

PLAN

1. Modélisation et Représentation

2. Spécifications Fonctionnelles

3. Outils de la qualité

4. Schématisation Fonctionnelle

5. Assemblage des Systèmes

6. Transmission et Automatisation

7. Modélisation des Systèmes Robotiques ¹⁸⁹

Outils de la Qualité

1. Cahier des charges fonctionnel

- Un des facteurs déterminants dans une démarche rationnelle de conception de produits est l'établissement d'un cahier des charges fonctionnel (CdCF).
- Le cahier des charges fonctionnel est un outil méthodologique nécessaire pour détecter et formuler fonctionnellement le besoin: Il incite à s'exprimer en termes d'obligations de résultats de préférence aux obligations de moyens.

Outils de la Qualité

1.1 Vocabulaire

Terme	Définition	Remarques
Cahier des charges fonctionnel (CdCF)	Document par lequel le demandeur d'un produit exprime son besoin en terme de fonctions de service et de contraintes. Pour chacune d'elles, il est défini des critères d'appréciation et leurs niveaux. Chaque niveau comporte une flexibilité. Le CdCF contribue à l'obtention de la qualité**.	<ul style="list-style-type: none"> ■ L'établissement d'un CdCF nécessite une enquête permettant de cerner au mieux les besoins des utilisateurs. ■ Le but poursuivi est d'obtenir le produit le plus apte pour un coût minimal. ■ Un critère d'appréciation qualitatif doit être accompagné d'éléments permettant de situer le niveau.
Demandeur d'un produit	Entité qui recherche un produit, en émet le cahier des charges, en vue de son acquisition et son utilisation par elle-même ou par d'autres.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Le demandeur peut être un organisme, un service ou une personne. ■ La notion de demandeur inclut celle de responsable du financement.
Concepteur réalisateur d'un produit	Entité responsable de la conception d'un produit qui outre les exigences techniques prend en compte les conditions, coûts et délais de réalisation.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Lorsqu'un concepteur n'assure pas la réalisation, il lui appartient de consulter des réalisateurs potentiels ou de se référer à des expériences antérieures.

