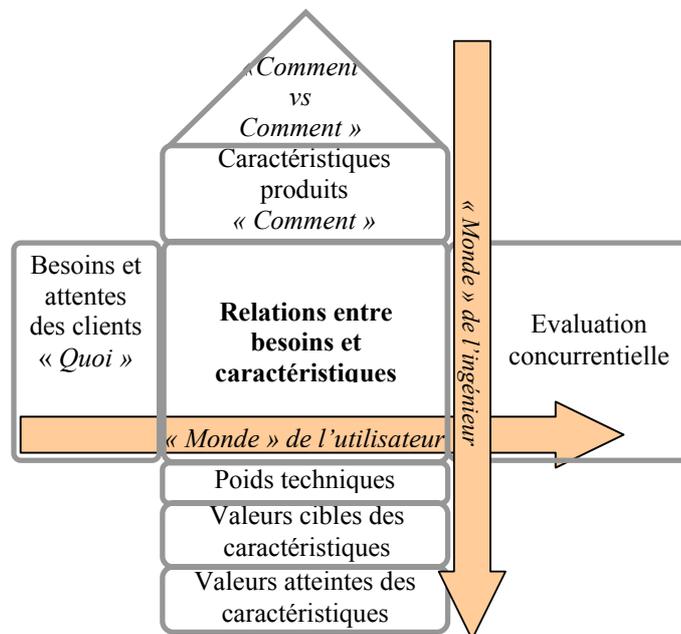


Figure 19 : Enchaînement des matrices de la qualité

En complément des corrélations « Quoi/Comment », le QFD permet d’intégrer, notamment dans la première matrice, des éléments d’analyse de la concurrence et d’identification des synergies et/ou contradictions entre les différentes caractéristiques du produit. Ainsi cette matrice, également dénommée « maison de la qualité » en raison de sa forme (cf. figure 20) présente le double avantage de faciliter le passage entre le monde de l’utilisateur et celui du concepteur et de réunir, sur un seul document, toutes les données utiles aux prises de décision



relatives au développement du produit.

Figure 20 : La maison de la qualité

3.2. APPLICATION DU QFD DANS CEROM

3.2.1. Elaboration de la liste des « Quoi »

L'élaboration de la maison de la qualité (première matrice) suppose que les attentes des utilisateurs (liste des « Quoi ») ont été précédemment identifiées et hiérarchisées à l'aide de différentes techniques (analyse du marché, retour d'expérience, analyse du besoin, analyse du travail, etc.). Ensuite, la méthode QFD permet, par rapport à ces attentes, d'évaluer les produits concurrents existants et de se fixer des objectifs à atteindre pour le produit à concevoir. Cette évaluation se fait par l'attribution d'une note en réponse à la question « *Comment tel produit satisfait à cette attente ?* » :

- 1= très faiblement (ou pas du tout),
- 2=faiblement,
- 3=moyennement,
- 4=fortement,
- 5=très fortement.

Dans le cadre du projet CEROM, cette liste (cf. tableau 1) a été obtenue suite à la démarche d'analyse fonctionnelle du besoin (cf. § 2). L'enquête terrain ayant mis en évidence que les utilisateurs n'attachaient pas d'importance à une marque particulière, il a été décidé de résumer l'analyse concurrentielle à une notation de l'ensemble des couteaux actuels et du couteau à concevoir.

Par rapport à notre problématique, les attentes devant être mieux satisfaites sont évidemment celles relatives à la prévention des risques professionnels (n°3 et 4). Par ailleurs, l'étude terrain et l'analyse fonctionnelle du besoin ont mis en évidence une insatisfaction des utilisateurs par rapport aux performances de coupe (n°1 et 6), à la tenue en main (n°5) et l'identification des couteaux (n°9). Les attentes correspondantes doivent donc également être mieux satisfaites.

n°	Attentes (besoins) identifiés	Poids	Analyse concurrentielle	
			Ensemble des couteaux actuels	Objectif pour le couteau à concevoir
1	Permettre le travail de la viande (coupe, séparation et grattage)	18 %	4	5
2	Etre conforme à la réglementation en hygiène alimentaire	18 %	5	5
3	Ne pas blesser l'opérateur	18 %	4	5
4	Ne pas provoquer de douleur	16 %	3	5
5	Etre pris en main dans différentes positions	10 %	3	5
6	Retrouver rapidement ses performances de coupe	10 %	3	4
7	Etre facilement nettoyer	6 %	3	3
8	Etre recyclable	2 %	3	3
9	Etre identifiable par utilisateur et/ou par tâche	2 %	1	2

Tableau 1 : Liste des besoins relatifs à un couteau de désossage

Cette liste doit être établie avec la plus grande attention car elle est le point de départ de toute la démarche QFD (cf. figure 21). La principale difficulté pour son l'élaboration est liée à la nécessité de ne pas oublier de « Quoi » tout en étant vigilant à ne pas ajouter d'items qui seraient en fait des « Comment ». Ainsi des besoins tels que « *Ne pas générer de points de compression* », « *Ne pas rester dans une position dangereuse au repos* » figuraient dans les premières versions de cette liste. Ils ont été supprimés car ce sont en fait des moyens de satisfaire aux réels besoins qui sont de ne pas provoquer de douleur et de ne pas blesser l'opérateur. Ce type de confusion génère ensuite des difficultés dans l'élaboration des matrices qui deviennent alors vite inexploitables.

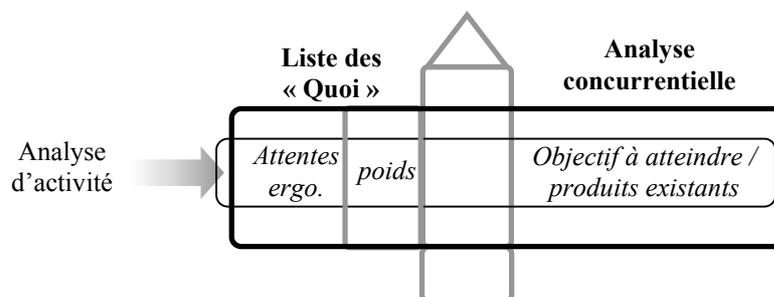


Figure 21 : Intégration des attentes en matière d'ergonomie dans la maison de la qualité

3.2.2. *Elaboration de la liste des « Comment » et établissement des corrélations « Quoi » / « Comment »*

La deuxième étape de l'élaboration de la maison de la qualité consiste à établir la liste des paramètres de conception (liste des « Comment ») qui permettront de satisfaire les attentes précédemment identifiées. Pratiquement, cette liste s'établit en se posant la question « *quels paramètres ou caractéristiques du produit permettent de réaliser ou de satisfaire cette attente ?* ». Cette étape est un des points clés de la méthode QFD car c'est celle qui permet de faire la transition entre ce que veut l'utilisateur et ce que propose le concepteur. A l'intersection d'une ligne relative à une attente et d'une colonne relative à un paramètre de conception figure un symbole traduisant l'intensité de la relation concernée. A chacun de ces symboles est attaché un coefficient (cf. tableau 2) qui permettra la hiérarchisation des paramètres de conception. Ces coefficients sont ceux que l'on retrouve le plus souvent dans la littérature. Ils ont été déterminés par la pratique et bien que leur validité est peu à peu reconnue, ils doivent être considérés comme des coefficients « par défaut d'expérience » (Akaou, 1993). Il appartient ensuite à l'entreprise d'établir ses propres valeurs au fur et à mesure qu'elle acquiert de l'habitude dans la pratique du QFD.

Symboles	Significations	Coefficients (C1)
	Aucun lien	0
▽	Lien possible	1
○	Lien modéré	3
●	Lien fort	9

Tableau 2 : Symboles et valeurs utilisés pour les corrélations « Quoi/Comment »

C'est à ce stade de l'élaboration de la maison de la qualité que les critères ergonomiques sont effectivement intégrés dans le processus de conception du produit (cf. figure 22). Ces critères sont en effet les paramètres qui permettent la satisfaction des attentes en matière d'ergonomie (1). Il est alors possible de les hiérarchiser et de leur fixer des valeurs cibles ou limites (2). La présentation matricielle permet très facilement d'une part, d'évaluer l'impact des critères ergonomiques sur les autres attentes (3) et d'autre part, d'envisager les conséquences d'une modification d'un ou plusieurs paramètres de conception sur les attentes ergonomiques (4).

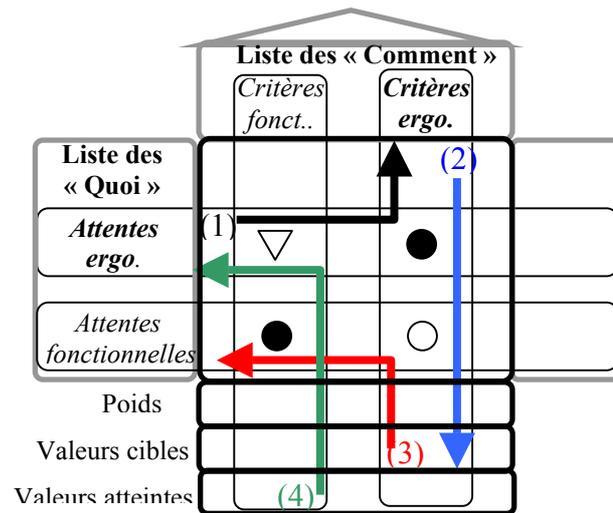


Figure 22: Intégration des critères ergonomiques dans la maison de la qualité

Ainsi, par rapport à la problématique de re-conception d'un couteau de désossage, à l'attente « *ne pas provoquer de douleur* », un des principaux critères identifiés est la forme du manche (corrélation forte). Ces paramètres, est par ailleurs corrélé avec plusieurs autres attentes (cf. annexe IV). De ce fait, il ressort comme étant l'un des plus importants du couteau. Si l'on considère qu'en ergonomie il n'existe pas d'individu moyen (Roussel, 1996), l'idéal pour ce paramètre serait de lui fixer non pas une valeur cible, mais plusieurs, voire une valeur adaptée à chaque individu, afin de tenir compte de la variation des dimensions anthropométriques de la main.

3.2.3. Recherche des interactions entre « Comment »

Cette dernière étape de l'élaboration de la maison de la qualité consiste à comparer deux à deux les différents paramètres de conception. On obtient ainsi une demi-matrice, en forme de « toit » qui permet l'identification des paramètres de conception en synergies (signe +) et contraires (signe -).

Par rapport à notre problématique, l'intérêt de cette matrice triangulaire est de mettre en évidence des conflits potentiels entre des critères ergonomiques et d'autres paramètres de conception au plus tôt dans le processus de développement d'un produit (cf. figure 23). La résolution de ces conflits, par exemple à l'aide de la méthode TRIZ (cf. § 4), évitera la mise en place, en fin de processus de conception, de mesures correctives généralement faites de compromis donc non totalement satisfaisantes.

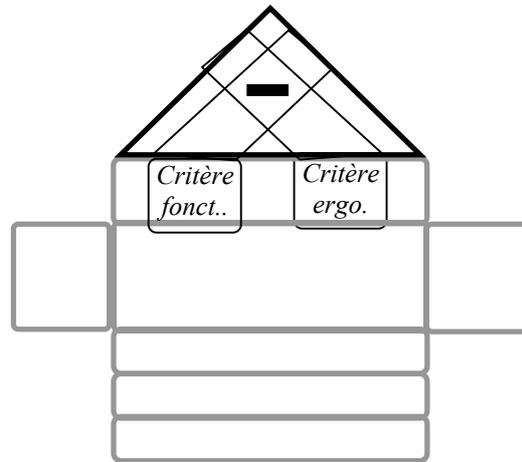


Figure 23 : Identification des conflits potentiels entre paramètres de conception

Par exemple, l'analyse du « toit » de la maison de la qualité du couteau de désossage met en évidence une interaction négative entre la dureté superficielle du manche qui ne doit pas être trop élevée afin de ne pas créer de douleur et la rigidité de la liaison lame/manche qui doit être la meilleure possible (cf. annexe IV).