191

Outils de la Qualité

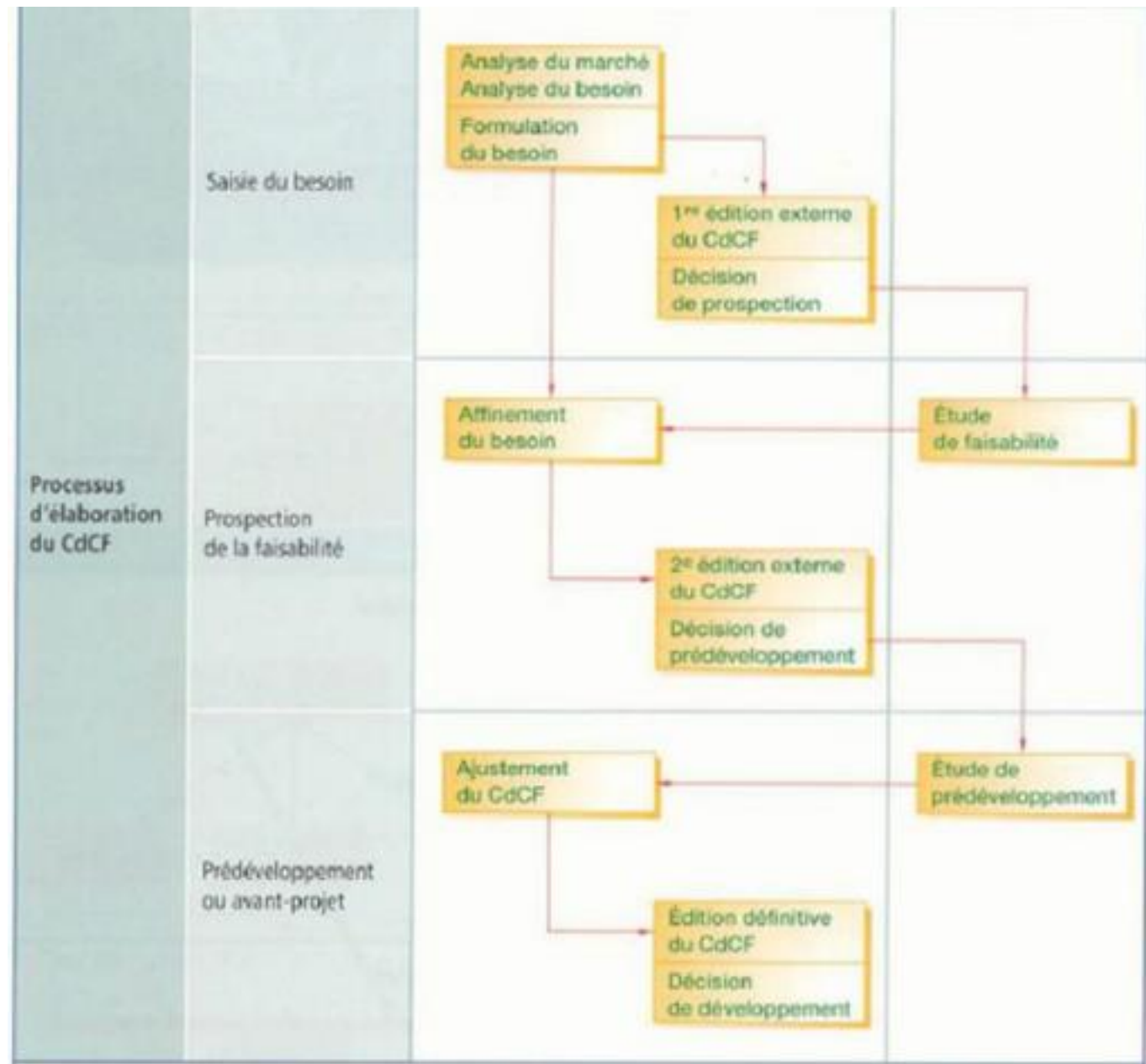
1.2 Buts et implications du CdCF

- Le demandeur est, par le niveau auquel il situe son besoin, le premier responsable des coûts. Il précède, dans la responsabilité des coûts, le concepteur-réalisateur qui propose la solution permettant d'atteindre le niveau spécifié.
- Le CdCF contribue à clarifier et à formaliser les responsabilités du demandeur et du concepteur-réalisateur.

1.3 Éléments constitutifs du CdCF

Présentation générale du problème	<ul style="list-style-type: none"> ■ Le produit et son marché. ■ Les objectifs. ■ Le milieu environnant. 	Appel à variantes	<ul style="list-style-type: none"> ■ Au-delà de propositions répondant au CdCF, il peut être demandé au concepteur-réalisateur d'autres solutions répondant à sa propre perception du besoin.
Expression fonctionnelle du besoin	<ul style="list-style-type: none"> ■ Les fonctions de service et les contraintes (§ 27.12 et 27.2). ■ Critères d'appréciation. ■ Coûts objectif. 	Cadre de réponse	<ul style="list-style-type: none"> ■ Donne les éléments pour évaluer les propositions et les comparer.

1.4 Élaboration du CdCF



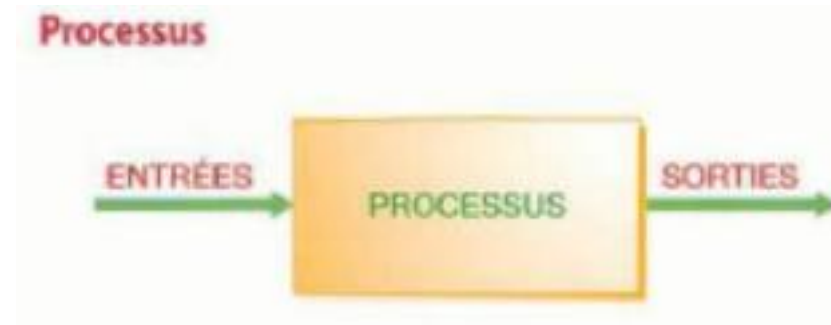
Outils de la Qualité

2. Concepts relatifs à la qualité

2.1 Définitions

- **CONCEPT**: Idée générale d'un produit, d'un système ou d'un processus.
- **QUALITÉ**: Aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques d'un produit, d'un système ou d'un processus à satisfaire les exigences des clients et autres parties intéressées.
- **PRODUIT**: Résultat d'un processus. C'est ce qui sera fourni à un client pour répondre à ses exigences.

- **PROCESSUS:** Système d'activité qui utilise des ressources pour transformer des éléments d'entrée en éléments de sortie.



194

Outils de la Qualité

- **SYSTÈME:** Ensemble d'éléments interdépendants ou interactifs, que l'on isole du milieu environnant par une démarche intellectuelle, en vue de traiter cet ensemble comme un tout
- **EXIGENCE SPÉCIFIÉE:** Besoin ou attente formulée dans un document.
- **EXIGENCE POUR LA QUALITÉ:** Concerne les caractéristiques intrinsèques.

- **CLASSE:** Rang donné aux différentes exigences pour la qualité. Par exemple les degrés de tolérances IT

2.2 Relations entre concepts et représentation graphique

On utilise essentiellement trois principaux types de relations :

- **RELATION GÉNÉRIQUE :** Les concepts subordonnés sont de rang égal. Ils reçoivent l'ensemble des caractéristiques du concept de niveau supérieur. Relation parents-enfants.

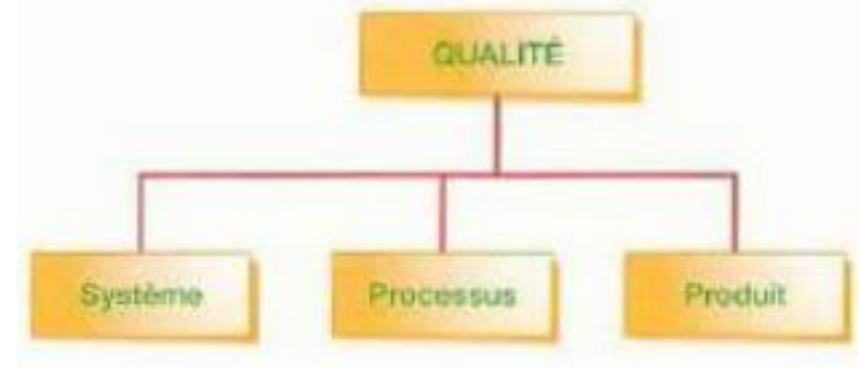
195

Outils de la Qualité

- **RELATION PARTITIVE:** Les concepts subordonnés constituent les éléments du concept de niveau supérieur.



Relation partitive



- **RELATION ASSOCIATIVE:** Une relation associative identifie la nature de la relation entre deux concepts {causes-effet, processus-produit, matière-produit).



196

Outils de la Qualité

3. Techniques d'analyses

3.1 Diagramme « causes-effet »

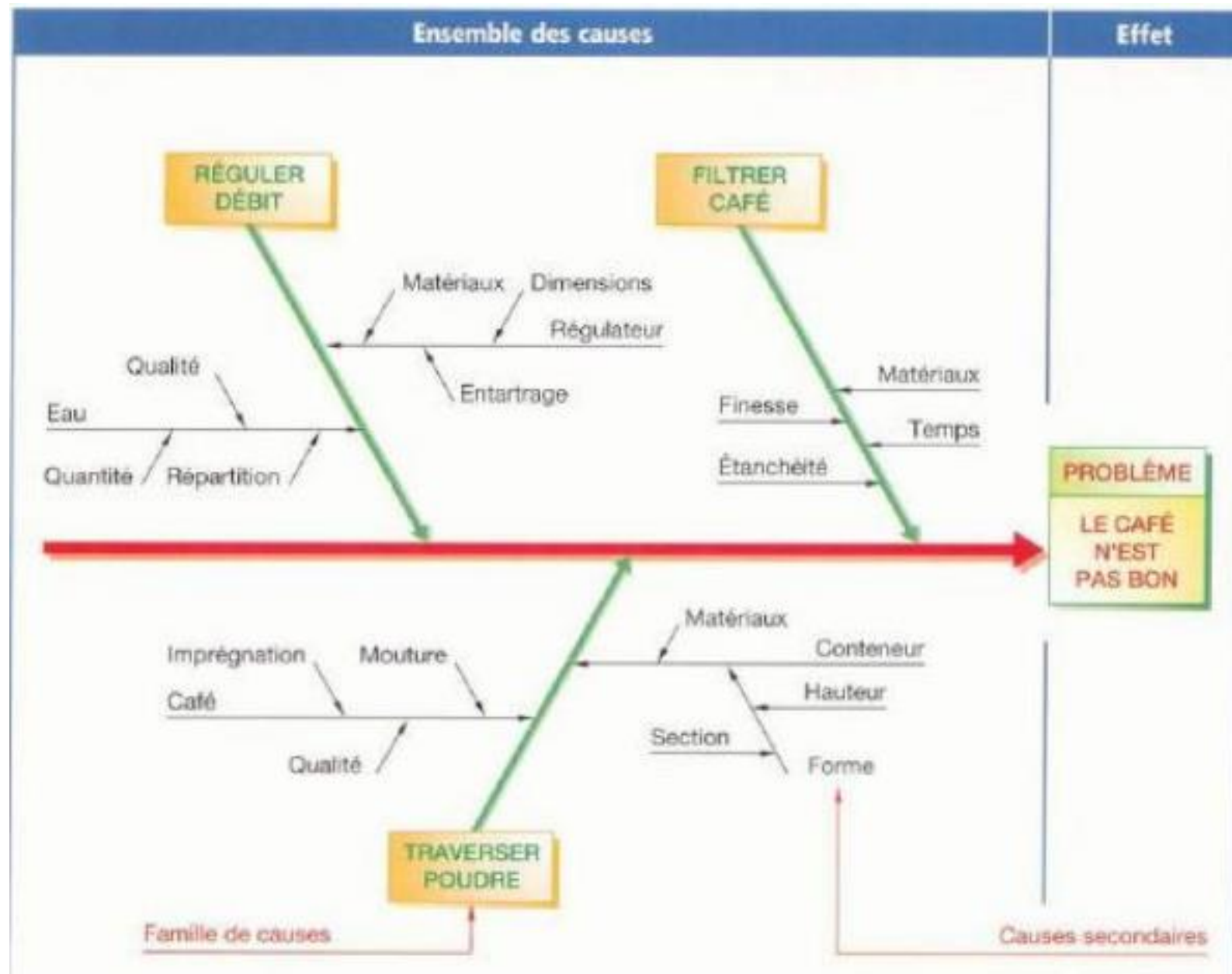
- une représentation graphique ordonnée permettant de visualiser l'ensemble des causes ayant une influence sur un effet constaté ou un phénomène donné.