3.2.4. Recherche et évaluation des concepts .

A ce stade d'élaboration, la maison de la qualité permet au concepteur de rechercher, à l'aide d'outils de créativité et/ou d'innovation spécifiques, différents concepts de produit répondant au mieux aux attentes des utilisateurs. Ces concepts doivent ensuite être évalués afin de retenir celui qui fera l'objet de la deuxième matrice relative à la définition des composants du produit. De façon pratique, cette évaluation est réalisée en indiquant, à l'aide d'un symbole auquel est attaché un coefficient, l'influence de chacun des concepts sur les différents paramètres de conception du produit (cf. tableau 3 et figure 24).

Symboles	Significations	Coefficients (C2)
-	Pire	-1
	Aucune	0
+	Meilleur	1
*	Excellent	2

Tableau 3: Symboles et valeurs utilisés pour la pondération des concepts de produits

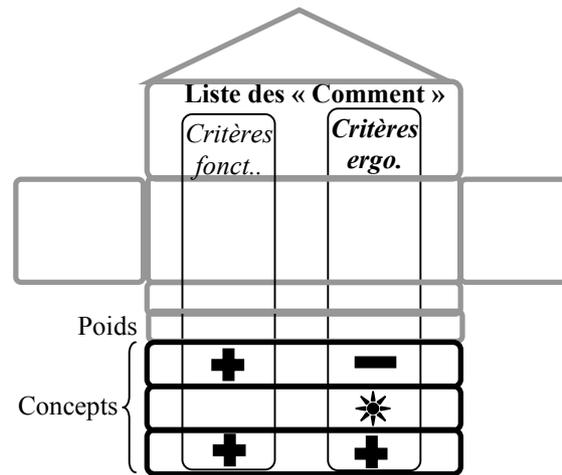


Figure 24 : Evaluation des concepts à l'aide de la maison de la qualité

La maison de la qualité relative au couteau de désossage illustre la comparaison de cinq concepts différents pour un couteau de désossage ; un couteau à lame interchangeable, une gamme de couteau avec différents tailles de manches, une lame alvéolée, un manche bimatière et un couteau énergisé (cf. annexe IV).

3.3. CONCLUSION SUR LE QFD

La validité de la méthode QFD, pour faire le lien entre les attentes des clients et la définition du produit, étant aujourd'hui de plus en plus reconnue, on peut affirmer que cet outil méthodologique est capable de répondre à la problématique de l'intégration de l'ergonomie à la conception des produits (*Haapalainen et coll., 2000*). En effet, comme le montrent les précédents paragraphes, en partant d'une analyse d'activité, l'ergonome sera à même :

- d'intégrer les attentes en matière de d'ergonomie dans la liste des « Quoi »,
- de participer à l'établissement de la liste des « Comment » en y intégrant les critères ergonomiques nécessaires,
- de contribuer à la détermination des différents degrés de corrélations relatifs aux attentes et/ou aux critères ergonomiques,
- d'identifier les possibles contradictions entre ces critères ergonomiques et d'autres paramètres de conception (« toit de la maison »),
- d'identifier le concept de solution parmi ceux proposés répondant le mieux aux attentes en matière d'ergonomie,
- d'envisager les conséquences d'une modification d'un paramètre de conception quelconque sur les attentes en matière d'ergonomie.

En réunissant de façon visuelle l'ensemble des données utiles aux prises de décision relatives à la conception d'un produit, les matrices du QFD peuvent être considérées comme des référentiels communs favorisant la communication entre les différents acteurs de la conception. De ce fait, la méthode QFD s'intègre parfaitement dans une démarche d'ingénierie concourante (Tsuda et coll., 1995 ; Sivaloganathan et coll., 1995).

Par ailleurs, dans un processus de conception itératif, la maison de la qualité peut être reconnue comme étant une maquette graphique du produit permettant la validation par tous les acteurs des phases d'expression des besoins et de spécification. Elle joue un rôle similaire aux maquettes numériques et/ou aux prototypes pour la validation des autres phases (cf. figure 25).

L'élaboration des matrices QFD présente néanmoins certaines difficultés. La principale consiste, dans un souci d'exhaustivité, à créer d'énormes matrices qui deviennent alors vite inexploitable. Il est donc très important d'établir des priorités sur les éléments devant être déployer. Une deuxième difficulté est liée à la manipulation de ces matrices conjuguée à la nécessité de les faire vivre. En effet, en tant que support de communication, elles doivent être régulièrement mises à jour sous peine de devenir rapidement obsolètes. L'utilisation d'outils informatiques est une aide efficace dans ce domaine.

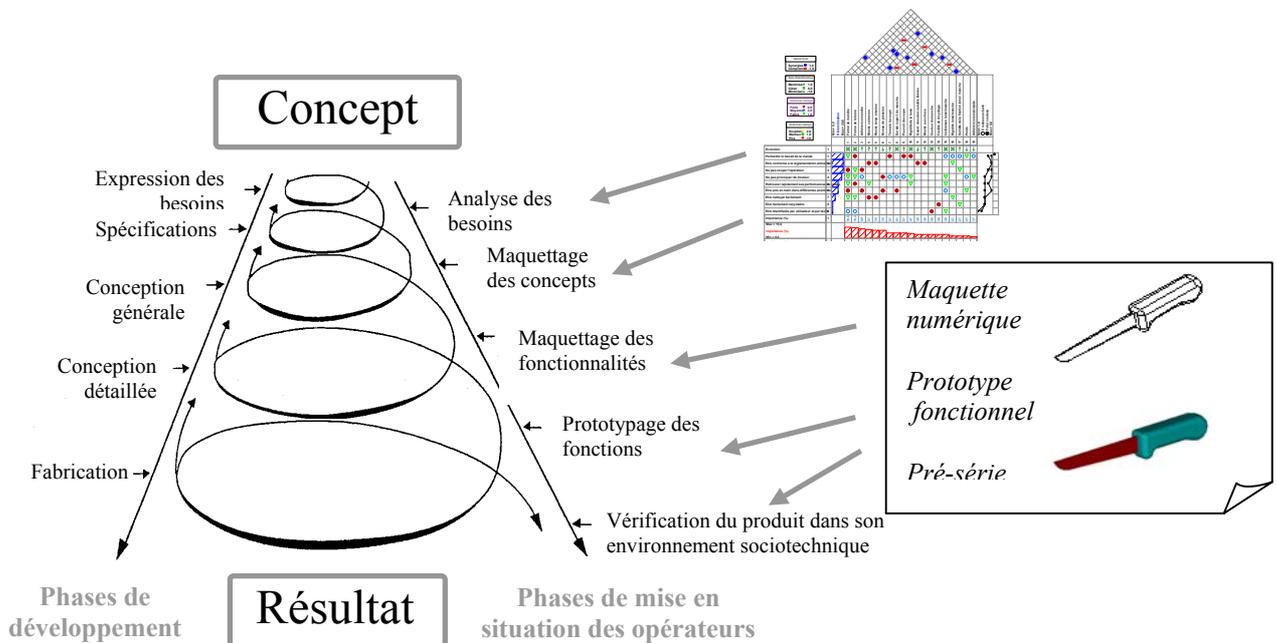


Figure 25 : Maison de la qualité et processus de développement itératif.

4. TRIZ

4.1. PRESENTATION

TRIZ est un acronyme russe signifiant « Théorie de la Résolution des Problèmes d'Innovation ». Cette théorie, développée par Genrich Altshuller à partir de 1946 dans l'ex-URSS, a pour objectif d'aider les inventeurs et plus généralement les ingénieurs à résoudre méthodiquement des problèmes technologiques (*Altshuller, 1999*). Au début des années 1990, du fait de l'expatriation de spécialistes russes, cette méthode arrive en Europe et aux Etats Unis où elle connaît un très fort développement notamment du fait de son informatisation. Cette méthode intègre plusieurs familles d'outils qui aident le concepteur à reformuler son problème d'innovation en termes de contradictions. Elle l'oriente ensuite vers des solutions génériques qui ont permis de résoudre des problèmes similaires. La transposition de ces modèles de solution en solutions effectives au problème posé reste toujours du domaine de la créativité du concepteur (cf. figure 26).

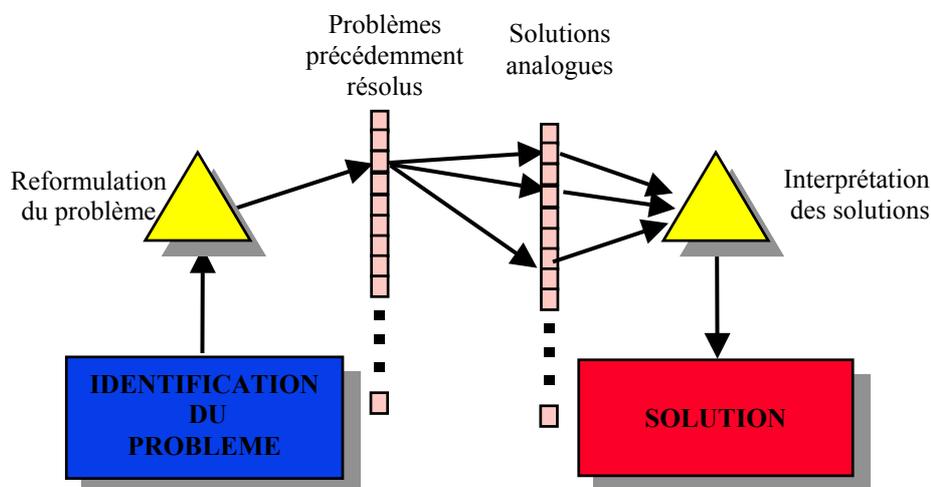


Figure 26 : Illustration de la résolution d'un problème par TRIZ (*Mazur, 1995*)

En fonction de la complexité du problème d'innovation et/ou des compétences des concepteurs dans l'utilisation de la méthode TRIZ, ces outils peuvent être utilisés indépendamment les uns des autres ou suivant un algorithme dénommé ARIZ⁷. Pour en savoir plus sur cette méthode TRIZ et son algorithme associé ARIZ nous recommandons au lecteur de se reporter aux références bibliographiques (*Altshuller, 1996 ; Cavalucci, 1999*).

⁷ Acronyme russe pour « Algorithme pour la Résolution des Problèmes Inventifs »

TRIZ se distingue des autres méthodes de créativité par son approche fonctionnelle des problèmes d'innovation. En effet, les méthodes traditionnelles de créativité sont essentiellement basées sur des approches psychologiques de groupe (brainstorming, synectique, essais/erreurs, etc.) qui sont, du fait de leur caractère aléatoire, généralement peu efficace pour la résolution de problèmes d'innovation technologique (Cogu, 1999 ; Zusman et coll. 1999).

Une des notions de base de la théorie TRIZ, le Résultat Idéal Final (RIF), est de diriger la réflexion des concepteurs vers des solutions rejetant les compromis. Il s'agit d'imaginer, en faisant abstraction des réalités technologiques, ce que pourrait être un système où les fonctions utiles sont maximisées et les fonctions nuisibles minimisées. Bien entendu l'atteinte de ce résultat idéal final est souvent utopique mais cette notion, qui est proche de celle de l'analyse fonctionnelle du besoin, nécessite un premier travail d'identification des fonctions nuisibles, donc des fonctions génératrices de risques pour les personnes. Elle n'est cependant pas suffisante pour indiquer au concepteur dans quelles directions rechercher une solution.

La méthode TRIZ requiert ensuite un deuxième travail de formulation de ces fonctions nuisibles sous forme de contradictions, qu'elles soient physiques ou techniques, avec des fonctions utiles :

- la **contradiction physique** apparaît lorsque l'on demande à un même paramètre deux caractéristiques contradictoires. Ce type de contradiction souligne le caractère à priori insoluble d'un problème. Par exemple un manche de couteau doit être à la fois « dur » pour assurer une liaison rigide avec la lame et « souple » pour permettre un maintien plus confortable.
- la **contradiction technique** est générée lorsque deux paramètres d'un système s'opposent, l'amélioration de l'un entraînant la détérioration de l'autre. Ce peut être le cas, par exemple, de la tenue à la coupe et du pouvoir de coupe initial de la lame d'un couteau.

Ces deux types de contradictions peuvent ensuite être efficacement résolus par l'utilisation, de façon indépendante ou combinée, des différents outils de la méthode TRIZ (cf. figure 27).

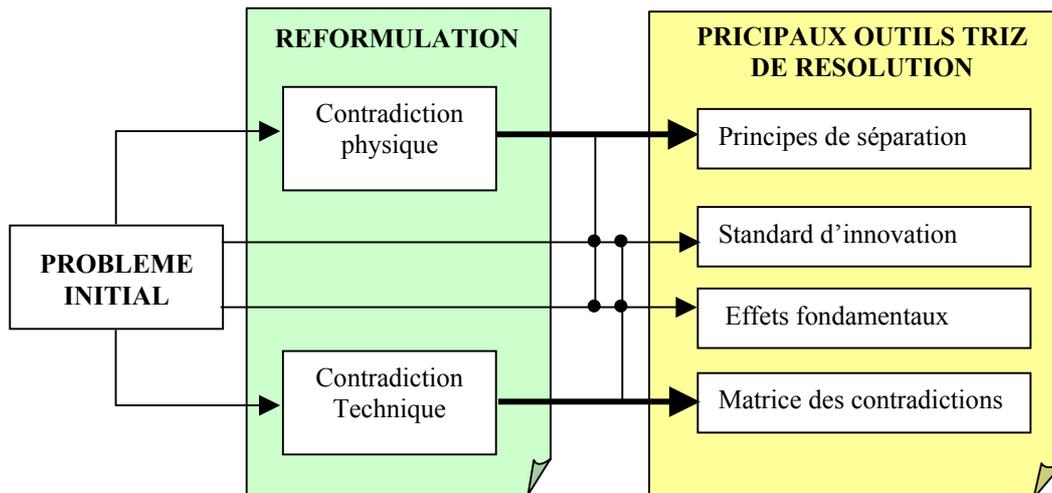


Figure 27 : Principaux outils TRIZ pour la résolution de problèmes techniques

Remarque :

Les outils « principes de séparation » et « matrice des contradictions » sont respectivement dédiés à la résolution des contradictions physiques ou techniques. Les deux outils « standards d'innovation » et « effets fondamentaux » sont plus particulièrement utilisés pour la réalisation et/ou l'amélioration d'une fonction donnée. Ils ne nécessitent donc pas obligatoirement une formulation en terme de contradiction.

4.1.1. L'outil « Matrice des contradictions »

Cette matrice est l'outil privilégié pour la résolution des contradictions techniques. Elle est issue d'un double constat fait par Altschuller sur le nombre limité des paramètres standards (39) utilisés par les inventeurs pour décrire les contradictions techniques et sur le nombre également limité (40) des principes fondamentaux utilisés pour résoudre ces contradictions⁸. Il était alors possible de représenter ces contradictions sous la forme d'une matrice 39x39 où est (sont) indiqué(s) pour chacune d'elles le(s) principe(s) utilisé(s) pour les résoudre. L'inventivité du concepteur intervient alors dans l'interprétation de ce principe générique à son problème particulier.

⁸ Ce ne sont en aucun cas des limites absolues mais des valeurs asymptotiques qui semblent avoir été atteintes.

4.1.2. L'outil « Principe de séparation »

Le principe de séparation est une technique adaptée à la résolution des contradictions physiques. Il s'agit de séparer, dans le temps, dans l'espace ou par un facteur d'échelle, les caractéristiques contradictoires demandées à un paramètre.

Si l'on reprend l'exemple de l'énergie d'une machine qui doit être élevée pour transformer un produit et faible pour ne pas blesser un opérateur, l'application de ce principe de séparation permet, entre autre, de retrouver les principales techniques de prévention actuellement pratiquées :

- séparation dans l'espace ; protection par éloignement, mise en place d'écran matériel ou immatériel de protection, utilisation de télécommande, etc.,
- séparation dans le temps ; arrêt de la machine ou passage en vitesse lente lors de l'intervention des opérateurs, etc.,
- séparation par effet d'échelle ; utilisation d'asservissement pour limiter la fatigue des opérateurs, etc.,
- séparation par transition vers un sous/sur système ; utilisation d'éléments jetables par exemple.

4.1.3. L'outil « Effets fondamentaux »

Comme son nom l'indique, l'outil «effets fondamentaux » est une gigantesque base de données, regroupant l'ensemble des effets physique, chimique, mécanique, électrique, ...connus et classifiés en fonctions (absorber une énergie thermique, détecter un champ électrique, changer une énergie, etc.).

L'objectif de cette base de données est de faire sortir le concepteur de son propre champ de connaissance pour résoudre un problème donné. En effet, après avoir analysé plus de 200 000 brevets d'invention, Altschuller avait déduit que plus de 90 % des problèmes auxquels sont confrontés les concepteurs ont déjà été résolus auparavant dans d'autres entreprises et/ou domaines d'activité. Depuis sa création par Altschuller dans les années 50, cette base de données s'est fortement développée du fait de son informatisation. Elle compte à ce jour environ 1800 effets, illustrés par plus de 4000 exemples d'applications et elle est sans cesse complétée.

En proposant de multiples alternatives pour la réalisation d'une fonction, cette base de données est un outil adapté à la recherche de mesures de prévention.

4.1.4. L'outil « Standards d'innovation »

L'utilisation de cet outil permet de rechercher des alternatives à la réalisation d'une fonction insuffisamment satisfaite ou générant des effets indésirables. Il nécessite au préalable une modélisation de cette fonction sous la forme substance/champ. Tel que défini dans la méthode TRIZ, un modèle « substance/champ » est composé de deux entités, dont le degré d'abstraction est fixé par le concepteur en fonction du problème à résoudre, sur lesquelles interagît un champ. Celui-ci représente le principe physique support de la fonction à améliorer entre les deux substances (mécanique, thermique, acoustique, électrique, ...) (Souchkov, 1998). Ce modèle « substance/champ » doit ensuite être transformé pour aboutir à un nouveau modèle « substance/champ » où la fonction est optimisée. Les standards d'innovation représentent les différentes façons génériques de réaliser ces transformations. Ils sont à ce jour au nombre de 76 (Terninko, 2000).

4.2. APPLICATION DE TRIZ DANS CEROM

Dans le cadre du projet CEROM, l'utilisation de TRIZ a été limitée à la recherche de solutions technologiques pour résoudre les contradictions mises en évidence lors de l'établissement du « toit » de la maison de la qualité (cf. § 3.2.3).

Trois contradictions ont été étudiées, ce sont celles ;

- entre la dureté superficielle du manche qui ne doit pas être trop élevée afin de ne pas créer de douleur et la rigidité de la liaison lame/manche qui doit être la meilleure possible,
- entre le pouvoir de coupe initial et la tenue à la coupe qui doivent être les plus élevées possible,
- entre la solidité de la fixation lame/manche qui doit être la plus grande possible et la facilité de recyclage qui suppose une séparation possible du manche et de la lame.

4.2.1. Dureté superficielle du manche / rigidité de la liaison manche/lame

Comme rappelé précédemment, la méthode TRIZ requiert une formulation sous forme de contradictions de la fonction nuisible avec la fonction utile « *le manche doit être à la fois souple pour ne pas créer de douleur et dur pour maintenir de façon rigide la lame* ». C'est une contradiction de type « physique ».

Pour résoudre ce type de contraction TRIZ préconise l'utilisation du «*Principe de séparation*»; séparation dans l'espace, dans le temps ou par transition vers un sous système. Pour ce qui est de la séparation dans l'espace, 7 principes fondamentaux sont proposés (cf. tableau 4).

N°	Titre	Description
1	Segmentation	<ul style="list-style-type: none"> • Diviser un objet en pièces indépendantes. • Faciliter le désassemblage d'un objet. • Accroître le degré de fragmentation (ou segmentation) d'un objet.
3	Qualité totale	<ul style="list-style-type: none"> • Faire passer la structure d'un objet, un environnement ou une influence externe d'un état homogène à un état hétérogène. • Amener chaque partie fonctionnelle de l'objet dans les conditions de fonctionnement appropriées. • Amener chaque partie de l'objet à remplir une fonction utile et différente.
4	Asymétrie	<ul style="list-style-type: none"> • Remplacer la forme symétrique d'un objet par une forme asymétrique. • Accroître son degré d'asymétrie.
7	« Poupées russes »	<ul style="list-style-type: none"> • Placer les objets en série les uns dans les autres. • Faire passer un élément dans une cavité d'un autre.
17	Changement de dimension	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacer un objet dans un espace bidimensionnel ou tridimensionnel. • Utiliser un assemblage multicouches d'objets plutôt qu'un assemblage monocouche. • Incliner ou réorienter l'objet, le poser sur le côté. • Utiliser l'autre face d'une surface donnée.
24	Intermédiaire	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser un objet ou un procédé intermédiaire. • Combiner provisoirement un objet à un autre (opération facilement réversible).
26	Copie	<ul style="list-style-type: none"> • Remplacer un objet cher par un ensemble d'autres objets bon marché, en renonçant à certaines de ses qualités (comme la durée de l'action par exemple).

Tableau 4 : Principes de séparation dans l'espace

L'analyse de ce tableau (*diviser un objet en pièces indépendantes, placer les objets en série les uns dans les autres, utiliser un assemblage multicouches d'objets plutôt qu'un assemblage monocouche, utiliser un objet ou un procédé intermédiaire*) nous a rapidement conduit à envisager **le cas d'un manche bimatière** (cf. figure 28).

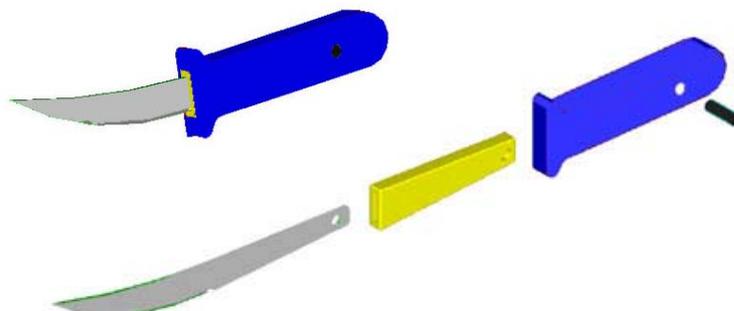


Figure 28 : Illustration du concept de manche bimatière

4.2.2. Pouvoir de coupe / tenue à la coupe

Pour la résolution de cette contradiction, nous avons utilisé d'une part l'outil « *Matrice des contradictions* » et d'autre part le « *Principe de séparation* ».

Cette contradiction peut en effet être formulée comme une contradiction technique entre deux paramètres de conception ; le pouvoir de coupe et la tenue à la coupe. Dans ce cas, le paramètre à améliorer est, selon la taxinomie établie par Altschuler, « *résistance* », et celui se détériorant « *facilité d'utilisation* » (cf. tableau 5).

Cette contradiction peut également être formulée comme une contradiction physique. En effet, le pouvoir de coupe initial et la tenue à la coupe étant essentiellement conditionnés par l'angle d'affûtage, elle peut s'exprimer de la sorte « *l'angle d'affûtage doit à la fois être faible pour un bon pouvoir de coupe initial et élevé pour une bonne tenue à la coupe* »

N°	Titre	Description
<i>Principes proposés par la matrice des contradictions »</i>		
1	Segmentation	<ul style="list-style-type: none"> • Diviser un objet en pièces indépendantes. • Faciliter le désassemblage d'un objet. • Accroître le degré de fragmentation (ou segmentation) d'un objet.
27	Ephémère et bon marché	<ul style="list-style-type: none"> • Remplacer un objet cher par un ensemble d'autres objets bon marché, en renonçant à certaines de ses qualités (comme la durée de l'action par exemple).
<i>Principes proposés par le « principe de séparation »</i>		
27	Ephémère et bon marché	<ul style="list-style-type: none"> • Remplacer un objet cher par un ensemble d'autres objets bon marché, en renonçant à certaines de ses qualités (comme la durée de l'action par exemple).
11	Protection préliminaire	<ul style="list-style-type: none"> • Compenser le manque de fiabilité de l'objet par des contre-mesures prises à l'avance.
3	Qualité totale	<ul style="list-style-type: none"> • Faire passer la structure d'un objet, un environnement ou une influence externe d'un état homogène à un état hétérogène. • Amener chaque partie fonctionnelle de l'objet dans les conditions de fonctionnement appropriées. • Amener chaque partie de l'objet à remplir une fonction utile et différente.