Principales phases d'élaboration	
1	Tracer une droite orientée vers l'effet constaté.
2	Identifier et classer les grandes causes, ou familles de causes, qui pourraient être responsables de l'effet constaté. Plusieurs méthodes sont possibles, par exemple : <ul style="list-style-type: none">■ le H3M (abréviation de homme, matériel, matière, méthode) ;■ le 5M (abréviation de matière, matériel, milieu, main-d'œuvre, méthode) ;■ le procédé (différentes étapes du processus ou différentes fonctions du produit sont prises comme familles de causes).
3	Identifier, puis intégrer aux familles de causes, les causes secondaires.

Exemple

- « Élaborer le café », pour une machine à faire le café: À l'essai du percolateur, on constate que le café n'est pas bon.
- Ce diagramme est également appelée « **diagramme d'Ishikawa** », « **arêtes de poisson** » ou « **arbre des causes** »

Outils de la Qualité



Outils de la Qualité

3.2 Coûts par fonction

□ L'établissement des coûts par fonction sert notamment:

- à déterminer si le coût de chaque fonction est en rapport avec leur importance relative dans le produit étudié;
- à hiérarchiser les fonctions et à orienter l'action
« analyse de la valeur » en permettant de faire porter les efforts de réduction de coûts prioritairement sur les fonctions et coûts qui

Exemple de tableau de coûts par fonction								
Pièce	Nombre	Coût	Répartition par fonction					
			A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	1	9	1	2	4	2	–	–
2	1	10	–	10	–	–	–	–
3	1	2	–	1	–	–	1	–
TOTAL		270	10	18	110	20	61	51
POURCENTAGE			3,7	6,7	40,7	7,4	22,6	18,9

offrent les plus fortes possibilités de gain (A3-A5-A6}).

199

diagramme de Pareto permet:

Outils de la Qualité

3.3 Diagramme de Pareto Le

- de distinguer dans un ensemble de facteurs ceux qui sont les plus importants;
- d'effectuer des choix;
- d'établir des priorités.