Tableau 5: Principes proposés par TRIZ

L'analyse de ce tableau (*diviser un objet en pièces indépendantes, faciliter le désassemblage d'un objet, remplacer un objet cher par un ensemble d'autres objets bon marché, amener chaque partie de l'objet à remplir une fonction utile et différente*) nous a rapidement conduit à envisager **le cas d'une lame démontable et/ou jetable** (cf. figure 29).

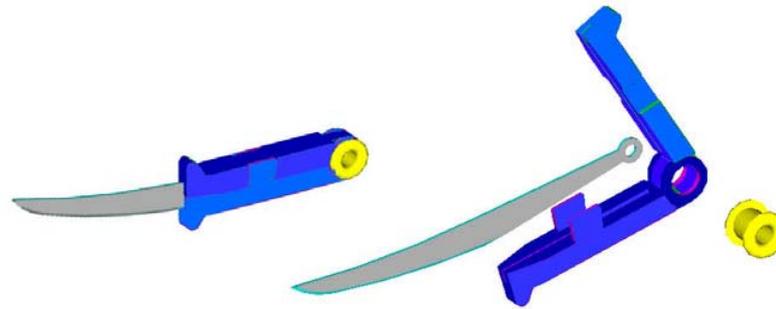


Figure 29 : Illustration du concept de lame démontable

4.2.3. *Facilité de recyclage / solidité de la liaison manche/lame*

Pour la résolution de cette contradiction technique entre deux paramètres de conception, nous avons utilisé l’outil «*Matrice des contradictions*». Le paramètre à améliorer est dans ce cas «*facilité de réparation*». Pour ce qui est du paramètre se détériorant nous en avons retenus deux «*résistance*» «*fiabilité*». On retrouve parmi les principes proposés celui de segmentation donc d’un concept de couteau à lame facilement démontable (cf. tableau 6).

		Paramètres de conception se détériorant	
		« <i>Fiabilité</i> »	« <i>Résistance</i> »
Paramètre de conception à améliorer	« <i>Facilité de réparation</i> »	- Segmentation. - Action préliminaire. - Protection préliminaire. - Action partielle ou excessive.	- Segmentation - Extraction. - Action inverse préliminaire. - Protection préliminaire.

Tableau 6: Extrait de la matrice des contradictions

L’analyse de ces trois contradictions à l’aide de l’outil méthodologique TRIZ conduit à envisager un concept d’assemblage lame/manche de couteau, permettant à la fois, un assemblage robuste et sans jeu et à l’inverse, un découplage rapide et aisé. Il doit aussi interdire le démanchement intempestif de la lame en cours de travail ou en situation transitoire.

Un autre intérêt de ce principe est de favoriser l’adaptation des manches aux caractéristiques anthropométriques de la main et de faciliter le choix des lames en fonction des tâches à effectuer. D’autres avantages sont également attendus :

- une meilleure précision dans les opérations d’affûtage des lames car le manche et notamment la garde des couteaux monoblocs actuels, occasionne une gêne pour un positionnement précis de la lame,
- un recyclage plus aisé,

- une plus grande facilité de personnalisation et d'identification des couteaux en jouant sur la couleur et/ou le marquage des manches.

4.3. CONCLUSION SUR TRIZ

Comme rappelé dans le § 1.2.2, les solutions techniques proposées par les concepteurs pour intégrer les exigences ergonomiques sont très souvent faites de compromis et de ce fait ne les satisfont qu'en partie.

Une des notions de base de la théorie TRIZ, est justement de diriger la réflexion des concepteurs vers des solutions rejetant les compromis. Il s'agit d'identifier les fonctions utiles et nuisibles du système puis de les exprimer sous forme de contradictions physiques ou techniques. Ces deux types de contradictions peuvent ensuite être efficacement résolues par l'utilisation, de façon indépendante ou combinée, des différents outils de la méthode TRIZ

L'utilisation de la méthode TRIZ présente néanmoins certaines limites et/ou difficultés (*Cavalucci et coll., 1998 ; Kowalick, 1999*). En ce qui concerne les outils TRIZ cités dans cet article, ces difficultés sont essentiellement dues au fait que les paramètres de conception définis par Altschuler sont très génériques et de ce fait la modélisation d'un problème particulier est parfois difficile à réaliser. Il en est de même pour l'interprétation des modèles de solution en une solution particulière.

En proposant de nombreux exemples abondamment commentés et illustrés, les différents logiciels⁹ qui supportent cette méthode sont une aide efficace pour surmonter ces difficultés. Ils permettent également de gérer la base de données « Effets fondamentaux » indissociable de la méthode TRIZ. L'intégration de principes de prévention et/ou d'exemples d'application de ces principes dans cette base de données serait un facteur important pour faciliter la prise en compte des mesures de prévention à la conception.

⁹ Les deux principaux éditeurs de ces logiciels sont les sociétés «*Invention Machine* » et «*Ideation* »

5. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La volonté d'améliorer la conception des outils à mains a toujours existé, mais cette notion a évolué en fonction des progrès techniques et des changements d'organisation de la production. Lors de la révolution industrielle, la conception des outils à mains reposait essentiellement sur des critères techniques afin d'améliorer leur partie opérante. L'évolution du contexte socio-technique et l'accroissement du nombre de TMS, ont peu à peu amené les concepteurs d'outils à mains à prendre conscience de la nécessité d'intégrer des critères ergonomiques afin de les rendre moins sollicitant pour les opérateurs.

Afin de définir quelles sont les méthodes de conception favorisant l'intégration de l'ergonomie, nous avons dans un premier temps proposé une vision générique d'une méthode de conception. Nous avons ensuite exposé les principales approches industrielles de la conception de produit (ingénierie concurrente ou séquentielle ; cycle de vie linéaire ou itératif, etc.) et nous avons, pour chacune d'elles, mis en évidence les moments et les types d'intervention proposés aux ergonomes.

Une première difficulté de l'intégration de l'ergonomie lors de la conception est liée à ce que l'on appelle le paradoxe de l'ergonomie de conception : « *...pour dire quelque chose de réellement fondé sur une situation de travail, il faut attendre qu'elle soit complètement conçue, mais alors il sera trop tard pour intervenir dans la conception* » (Theureau et coll., 1984). Cette difficulté ne peut être surmontée que par un processus de conception itératif permettant la validation de chacune des phases de développement du produit par l'ensemble des acteurs de la conception. Ce phénomène d'itération est très souvent perçu comme un aléa, une perturbation de la conception « *on s'est trompé alors on recommence* » alors que c'est une des caractéristiques fondamentales de l'activité de conception et de ce fait, il doit être intégré dans la méthode de conception (Vadcard, 1996 ; Prost, 1992).

A défaut du produit final qui est par définition absent puisqu'il est en cours de conception, seuls des prototypes, sont capables de matérialiser le futur produit à l'esprit des concepteurs. Les techniques de prototypage rapide qui sont maintenant parvenues à maturité favorisent grandement ce type de démarche itérative. En permettant d'intégrer physiquement l'utilisateur dans le cycle de conception, la réalité virtuelle ouvre de nouvelles possibilités dans ce domaine (Ciccotelli, 2002).

Une deuxième difficulté est liée au manque, voire à l'absence, de communication les acteurs directement concernés par les différentes phases de la conception (bureau d'études, méthodes, fabrication..) et ceux, des disciplines « carrefours » qui relèvent des sciences du comportement comme l'ergonomie. En tant que dispositif organisationnel permettant d'améliorer la communication en mettant en avant la coopération comme principe de coordination entre acteurs, l'ingénierie concourante et aujourd'hui reconnue comme favorisant l'intégration de l'ergonomie. L'apparition de nouvelles technologies informatiques, l'amélioration des réseaux de communication font émerger des possibilités nouvelles dans le domaine de la conception ; la conception collaborative. Elle permet aux différents acteurs d'un projet de fonctionner en ingénierie concourante sans pour autant partager physiquement le même lieu de travail (notion de plateau projet virtuel).

En tant qu'instrument d'échange d'informations, les objets intermédiaires de conception ont également un rôle prépondérant dans la communication et la coordination entre ergonomes et spécialistes de l'ingénierie. Il est donc nécessaire qu'ils soient eux-mêmes « ergonomiques ». Pour cela, ils doivent concerner le contenu même du futur produit. Plus ce contenu sera fort, par exemple à l'aide de prototype (réel ou virtuel) meilleure sera la communication et la coopération entre acteurs.

Enfin, pour le choix des outils de conception, nous nous sommes appuyés sur la classification établie par Vadcard pour aider les concepteurs dans leur programmation. L'interdisciplinarité et la communication étant, comme nous venons de le voir, deux conditions nécessaires pour favoriser l'intégration de l'ergonomie, nous avons naturellement porté notre intérêt sur les outils « pluridisciplinaires » par rapport aux outils « métiers ».

Nous en avons ensuite présenté trois au travers de leur mise en œuvre dans le projet CEROM ; l'analyse fonctionnelle du besoin, le QFD et TRIZ.

La démarche d'analyse fonctionnelle permet aux ergonomes de participer à l'élaboration des spécifications du produit à concevoir et de formaliser les attentes en matière d'ergonomie. Nous avons ensuite retenu la méthode QFD pour faire le lien entre ces attentes et la définition des paramètres de conception produit. En réunissant de façon visuelle l'ensemble des données utiles aux prises de décision relatives à la conception d'un produit, les matrices du QFD peuvent être considérées comme des référentiels communs favorisant la communication entre les différents acteurs de la conception. De ce fait, la méthode QFD s'intègre parfaitement dans

une démarche d'ingénierie concourante. Par ailleurs, dans un processus de conception itératif, la maison de la qualité peut être reconnue comme étant une maquette graphique du produit permettant la validation par tous les acteurs des phases d'expression des besoins et de spécification. Elle joue un rôle similaire aux maquettes numériques et/ou aux prototypes pour la validation des autres phases.

Enfin pour aider les concepteurs à résoudre les compromis mis en évidence par le QFD entre certains paramètres fonctionnels et des critères ergonomiques, nous avons retenu la méthode de créativité TRIZ. Cette méthode se distingue des autres méthodes de créativité par ses outils spécifiques pour la recherche de solutions techniques rejetant les compromis entre des paramètres de conception et par son approche fonctionnelle des problèmes d'innovation.

Ces trois outils méthodologiques, AFB, QFD et TRIZ peuvent donc être enchaînés de façon logique (cf. figure 30). Ils permettent ainsi une formalisation du processus global de conception (Terninko, 1997 ; Wu, 1997 ; Leon et coll., 1998 ; Cavallucci et coll., 1998 ; Martin et coll., 1999).

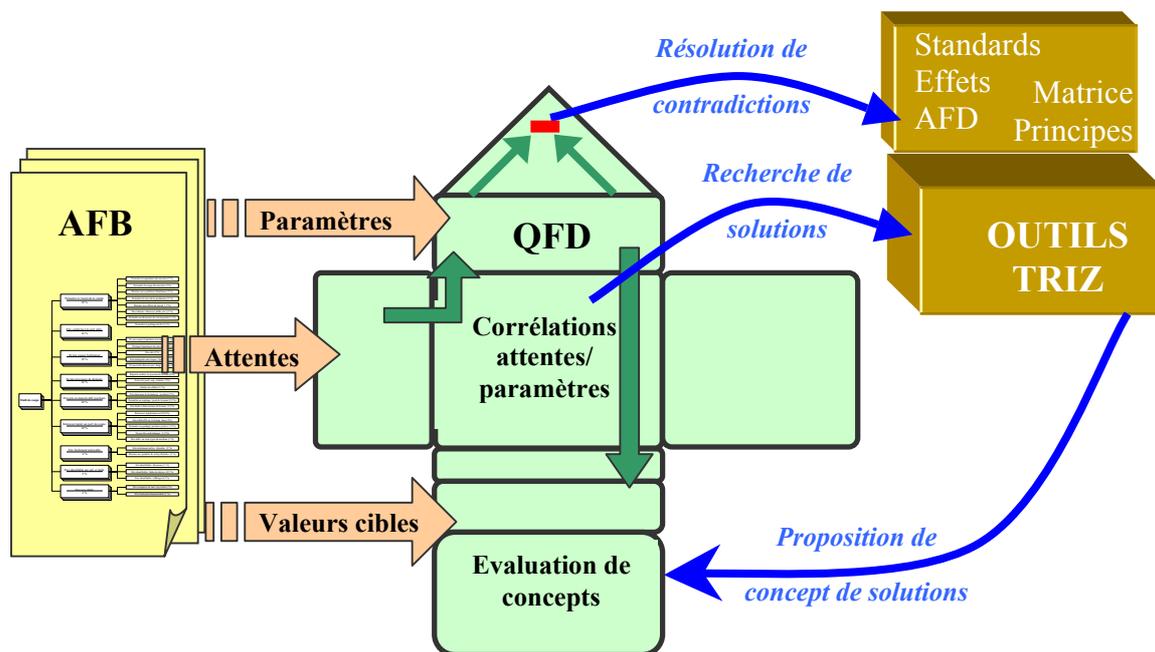


Figure 30 : Enchaînement logique AFB/QFD/TRIZ

6. Bibliographie

- ACOME - *"Ergonomie des outils à main : Problématique et état de l'art"* - Laboratoire d'Aide à la Conception d'Outils à Main Ergonomiques - Service de Physiologie Environnementale – Les Notes Scientifiques et Techniques de l'INRS N°168, Vandoeuvre, 02/98, 147 p.
- AFAV - *"Exprimer le Besoin - Application de la démarche Fonctionnelle"* - AFNOR, Paris, 1989, ISBN 2-12-476911-1, 372 p.
- AFAV - *"Qualité en conception : La rencontre besoin - Produit - Ressources"* - AFNOR, Paris, 1997, ISBN 2.12470.911.9, 280 p.
- AFCIQ / AFQ - *"Guide des outils de la qualité"* - AFCIQ Association Française pour la Qualité - Paris – 1990.
- AKAO Y. - *"QFD - Prendre en compte les besoins du client dans la conception du produit"* - AFNOR, Paris, 1993, ISBN 2-12-468311-X, 349 p.
- ALTSCHULLER G. – *"And Suddenly the Inventor Appeared"* – Technical Innovation Center, INC. – Worcester, Massachusetts, 1996, ISBN 0-9640740-2-83, 171 p.
- ALTSCHULLER G. – *"The Innovation Algorithm – TRIZ, systematic innovation and technical creativity"* – Technical Innovation Center, INC. – Worcester, Massachusetts, 1999, ISBN 0-96407404-4, 312 p.
- AOUSSAT A. *"La pertinence en innovation : nécessité d'une approche plurielle"* Thèse de doctorat, ENSAM, 1990
- APTEL M. - *"Etude dans une entreprise de montage d'appareils électroménagers des facteurs de risque professionnels du syndrome du canal carpien"* - Documents pour le Médecin du Travail n°54, 2^{ème} trimestre 1993, pp. 149-164.
- APTEL M., CICCOTELLI J., CLAUDON L., DONATI P., MARSOT J. – *"Rapport d'étude d'instruction du projet CEROM"* – INRS, Vandoeuvre, 1998, 34 p.
- ARMSTRONG T. J., FOULKE J.A., JOSEPH B.S., GOLDSTEIN S. A. - *"Investigation of cumulative trauma disorders in a poultry processing plant"* - American Industrial and Hygiene Association Journal, 43, 1982, pp; 103-116.
- ATLAS COPCO - *"L'ergonomie des machines portatives"*, ADE Trick, Helsinburg, Sweden, ISBN 91-630-5217-2, 1998, 180 p.
- BASCOUL C. - *"Pour une conception mécanique assistée par ordinateur"* – 4^{ème} colloque sur la conception Mécanique Intégrée, PRIMECA, La Plagne, 3-5 avril 1999.
- BERNARD A. *"Développement rapide de produit : élaboration de prototype"* pp. 245-268 - dans *"Conception de produits mécaniques"*, HERMES, Paris, 1998, ISBN 2 86601 694 7, 575 p.

BOUAZIZ N. - " *Méthodologie et application de la « Maison de la Qualité de la méthode QFD* " Rapport de stage, UTBM 3^{ème} année, 02/2001, IET-S/01/DT009, 75 p.

BONNEVIE L., CICCOTELLI J., MARSOT J. " *Ingénierie de conception et ergonomie : méthodes, outils et propositions d'actions pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de développement des outils à mains* " Rapport de interne INRS n° 467.616/JCl, 1998, 76 p.

BRETON J. " *Les facteurs de réussite commerciale d'un nouveau produit* " – revue de thèse,- Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers - mai 1996, Paris.

CAVALUCCI D. - " *Etat de l'art, Limites et perspectives d'évolution de TRIZ* " - Les Rencontres de l'AFAV, septembre 1999, 20p.

CAVALUCCI D. –LUTZ P. - " *Beyond TRIZ limits* " – <http://www.triz-journal.com/archives/98mar/98mar-article4/98mar-article4.htm>, 8 p.

CEREZUELA C. - " *Contribution à l'élaboration de méthodes et d'outils d'aide à la conception et à la fabrication dans une perspective d'ingénierie concourante : Le cas du câblage électrique* " - Thèse de doctorat en Productique et Informatique - Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille III, Octobre 1996, 176 p.

CICCOTELLI J. – « *Réalité virtuelle, une aide à la décision pour la conception de systèmes sûrs* », Actes du 13^{ème} colloque national de fiabilité et de maintenabilité, 19-21 mars 2002, Lyon, pp. 54-57.

CLAUDON L. - " *Ergonomic Hand Tool Design : Interview of users* " – ERGON-AXIA' 2000 : Second International Conference on Ergonomics and Safety for Global Business Quality and Productivity, Warsaw, Poland.

COGU G.. " *Méthodologie d'innovation : la résolution de problèmes créatifs* " – Colloque sur la conception Mécanique Intégrée, PRIMECA, Nancy, 1999, 20 p.

COUTAZ J. - " *Interaction Homme-Machine : Points d'ancrage entre ergonomie et génie logiciel* " - CLIPS - IMAG - Grenoble - pp. 245-254 - dans " *Le communicationnel pour concevoir* " - Europa Productions - Paris - 1995 - ISBN 2.90928.504.9, 330 p.

DAETZ D., BARNARD B., NORMAN R - " *Customer Integration - The Quality Function Deployment (QFD). Leader's Guide for Decision Making* " John Wiley Sons, Inc. New York, USA, ISBN 0471 13277 2, 300 p.

DUCHAMP R. - " *La conception de produits nouveaux* " - Hermès Editions – Paris, 1999, ISBN 2-7462-0045-7, 191 p.

EUROHANDTOOL - " *Usability, ergonomics, quality and productivity of non-powered hand tools* " - European Commission Brite-Euram Project BE96-3735 coordinated by Tampere University of Technology, 1997-1999.

FESCHOTTE D. - " *Présentation et architecture du colloque* " - Colloque sur l'ingénierie simultanée - Vol 1, Belfort, 11 au 12 Mars 1998, pp. 1-3.

GHEZZI C., JAZAYERI, MANDRIOLI D. - "*Fundamentals of Software Engineering*" - Prentice-Hall, 1991.

GIRARD P., POTIER J.C. - "*L'activité coopérative en conception technique : quelques règles*" - LISI - ENSMA - Poitiers - pp. 271-292 – dans "*Le communicationnel pour concevoir*", Europa Productions, Paris, 1995, ISBN 2.90928.504.9, 330 p.

HAAPALAINEN M., KIVISTO-RAHNASTO J., MATTILA M. - "*Ergonomic Design of non-powered hand tools : An application of quality function deployment (QFD)*" – Occupational Ergonomics volume2, number 3, 1999/2000, pp. 179-189.

JOUFFROY D. - "*Vers une démarche d'intégration de la sécurité à la conception des machines à bois semi-automatisées*", Thèse de Doctorat en sciences des technologies industrielles - Université Henri Poincaré Nancy I, NST 177, INRS, Vandoeuvre, 1999, 182 p.

JOUFFROY D., CICCOTELLI J., MARTIN P.- "*Contribution of a distributed design method to the safety of numerically controlled woodworking machines* » – IMS Europe 98, 1st International workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Lausanne, Switzerland, April 15-17, 1998, pp. 449-458.

KOWALICK J. - "*Problem solving systems : What's next after TRIZ*" http://www.triz-journal.com/archives/99mar/99_mar.htm, 16p.

LAPRIE J.C. - "*Guide de la sûreté de fonctionnement*" - CEPADUES Editions, Toulouse, Janvier 1996, ISBN 2.85428.382.1, 369 p.

LELEU-MERVIEL S. "*La conception en communication : méthodologie, qualité*" HERMES, Paris, 1997, ISBN 2 86601 631 9, 202 p.

LE MOIGNE J. L. "*La modélisation des systèmes complexes*" DUNOD, Paris, 1995, ISBN 2 10 002969 X, 178 p.

LEON L.R., AGUAYO H. - "*A new Model of the Design Process using QFD/FA/TRIZ*" – Proceedings 10 th annual Quality Functional Deployment Symposium, 1998, 8p.

MAITRE P., MIQUEL J. P. - "*De l'idée au Produit : guide de la valorisation industrielle de la recherche*" – EYROLLES, Paris, 1992.

MARCHAL P. - "*Intégration de la prévention de phénomène dangereux dans une méthode de conception à l'aide de TRIZ*" Mémoire de fin d'étude F3113, CESI, 06/2000, IET S00/DT0059, 65 p.

MARTIN C., BOCQUET J.C., 1999 - "*Conception intégrée. Interopérativité des méthodes : AF, QFD, AMDEC dans le cadre du projet PIRAMID*" – Colloque national PRIMECA, pp. 247-254.

MAZUR G. "*Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)*" <http://www-personal.engin.umich.edu/~gmazur/triz/>, 1995, 28p.

MER S., TICHKIEWITCH S, JEANTET C. - *"Les objets intermédiaires de la conception : modélisation et communication"* - pp. 21-41 - dans *"Le communicationnel pour concevoir"* - Europa Productions, Paris,1995, ISBN 2.90928.504.9, 330 p.

NF X 50-415 - *« Management des systèmes : Ingénierie intégrée. Concepts généraux et introduction aux méthodes d'application »* – AFNOR, Paris, Décembre 1994, 9 p.

NFX 50-151 - *« Analyse de la Valeur, Analyse Fonctionnelle : Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel »*, AFNOR, Paris, 12/91, 27 p.

PERRIN J., VILLEVAL M.C., LECLER Y. - *"Les requis organisationnels et institutionnels pour développer la coopération au sein des activités de conception"* - ECT, Université Lumière Lyon II, pp. 293-304 - dans *"Le communicationnel pour concevoir"* - Europa Productions, Paris,1995, ISBN 2.90928.504.9, 330 p.

POMIAN J.L., PRADERE T., GAILLARD I. - *"Ingénierie et ergonomie"* - CEPADUES Editions – Toulouse, 1997, ISBN 2.85428.442.9, 259 p.

PROST R. - *"Conception architecturale, une investigation méthodologique"* – L'Harmattan, Paris, 1992.

RODENACKER W. G. *"Methodisches Konstruieren"* Berlin, 1970 (seconde édition, Springer, New-York, 1976.

ROUSSEL B. - *"Ergonomie en conception de produits : Proposition d'une méthode centrée sur la formulation de principes de solutions ergonomiques dans le processus interdisciplinaire de conception de produits"* - Thèse de doctorat en génie industriel, sciences des systèmes et des produits industriels - Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, 1996, 245 p.

SAGOT J.C. - *"Ergonomie et conception anthropocentrée"* – Rapport de synthèse en vue d'obtenir l'Habilitation à Diriger des Recherches, INPL – ENSGSI, 05/99, 267 p.

SALAU I. - *"La conception distribuée : Théorie et Méthodologie"* - Thèse de doctorat en production automatisée - Université Henri Poincaré NANCY I, Mars 1995, 128 p.