3.3.1 Élaboration

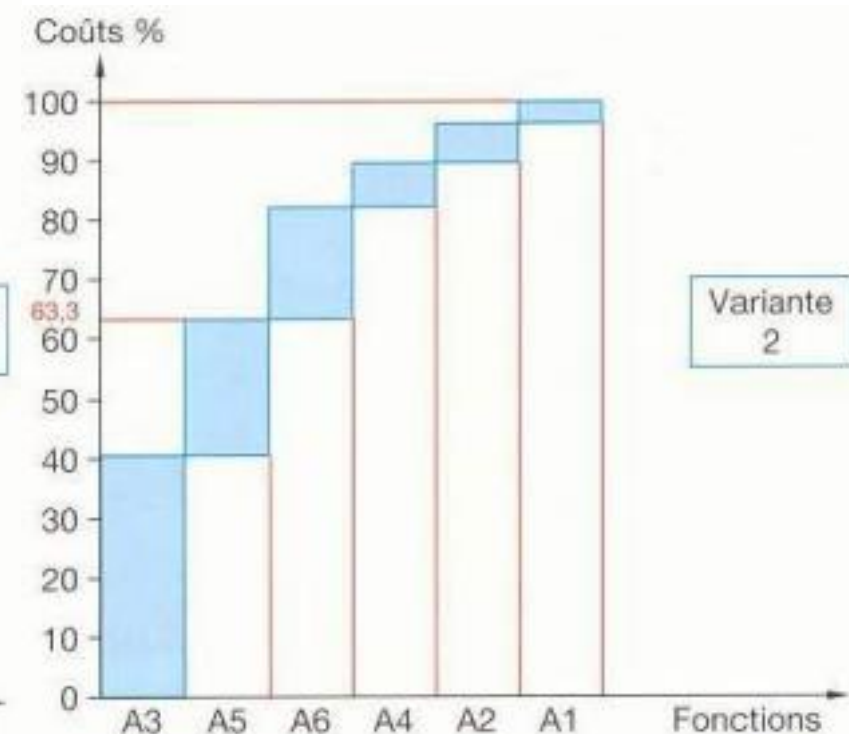
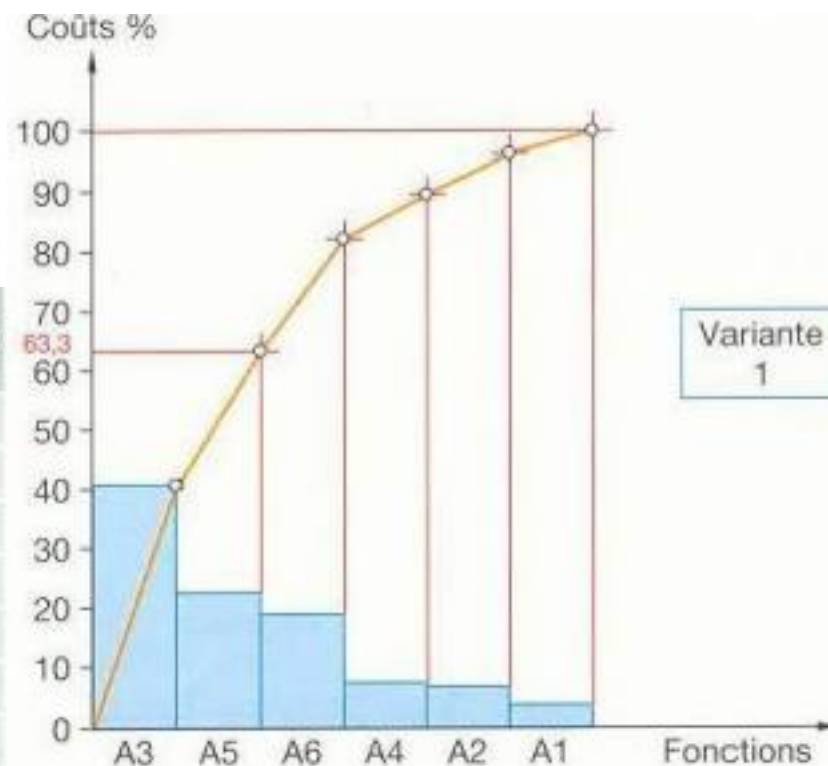
1. Les facteurs (coûts par fonction, types de produits, défauts ...) sont classés par ordre décroissant.
2. On calcule les pourcentages par catégorie.
3. On détermine les pourcentages cumulés.

200

Outils de la Qualité

3.3.2 Exemple d'application

Fonctions classées par coûts	Coût	% coût	% cumulé
A3	110	40,7	40,7
A5	61	22,6	63,3
A6	51	18,9	82,2
A4	20	7,4	89,6
A2	18	6,7	96,3
A1	10	3,7	100
TOTAL	270	100	-



- On dit aussi courbe ABC. D'après la loi de Pareto, on estime qu'environ 80% des coûts proviennent de 20% des fonctions (loi des 80-20).

Outils de la Qualité

4. Analyse du besoin

4.1 Le besoin

- Selon la norme NF X50 – 150 : Un besoin est une nécessité, un désir éprouvé par un utilisateur
- Le besoin doit être exprimé (pas facile), il est souvent latent, suscité (société de consommation...), il peut être imposé (normes, lois...).
- L'analyse du besoin va permettre de caractériser le besoin, pour rédiger le cahier des charges fonctionnel. **4.2**

Expression du besoin

- Besoin exprimé: Le client rêve en dehors de toutes contraintes, les enquêtes, les prototypes, l'analyse de la concurrence permettent aux groupes « produits » d'exprimer le besoin du client potentiel : c'est le besoin exprimé.
- L'analyse du besoin est une méthode qui contribue à la caractérisation du besoin c'est à-dire la détermination de la grandeur mesurable qui va être modifiée par l'utilisation du produit : c'est le besoin caractérisé. De plus, l'analyse du besoin peut générer l'innovation.