SANDVIK - *"Le programme Sandvik en 11 points. Comment développer scientifiquement de meilleurs outils à main."* - brochure SANDVIK – Limmatstrasse, Suisse, 1997, 24 p.

SANDVICK - *"Ergonomie – Une perspective de recherche pour des outils à mains ergonomiques"* – M-0015-FRE-95, 1995, 10 p.

SHIBA S. JOUSLIN de NORAV B., MOREL M - *"La Conception à l'Ecoute du Marché"* – Editions INSEP, 1995, ISBN 2-901323-63-4.

SIVALOGANATHAN S., EVBUOMWAN N.F.O., JEBB A. - *"The development of a Design system for Concurrent engineering"* – Concurrent Engineering : Research and Applications Vol. 3 N° 4, Technomic Publishing Inc., 1995, pp.257-269.

SOUCHKOV V. - "*TRIZ : A systematic Approach to Conceptual Design*" – Proceedings of the workshop "Universal Design Theory", Karlsruhe, 13-15 mai 1998, 14 p.

TERNINKO J. - "*The QFD, TRIZ and Taguchi Connection : Customer-Driven Robust Innovation*" - <http://www.triz-journal.com/archives/98jan/article2/98jan-article2.htm>.

TERNINKO J. - "*Su-Field Analysis*"
<http://www.triz-journal.com/archives/2000/02/index.htm>, 12 p.

THEUREAU J., PINSKY L. - "*Paradoxe de l'ergonomie de conception et logiciel informatique*" – revue des conditions de travail, n°9, 1984, pp.25-31.

TICHAUER E. R., GAGE H. - "*Ergonomic principles basic to hand tool design*" - American Industrial and Hygiene Association Journal, 38, 1977, pp 622-634.

TRAVAIL & SECURITE - "1999 - *Les statistiques technologiques*", N°613, INRS, Paris, 12-2001, pp.45-52

TSUDA Y. - "*QFD Models for Concurrent Engineering Development Processes of Automobiles*" – Concurrent Engineering : Research and Applications Vol. 3 N° 3, Technomic Publishing Inc., 09/95, pp.213-220.

VADCARD P - "*Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produit*" - Thèse de doctorat en génie industriel, sciences des systèmes et des produits industriels - Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers - Novembre 1996, Paris, 167 p.

VANBERGEIJK E. - "*Selection of power tools and mechanical assists, Ergonomic considerations of hand-held power tools for control of occupational hand and wrist injuries*" ñ *In Hand Tools : Ergonomics Issues in Evaluation and Selection*, July 22-23, 1996, University of Michigan, USA.

WU A. "*Integration of QFD, TRIZ, and Robust Design : overview & luggage case study*" American supplier Institute, 1997, Livonia, 29 p.

ZREIK K. - "*Communication et conception : le dilemme du savoir-ignorance*" - GREYC - Université de Caen - pp. 73-86 - dans "*Le communicationnel pour concevoir*", Europa Productions, Paris, 1995, ISBN 2.90928.504.9, 330 p.

ZUSMAN A., B. ZLOTIN B. - "Overview of Creative Methods" The TRIZ journal <http://WWW.triz-journal.com> (juillet 1999).

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Evolution du nombre de TMS indemnisés.....	3
Figure 2 : Illustration de la notion de démarche de conception.....	6
Figure 3 : Illustration de la répartition des outils de conception	7
Figure 4 : La conception de produit.....	7
Figure 5 : Organisation générale d'une méthode de conception.....	8
Figure 6 : Cycles de vie en cascade.....	9
Figure 7 : Cycle de vie en « V ».....	10
Figure 8 : L'ancrage de l'ergonomie dans le processus de développement	11
Figure 9 : Cycle de vie incrémental.....	12
Figure 10 : Cycle de vie en spirale	13
Figure 11 : Ingénierie séquentielle et cycle de vie linéaire	14
Figure 12 : Du séquentiel au simultané par les courbes de charge de travail (<i>Jouffroy, 1999</i>)	15
Figure 13 : Du séquentiel au simultané par l'organisation des acteurs	16
Figure 14 : Difficulté de communication par manque de référentiel commun	17
Figure 15 : Prototype en tant que référentiel commun pour favoriser la communication.....	18
Figure 16 : Illustration de la notion d'outil méthodologique	20
Figure 17 : Illustration simplifiée de la technique des milieux extérieurs.....	22
Figure 18 : Groupes fonctionnels identifiés par la démarche d'analyse fonctionnelle	23
Figure 19 : Enchaînement des matrices de la qualité	25
Figure 20 : La maison de la qualité	26
Figure 21 : Intégration des attentes en matière d'ergonomie dans la maison de la qualité	27
Figure 22 : Intégration des critères ergonomiques dans la maison de la qualité	29
Figure 23 : Identification des conflits potentiels entre paramètres de conception	30
Figure 24 : Evaluation des concepts à l'aide de la maison de la qualité	31
Figure 25 : Maison de la qualité et processus de développement itératif.....	32
Figure 26 : Illustration de la résolution d'un problème par TRIZ (<i>Mazur, 1995</i>)	33
Figure 27 : Principaux outils TRIZ pour la résolution de problèmes techniques.....	35
Figure 28 : Illustration du concept de manche bimatière	38
Figure 29 : Illustration du concept de lame démontable	40
Figure 30 : Enchaînement logique AFB/QFD/TRIZ.....	44
Figure 31 : L'étape de spécification de la société A	53
Figure 32 : Le processus de conception de la société A.....	54
Figure 33 : Le processus de conception chez la société B.....	55
Figure 34 : Formalisation de la démarche de conception de Sandvik.....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des besoins relatifs à un couteau de désossage.....	27
Tableau 2 : Symboles et valeurs utilisés pour les corrélations « Quoi/Comment »	28
Tableau 3: Symboles et valeurs utilisés pour la pondération des concepts de produits	30
Tableau 4 : Principes de séparation dans l'espace.....	38
Tableau 5: Principes proposés par TRIZ	39
Tableau 6: Extrait de la matrice des contradictions.....	40
Tableau 7 : Le programme Sandvick en 11 points (<i>Sandvik, 1997</i>)	56
Tableau 8 : les outils de caractérisation pluridisciplinaire du besoin	58
Tableau 9 : Les outils de définition de solution.....	58
Tableau 10 : Les outils de créativité.....	59
Tableau 11 : Les outils d'analyse de solution	60
Tableau 12 : Les outils de gestion de projet	60
Tableau 13 : Les outils de matérialisation de solution	61
Tableau 14 : Les outils de la qualité.....	61

ANNEXE I

**EXEMPLES
DE
METHODES DE CONCEPTION**

LA SOCIETE A

L'entreprise « A » est une PME employant 110 personnes ; elle produit des pièces de machines agricoles (socs de charrues, ressorts carrés ...) et des outils à mains de jardinage (pelles, pioches ...). Elle sous-traite la réalisation de certains produits industriels (40% de son chiffre d'affaires). Elle vend soit à des grossistes, qui redistribuent dans des grandes surfaces, soit à des distributeurs spécialistes du bricolage. Il n'existe pas dans l'entreprise de service « produits nouveaux » à proprement parler. Toute innovation ou modification d'outils provient soit d'une demande client, soit d'une demande utilisateur ou encore d'une proposition d'inventeur.

Cette société crée des produits avec un label ERGO, comme le font ses principaux concurrents. Des études ergonomiques n'ont pas été entreprises si ce n'est au travers de quelques tests effectués par le jardinier de l'entreprise.

Tel qu'ils nous a été expliqué, le processus de conception, bien que très peu formalisé dans cette PME, est de type linéaire (cf. figures 31 & 32).

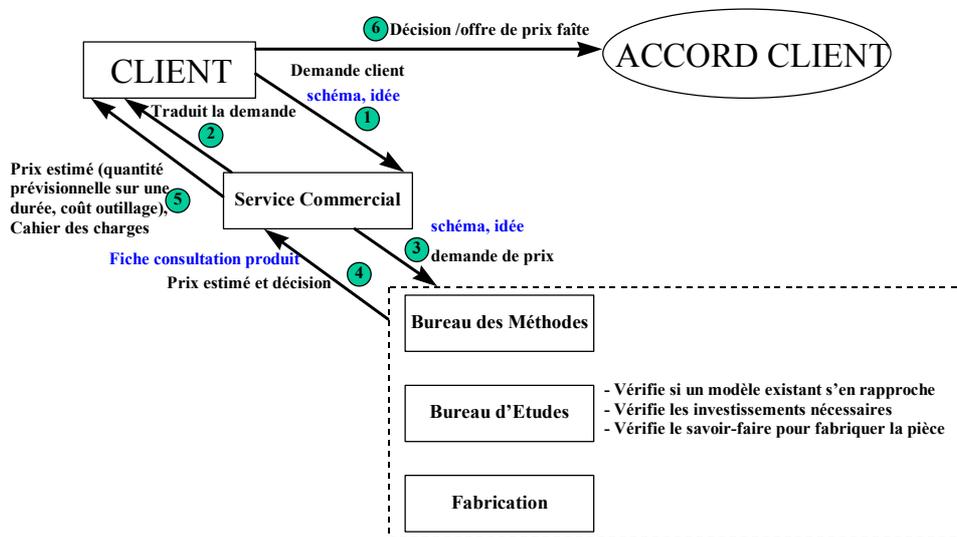


Figure 31 : L'étape de spécification de la société A

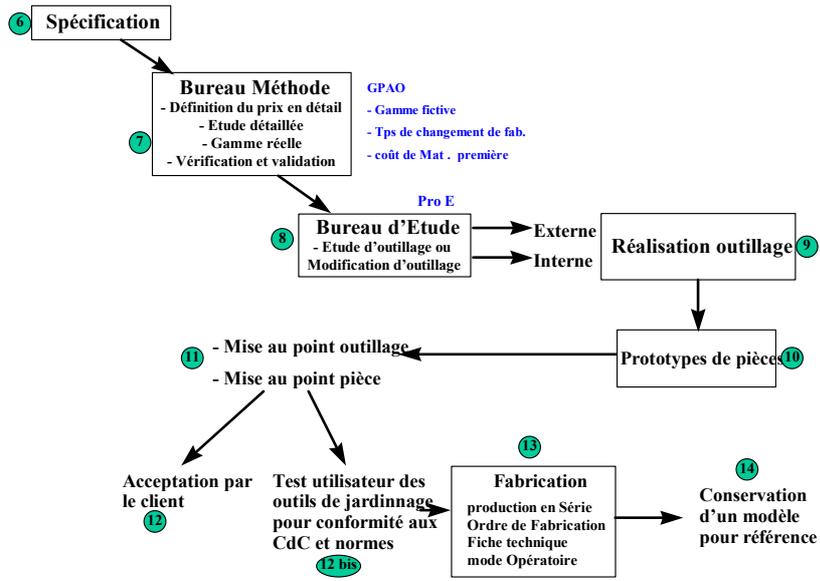


Figure 32 : Le processus de conception de la société A

LA SOCIETE B

L'entreprise B emploie 550 personnes sur deux sites et fabrique des outils à mains (tournevis). Elle fait partie d'un groupe qui dispose de plusieurs centres de compétences, de plusieurs usines à travers le monde (France, Etats-Unis,..) et de plusieurs marques commerciales.

Cette entreprise dispose d'un service « produits nouveaux » composé d'un ingénieur (directeur de développement produit) et de deux techniciens supérieurs en matière plastique. Ce service a pour principales missions :

- la connaissance des outils concurrents (prix/produit, tests),
- un travail technique de recherche de concepts et de formalisation.

Ce service prend un soin particulier à évaluer régulièrement, au cours du cycle de développement, les critères économiques, d'usages, d'esthétiques et techniques des produits en cours de conception. Pour cela, il utilise des prototypes en mousse pour la forme globale, puis des prototypes en résine et enfin des prototypes fonctionnels respectant la couleur. Il pratique des méthodes de créativité de type brainstorming. Aucune méthode formalisée n'est utilisée lors de l'étape de spécification. La figure 33 ci-dessous illustre le processus de conception de cette société.

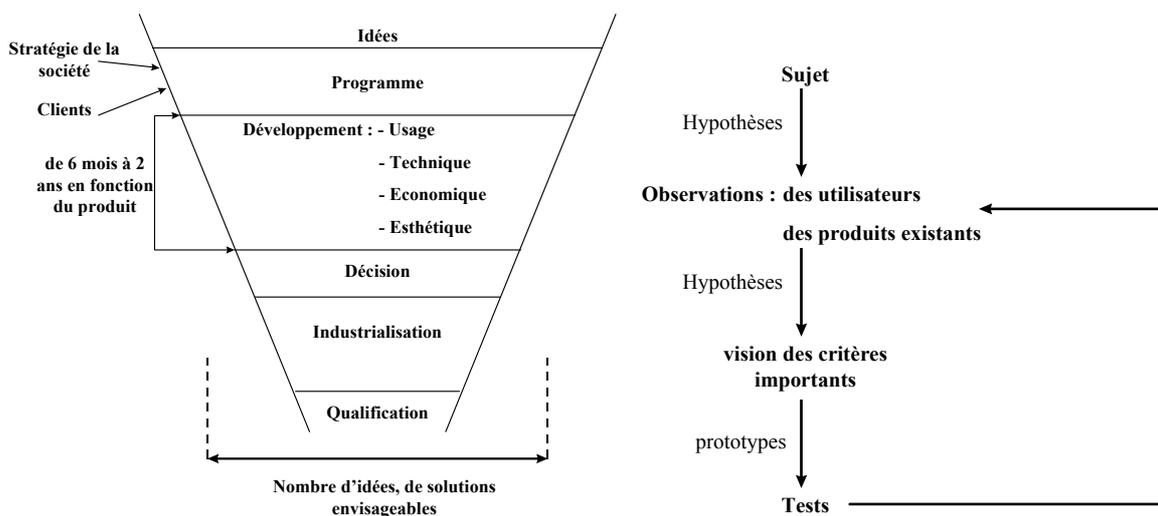


Figure 33 : Le processus de conception chez la société B

LA SOCIETE SANDVIK

Cette société est entre autre spécialisée dans la fabrication d'outils à main et de machines portatives. Elle publie un ouvrage où elle décrit en 11 points son processus de conception d'outils à main ergonomique (cf. tableau 7).

Bien qu'il n'est pas fait mention d'une formalisation particulière du cycle de développement, la démarche décrite par cette société est, du fait des itérations successives à l'aide de prototypes, très similaire avec le cycle dit en spirale (cf. figure 34).

Points	Description
1	Spécifications préliminaires de l'outil
2	Analyse du marché
3	Recherche bibliographique
4	Conception des premiers prototypes
5	Test utilisateurs 1
6	Evaluation des prototypes et conception des prototypes version 2
7	Test utilisateurs 2
8	Analyse des tests et décision des critères finaux de conception
9	Spécification de fabrication et production d'une présérie
10	Test utilisateurs 3, évaluation et production en série avec le label «ergo»
11	Suivi de la production, retour d'expérience

Tableau 7 : Le programme Sandvick en 11 points (Sandvik, 1997)

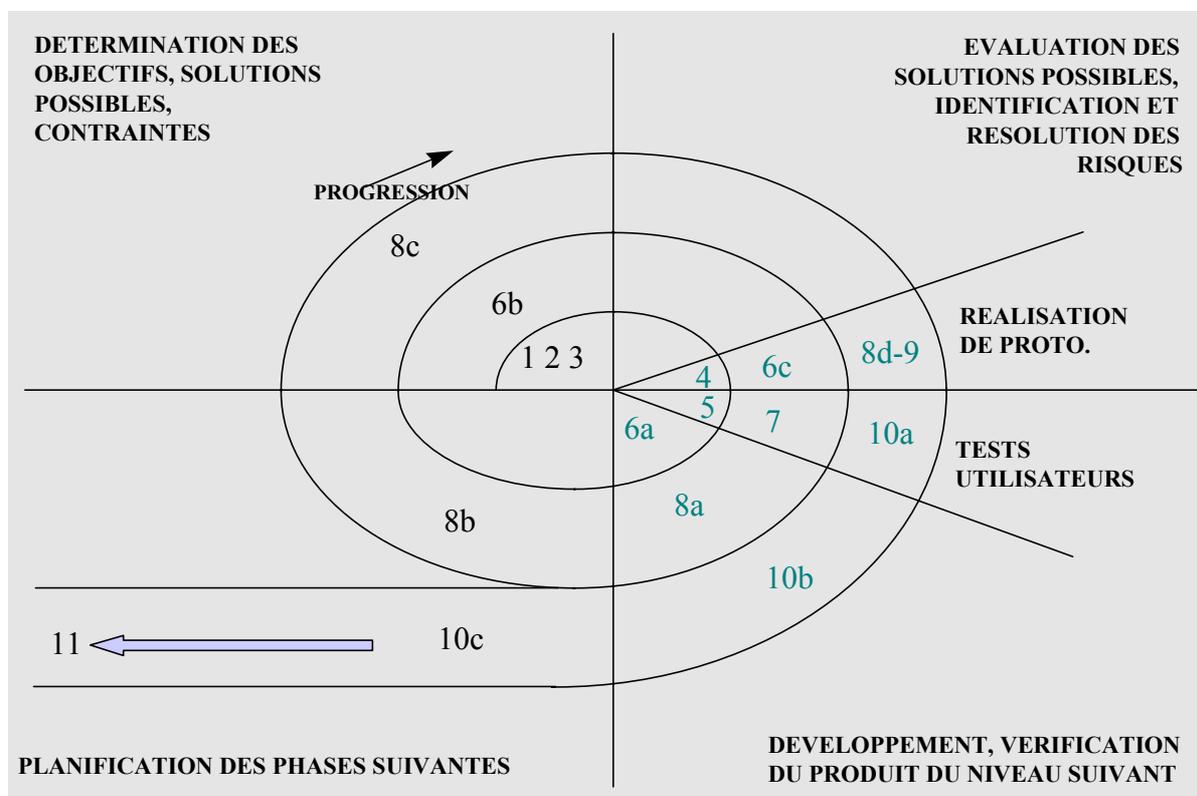


Figure 34 : Formalisation de la démarche de conception de Sandvik

ANNEXE II

CLASSIFICATION DES OUTILS DE CONCEPTION

Outils de caractérisation pluridisciplinaire du besoin	outils opérants	outils de formalisation	outils métier	Outils pluridisciplinaires
L'Analyse Fonctionnelle	X			X
L'Analyse du Besoin	X			X
Le Cahier des Charges Fonctionnel	x	X	x	X
La "pieuvre", la "rosace", le graphe des interacteurs	x	X	X	
L'arbre fonctionnel		X	x	
Le tableau à double entrée		X		X
La matrice de tri croisé	X		X	
APTE (Analyse fonctionnelle externe)	X			X
Expansion de fonctions	X			X
FAST ¹⁰	X			X
Graphe de fluence		X		X
normes (réglementation, directives,..)	X		X	
Première matrice QFD		X		X
Analyse du marché	X		X	
Analyse de la concurrence	X		X	
Méthode de constellation d'attributs	X		X	
Etudes de propriété industrielle	X		X	
Planche de tendance	X		X	

Tableau 8 : les outils de caractérisation pluridisciplinaire du besoin

Outils de définition de solution	outils opérants	outils de formalisation	outils métier	outils pluridisciplinaires
Le diagramme blocs	X			X
Matrice d'interaction	X			X
Matrice de définition de système	X	x		X
Diagramme en arborescence		X		X
SADT ¹¹	X	x	X	x
MIC-MAC	X			X
DAO, CAO, CFAO,...	X	X	X	
Dessin technique		X	X	

Tableau 9 : Les outils de définition de solution

¹⁰ Functional Analysis System Technique

¹¹ Structured Analysis Design Technique

Outils de créativité	outils opérants	outils de formalisation	outils métier	outils pluri-disciplinaires
le brainstorming	X			X
Les groupes nominaux	X			X
La matrice de découverte	X			X
Diagramme « arêtes de poisson »		X		X
TRIZ	X	X		X
Le concassage	X			X
Les scénarii	X			X
L'approche analogique	X			X
Les mots inducteurs	X			X
La fiche idée	X			X
La synectique	X			X
La carte mentale	X			X
La technique des 6 chapeaux	X			X
La technique des 4 métiers	X			X
Le rêve éveillé	X			X
La purge	X			X
La bionique	X			X
Les 3 I	X			X
L'inversion	X			X
Le portrait en creux	X			X
Le martien	X			X
Le lipogramme	X			X
L'identification	X			X
Le brainwriting	X			X
La baguette magique	X			X
La roue libre	X			X
Le portrait chinois	X			X
Le mimodrame	X			X
L'arbre de pertinence	X			X
Le jeu phonétique	X			X
La matec	X			X
Le troubetzkoï	X			X
La reformulation	X			X
L'avocat de l'ange	X			X
Le tableau d'évaluation	X			X
L'analyse défectuologique	X			X

Tableau 10 : Les outils de créativité

Outils d'analyse de solution	outils opérants	outils de formalisation	outils métier	outils pluri-disciplinaires
<i>Outils d'analyse des effets indésirés</i>				
Analyse des incidents (arbre causes-conséquences)	X			X
Arbre de défaillance (arbre des causes)	X	x		X
AMDEC ¹²	X			X
<i>Outils d'aide à la décision</i>				
MC2	X			X
La bête à cornes (APTE)	x	X		X
Arbre des voies technologiques	X	x		X
<i>Outils d'analyse de phénomènes</i>				
Le diagramme de Pareto	X	X		X
Diagramme en ovale		X		X
Analyse systémique	X			X

Tableau 11 : Les outils d'analyse de solution

Outils de gestion de projet	outils opérants	outils de formalisation	outils métier	outils pluri-disciplinaires
MAP	X		X	x
Tableau de bord		X	X	x
Cadre logique	X	x	X	x
Analyse du risque	X		X	x
Le mémoire d'identification de projets	x	X	X	x
MACTOR	X	x	X	x
Tableau des freins et des moteurs	X	x	X	x
Organigramme Technique	X	x	X	x
Organigramme fonctionnel	X	x	X	x
La matrice SWOT	x	X	X	x
Arbre d'objectifs	X	x	X	x
Team building	X		X	X
TCAO	X		x	X
PERT ¹³	X		X	
diagramme de GANTT	X		X	
MERISE		X	X	
Gestion de documentation		X	X	
Estimation des coûts	X		X	
contrôle des coûts	X		X	
La Valeur Actuelle Nette	X		X	
Le Taux Interne de Rentabilité	X		X	

Tableau 12 : Les outils de gestion de projet

¹² Analyse des Modes de Défaillances de leur Effets et de leur Criticité

¹³ Program of Evaluation and Review Technique

Outils de matérialisation de solution	outils opérants	outils de formalisation	outils métier	outils pluri-disciplinaires
Prototype	X	X	X	X
Présérie	X	X	X	X
Maquette d'aspect				
Maquette fonctionnelle				
Rough				
Réalité virtuelle	X	X	X	X

Tableau 13 : Les outils de matérialisation de solution

Outils de le qualité	outils opérants	outils de formalisation	outils métier	outils pluri-disciplinaires
QFD	X	X	X	X
Assurance qualité	X		x	X
Audit de projet	X		x	X
Feuille de relevé		X	X	
Graphiques		X		X
Histogrammes		X		X
Analyse de Pareto	X		X	
Diagrammes causes/effets	X			X
Diagramme de corrélation		X		X
Cartes de contrôle		X	X	
Diagramme des affinités	X			X
Diagramme des relations	X			X
Diagramme en arbre	X			X
Diagramme matriciel		X		X
Diagramme des alternatives		X	X	
Diagramme flèche	X		X	
Analyse des composantes principales	X		X	

Tableau 14 : Les outils de la qualité

ANNEXE III

ANALYSE FONCTIONNELLE DU COUTEAU DE DESSOSSAGE

Liste des phases

Désossage :

- **Poids** : 55
- **Caractérisation** : c'est la phase pour laquelle l'outil est principalement conçu.
- **Pourquoi la phase existe-t-elle ?**
Cette phase existe car, malgré le développement des automatismes, le couteau reste l'outil manuel à la base du travail de désossage de la viande.
- **Qu'est-ce qui peut la faire évoluer ou disparaître ?**
 - une nouvelle méthode de transformation de la viande,
 - l'arrêt de la consommation de viande.
- **Quel est le risque de la voir évoluer ou disparaître ?**
Il est quasi inexistant à moyen voire à long terme.