Outils de la Qualité

4.2.1 Graphe des prestations – « bête à cornes »

- La méthode d'expression du besoin repose sur trois questions

- **A qui** le produit rend-il service ?

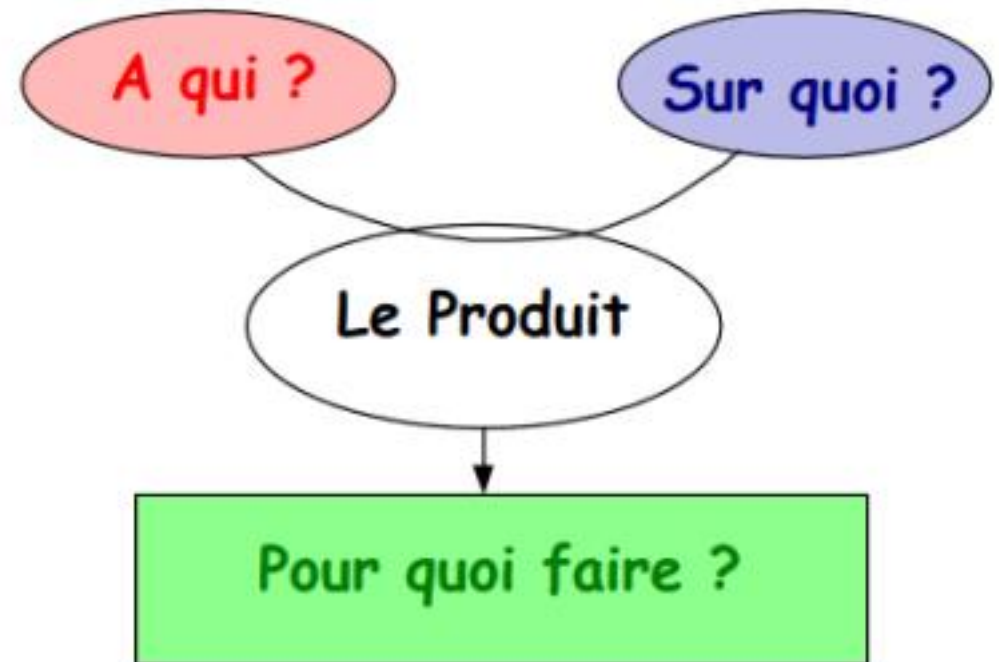
À celui qui l'utilise : le client utilisateur

- **Dans quel but** ?

Pour satisfaire le besoin exprimé

- **Sur quoi** le produit agit-il ?

Sur l'état d'une matière d'œuvre



- Le graphe des prestations est le schéma normalisé de l'expression du besoin

- Le produit rend service au **client** en agissant sur **la matière d'œuvre** pour **satisfaire le besoin**. La satisfaction du produit est générée par la modification de l'état d'une d'œuvre.

203

Outils de la Qualité

Exemple : Le Segway

Outils de la Qualité

4.2.2 Caractérisation du besoin

- L'expression du besoin n'est pas suffisante, l'étape suivante est la caractérisation du besoin : il s'agit de qualifier et quantifier. La caractérisation précise les grandeurs mesurables liées à la matière d'œuvre.
- Qualifier : identifier et d'exprimer le phénomène physique sur lequel le produit va agir et qui va générer la satisfaction du client (la matière d'œuvre).
- Quantifier : il s'agit de préciser la métrique qui va permettre d'appréhender l'effet du produit sur le phénomène et de donner le seuil de satisfaction du client. On définit un critère (grandeur physique Mesurable) et on précise une valeur c'est à-dire un niveau attendu.

Outils de la Qualité

- La caractérisation permet la validation de la satisfaction du client. Le client sera supposé satisfait lorsque le phénomène physique aura atteint ou dépassé le seuil, le niveau.

Exemple : Le Segway

- Le Segway agit sur les déplacements de l'individu, les phénomènes physiques mesurables sont en particulier la vitesse du déplacement, la distance possible (en autonomie)

207

Outils de la Qualité

4.2.3 Validation du besoin

Pour valider l'expression du besoin, il reste à poser trois questions complémentaires:

Pourquoi ?

Pourquoi le produit existe-t-il ? Cette question permet de valider l'effet de l'utilisation du produit sur la matière d'œuvre. Le produit existe pour faire évoluer la matière d'œuvre.

Evoluer ?

Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer le besoin ? Afin de valider la stabilité du besoin donc de la grandeur physique qui évolue lors de l'utilisation du produit. Cette question permet d'anticiper les évolutions du besoin.

Disparaître ?

Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître le besoin ? Cette question permet de valider la pérennité du besoin. Elle assure la pertinence de l'étude qui débute.