Affûtage

- **Poids** : 15
- **Caractérisation** :
Elle regroupe toutes les opérations réalisées hors ligne de production nécessaires pour que l'outil de coupe retrouve des performances de coupe optimales. Cet affûtage peut être centralisé ou non, voire sous traité à l'extérieur.
- **Pourquoi la phase existe-t-elle ?**
Pour retrouver des performances de coupe optimales.
- **Qu'est-ce qui peut la faire évoluer ou disparaître ?**
 - des couteaux inusables,
 - l'automatisation de la découpe,
 - la conception de nouveaux outils de coupe avec des lames jetables (ou interchangeables).
- **Quel est le risque de la voir évoluer ou disparaître ?**
 - envisageable en ce qui concerne le concept de lames jetables ou interchangeables,
 - très faible pour les autres.

Affilage

- **Poids** : 15
- **Caractérisation** :
C'est la phase pendant laquelle l'opérateur qui utilise le couteau à son poste de travail peut redresser le fil du couteau.
- **Pourquoi la phase existe-t-elle ?**
Pour que l'opérateur puisse redresser le fil de la lame et ainsi augmenter la tenue à la coupe de ses couteaux.
- **Qu'est-ce qui peut la faire évoluer ou disparaître ?**
Des lames jetables ou interchangeables.
- **Quel est le risque de la voir évoluer ou disparaître ?**
Envisageable.

Nettoyage/stérilisation

- **Poids** : 10
- **Caractérisation** :
C'est la phase pendant laquelle le couteau est nettoyé et/ou stérilisé afin de garantir les conditions d'hygiène nécessaire au travail de la viande. Ces opérations s'effectuent à la fois au poste de travail, avant et après affûtage et enfin entre chaque poste de travail.
- **Pourquoi la phase existe-t-elle ?**
Pour que les conditions d'hygiène alimentaire soient satisfaites.
- **Qu'est-ce qui peut la faire évoluer ou disparaître ?**
Des lames jetables ou interchangeables.
- **Quel est le risque de la voir évoluer ou disparaître ?**
Envisageable.

Transport

- **Poids** : 5
- **Caractérisation** :
C'est l'ensemble des moments pendant lesquels le couteau est transporté entre l'affûtage, le nettoyage et le poste de travail.
- **Pourquoi la phase existe-t-elle ?**
Pour pouvoir faire circuler le couteau entre le poste de travail, l'atelier d'affûtage et celui de nettoyage.
- **Qu'est-ce qui peut la faire évoluer ou disparaître ?**
Des couteaux à lames jetables ou interchangeables
- **Quel est le risque de la voir évoluer ou disparaître ?**
Envisageable.

Groupes fonctionnels

GF 1 : Permettre à l'opérateur de travailler la viande

- Valeur d'appréciation : 18 %
- Interacteur(s) concerné(s) : Opérateur - Viande
- Phase(s) concernée(s) : Désossage
- Pourquoi la fonction existe-t-elle ? C'est la fonction nominale du couteau
- Qu'est-ce qui pourrait la faire évoluer ou disparaître ? L'automatisation de la découpe
- Quel est le risque d'évolution ou de disparition ? Faible

GF 2 : Etre conforme à la réglementation alimentaire

- Valeur d'appréciation : 18 %
- Interacteur(s) concerné(s) : Opérateur - Réglementation - Produits de nettoyage
- Phase(s) concernée(s) : Désossage, - Affûtage – Affilage - Nettoyage
- Pourquoi la fonction existe-t-elle ? Pour que les conditions alimentaires soient toujours satisfaites
- Qu'est-ce qui pourrait la faire évoluer ou disparaître ? Le changement de la réglementation alimentaire.
- Quel est le risque d'évolution ou de disparition ? Forte (vache folle).

GF 3 : Ne pas blesser l'opérateur

- Valeur d'appréciation : 18 %
- Interacteur(s) concerné(s) : Opérateur
- Phase(s) concernée(s) : Toutes
- Pourquoi la fonction existe-t-elle ? Pour éviter les accidents du travail.
- Qu'est-ce qui pourrait la faire évoluer ou disparaître ? L'automatisation du désossage.
- Quel est le risque d'évolution ou de disparition ? Très faible.

GF 4 : Ne pas provoquer de douleurs

- Valeur d'appréciation : 16 %
- Interacteur(s) concerné(s) : Main de l'opérateur
- Phase(s) concernée(s) : Désossage – Affûtage - Affilage
- Pourquoi la fonction existe-t-elle ? Afin de limiter le risque de lésions pour l'opérateur.
- Qu'est-ce qui pourrait la faire évoluer ou disparaître ?
 - L'automatisation du désossage.
 - L'assistance à la coupe (outils énergisés).
- Quel est le risque d'évolution ou de disparition ? Probable pour certaines opérations particulières.

GF 5 : Etre bien pris en main dans différentes positions

- Valeur d'appréciation : 10 %
- Interacteur(s) concerné(s) : Main de l'opérateur - Ambiance physique
- Phase(s) concernée(s) : Désossage - Affûtage - Affilage
- Pourquoi la fonction existe-t-elle ? Pour pouvoir réaliser toutes les opérations de désossage avec le maximum d'efficacité tant du point de vue du geste que de la qualité de la découpe.
- Qu'est-ce qui pourrait la faire évoluer ou disparaître ?
 - La multiplication des références de couteau.
 - La spécialisation des opérateurs par types de découpe.
- Quel est le risque d'évolution ou de disparition ? Non souhaitée en ce qui concerne la spécialisation car cela ne favorise pas la diminution des TMS.

GF 6 : Retrouver rapidement ses performances de coupe

- Valeur d'appréciation : 10 %
- Interacteur(s) concerné(s) : Outils d'affilage - Opérateur
- Phase(s) concernée(s) : Affûtage - Affilage
- Pourquoi la fonction existe-t-elle ? Pour qu l'affilage soit le plus efficace possible
- Qu'est-ce qui pourrait la faire évoluer ou disparaître ? Des lames jetables et/ou interchangeables
- Quel est le risque d'évolution ou de disparition ? Envisageable.

GF 7 : Etre facilement nettoyer

- Valeur d'appréciation : 6 %
- Interacteur(s) concerné(s) : Produits et Machines de nettoyage/stérilisation
- Phase(s) concernée(s) : Nettoyage/Stérilisation
- Pourquoi la fonction existe-t-elle ? Pour que les contions alimentaires soient toujours satisfaites.
- Qu'est-ce qui pourrait la faire évoluer ou disparaître ? Le changement de la réglementation alimentaire.
- Quel est le risque d'évolution ou de disparition ? Forte (vache folle)

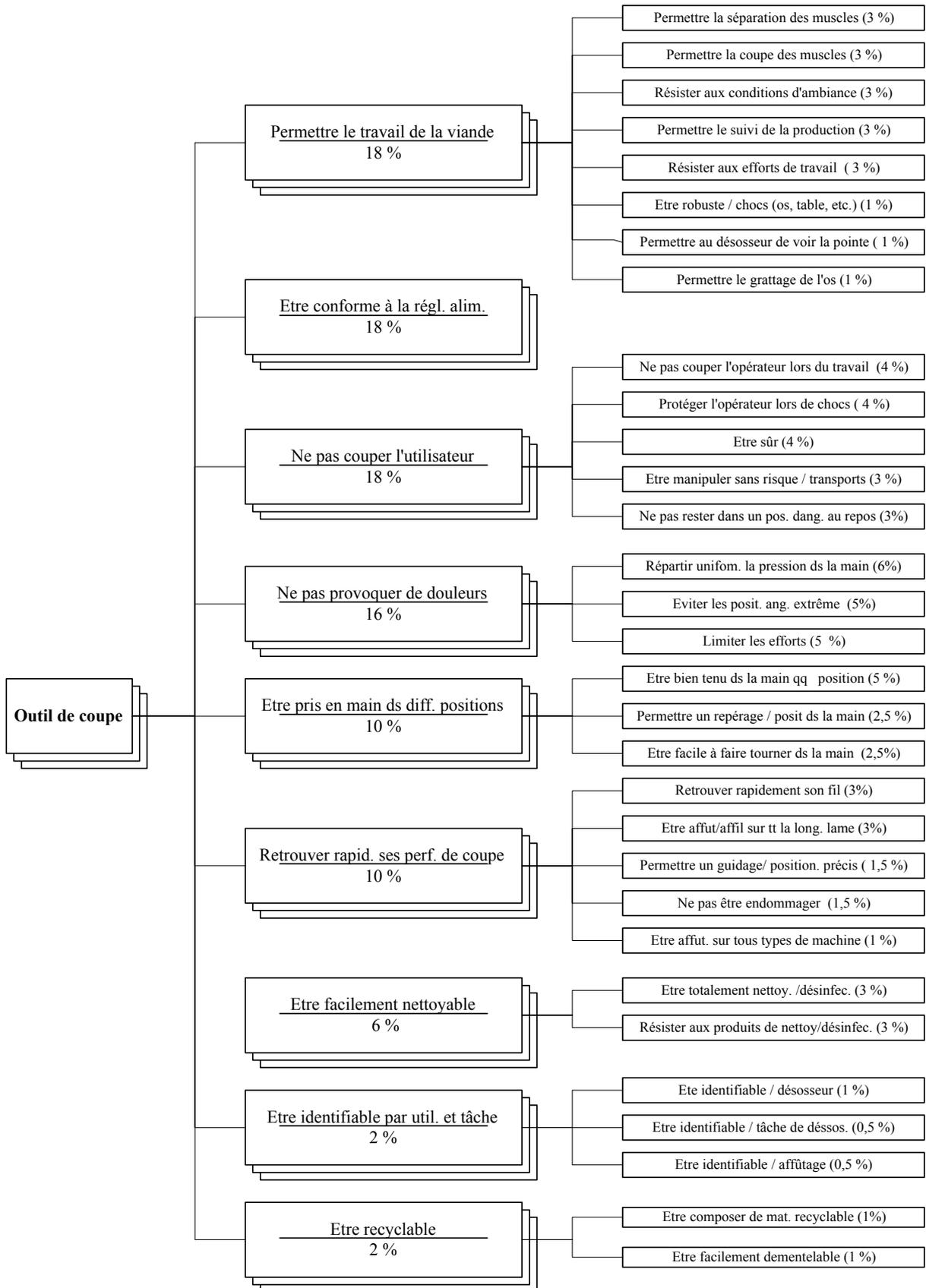
GF 8 : Etre recyclable

- Valeur d'appréciation : 2 %
- Interacteur(s) concerné(s) : Environnement
- Phase(s) concernée(s) : Désossage – Affûtage - Affilage
- Pourquoi la fonction existe-t-elle ? Afin de respecter l'environnement
- Qu'est-ce qui pourrait la faire évoluer ou disparaître ?
 - L'évolution de la réglementation
 - Des lames jetables ou interchangeables
- Quel est le risque d'évolution ou de disparition ? Probable.

GF 9 : Etre identifiable par utilisateur et/ou par tâche l'opérateur

- Valeur d'appréciation : 2 %
- Interacteur(s) concerné(s) : Opérateur
- Phase(s) concernée(s) : Affûtage – Désossage - Transport
- Pourquoi la fonction existe-t-elle ?
 - Pour que l'opérateur puisse choisir rapidement et sans erreur le couteau le mieux adapté à une tâche particulière.
 - Pour que les opérateurs puissent retrouver leur couteau après l'affûtage (cas des couteaux personnalisés avec un affûtage centralisé).
- Qu'est-ce qui pourrait la faire évoluer ou disparaître ?
 - Un outil de coupe universel.
 - Des lames jetables ou interchangeables
- Quel est le risque d'évolution ou de disparition ? Faible à moyen.

Arbre fonctionnel



ANNEXE IV

MAISON DE LA QUALITE DU COUTEAU DE DESSOSSAGE