208

Outils de la Qualité

5. Analyse fonctionnelle du besoin

- Un produit peut être considéré comme le support matériel d'un certain nombre de fonctions.
- L'analyse fonctionnelle consiste à identifier, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser toutes les

fonctions d'un produit pendant tout son cycle de vie.

- Pour un produit donné, l'analyse fonctionnelle utilise deux points de vue interdépendants :
 - **le point de vue externe** est celui de l'utilisateur qui attend du produit des services, ou des fonctions de service;
 - **le point de vue interne** est celui du concepteur qui réalise des fonctions techniques capables d'assurer les fonctions de service

Outils de la Qualité

5.1 Identification des fonctions

MILIEU ENVIRONNANT

- Le milieu environnant d'un produit est l'ensemble des composantes physiques, humaines, économiques ... En

relation avec le produit pendant son cycle de vie (matière d'œuvre, énergie, utilisateur; dépanneur, atmosphère ... retrait du service).

- Les Eléments du Milieu Environnant (EME) peuvent être de différente nature :
 - Physique (relatif à des matériaux, au milieu ambiant...)
 - Humain (relatif à l'ergonomie, au poids, à la maintenance...)
 - Technique (relatif à la source d'énergie...)

FRONTIÈRE D'ISOLEMENT

- Afin de préciser exactement le produit support de l'analyse fonctionnelle, on définit une frontière qui délimite la zone de l'étude. On dit que l'on a isolé le produit étudié de son milieu environnant.

GRAPHES D'ASSOCIATION

- Les graphes d'association. ou graphes d'interactions ou diagrammes-pieux sont constitués par l'ensemble des éléments du milieu environnant en relation avec le produit étudié pendant son cycle de vie.

IDENTIFICATION D'UNE FONCTION

- Une fonction est identifiée par une relation entre le produit et une ou plusieurs composantes du milieu environnant.
- Les relations sont les fonctions de service du produit:
 - Relations entre deux EME par l'intermédiaire du produit
 - Relation entre un EME et le produit

FORMULATION DES FONCTIONS

- Une fonction est exprimée par un verbe d'action à l'infinitif suivi d'un complément

213

Outils de la Qualité

5.2 Contraintes

- Les contraintes sont des limitations impératives à la liberté du concepteur-réalisateur d'un produit. Par exemple :
 - sécurité;
 - respect de l'environnement ;
 - délai pour l'étude;
 - interchangeabilité ;
 - respect des normes, de règlements ou de lois ;

5.3 Critères d'appréciation

- Ces critères permettent d'apprécier la manière dont une fonction doit être respectée
- Un critère d'appréciation doit être accompagné de spécifications permettant de fixer le niveau d'exigence requis.
- Si le niveau de critère d'appréciation est une grandeur mesurable, il est parfois nommé « performance » . ▪ Afin de permettre l'optimisation du produit, donner, dans la mesure du possible, une indication de flexibilité pour les niveaux d'exigences (plage ou tolérance d'acceptation)

214

Outils de la Qualité

Exemple: un récepteur de radiodiffusion

Outils de la Qualité

5.4 Fonctions de service

- Une fonction de service est une fonction attendue d'un produit (ou réalisée par lui) pour répondre au besoin d'un utilisateur.
- Suivant l'objet de l'analyse fonctionnelle, on peut classer les fonctions de service :
 - soit par leur nature;
 - soit par leur importance (§ 27 .42).

5.4.1 Classification par nature

- Les fonctions de service peuvent correspondre à des fonctions d'usage ou à des fonctions d'estime

5.4.2 Classification par importance

- Les fonctions de service peuvent être hiérarchisées en fonctions principales et en fonctions complémentaires.

- FONCTIONS PRINCIPALES: Ce sont les fonctions qui justifient la création du produit ▪ FONCTIONS

COMPLÉMENTAIRES: Toutes les fonctions autres que les fonctions principales sont des

Outils de la Qualité

5.5 Fonctions techniques

- Une fonction technique est une action interne entre les constituants d'un produit défini par le concepteur réalisateur dans le cadre d'une solution pour assurer les fonctions de service.
- Suivant la frontière d'isolement choisie, les fonctions techniques d'un constituant appartenant à un produit complexe sont les fonctions de service de ce constituant pour son concepteur.

la fonction FT2 est une fonction technique
pour l'utilisateur, mais une fonction de service pour le
concepteur de la carte électronique.

Outils de la Qualité

6. Analyse Fonctionnel interne

- il s'agit cette fois de l'étude des fonctions de services réalisées (et non plus attendues) à partir des solutions techniques proposées par l'entreprise pour réaliser le produit. On se place du point de vue de l'exploitant ou du concepteur.

Outils de la Qualité

6.1. Outil graphique FAST : Function Analysis System Technic

6.1.1 Fonctions de service et fonctions techniques

- Chaque fonction de service est obtenue à l'aide de fonctions techniques. Ces fonctions techniques font elles appel à des solutions techniques. Lors de la conception d'un produit, il est ainsi nécessaire de confronter les fonctions de services réalisées, avec les fonctions de service attendues pour répondre au besoin exprimé.

6.1.2 L'outil graphique

- La méthode F.A.S.T. est un outil graphique qui permet de détailler les fonctions techniques et les solutions associées. Organisé de la gauche vers la droite, partant d'une fonction de service, le diagramme F.A.S.T. recense toutes les fonctions techniques et pour finir il présente les solutions technologiques définies.
- Il est basé sur une méthode interrogative : pour chaque fonction technique indiquée dans un rectangle on doit pouvoir trouver autour les réponses aux questions définies ci-dessous.

Outils de la Qualité

Pourquoi une fonction doit-elle être assurée ?

Comment cette fonction doit-elle être assurée ?

Quand cette fonction doit-elle être assurée ?

- Les règles de syntaxe sont les suivantes :

Les nombres de lignes et de colonnes ne sont pas fixés, ils dépendent du système. # La rubrique **Quand** n'est généralement pas spécifiée, pour une description fonctionnelle. # Pour la question "Comment ?" il y a généralement plusieurs éléments de réponse, deux possibilités sont alors prévues :

Outils de la Qualité

Exemple : Le Segway®

Outils de la Qualité

6.2 Outil graphique SADT : Structured Analysis & Design Technic

- Il s'agit d'un outil d'analyse descendante d'un système, qui permet une étude progressive : du global, vers le détail.

La méthode appliquée industriellement est un outil de communication entre des personnes d'origines différentes.

Il permet la dans un langage commun la vision de synthèse qu'ils ont d'un même projet.

- La méthode SADT est une méthode graphique qui part du général pour aller au particulier. Elle permet de décrire

des systèmes où coexistent des flux de matières d'œuvre (produits, énergies et informations). Elle s'appuie sur

la mise en relation de ces différents flux avec les fonctions que remplit le système.

- Le modèle de représentation prend la forme d'Actigrammes, rectangles basés sur les activités ou les fonctions

du système.

223

Outils de la Qualité

224

Outils de la Qualité

- Les Actigrammes sont définis par :
 - Les entrées : **SUR QUOI** agit la fonction ?
 - Les sorties : **QUE DEVIENNENT** les entrées, après réalisation de la fonction ?
 - Les contraintes de pilotage : éléments qui **paramètrent** et modulent la fonction.
 - Les moyens (support d'activités) : c'est la réponse à la question : **QUI** réalise la fonction ?

- Le niveau A-0 (le plus global) pour la fonction globale à l'extérieur du rectangle on trouve l'environnement, ainsi défini après avoir isolé le système ;
- La description du global vers le détail est réalisée par des niveaux hiérarchisés

Le niveau A0 après décomposition de la fonction globale en fonctions principales, ce niveau regroupe les Actigrammes A1, A2, A3... (il est recommandé de ne pas dépasser six fonctions principales) ;

Au-delà l'actigramme A1 peut-être développé à un niveau inférieur regroupant A11, A12... La numérotation permet de connaître le niveau d'emboîtement.

Chaque boîte possède les éléments d'un actigramme (entrées, sorties, contraintes, moyens)

6.3. Architecture fonctionnelle : Chaîne d'énergie / Chaîne d'Information

6.3.1. Architecture d'une chaîne fonctionnelle

- L'étude des systèmes pluri-techniques conduit à établir l'architecture fonctionnelle d'un produit à partir des flux de Matière – Energie – Information, et d'en identifier les fonctions techniques génériques.

- Pour chaque chaîne fonctionnelle, on peut établir un graphique.

6.3.2. Composants industriels associés

Chaîne d'information

Outils de la Qualité

6.3.3. Exemple : la porte de garage

- L'opérateur appuie sur le bouton de la télécommande pour fermer la porte du garage (consigne de l'utilisateur).

La chaîne d'informations, composée d'un boîtier électronique et de capteurs, détecte le signal et ordonne, lorsqu'elle en reçoit l'ordre, la mise en route du moteur afin d'ouvrir la porte (ordre).

- La photocellule empêche la fermeture de la porte si elle

détecte la présence d'un objet (personne, voiture, animal...)

- Il y a aussi des capteurs qui permettent de connaître l'état de

la porte (ouverte ou fermée).

