

1 Analyse Fonctionnelle

(Principe, Fonctions, Outils, et Nomes , Outils PERT)

I.1 BUT ET DOMAINE D'APPLICATION DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE

En phase de conception, l'étude de la sûreté de fonctionnement d'un système nécessite de disposer préalablement d'une analyse fonctionnelle qui consiste à définir, avec précision, les limites matérielles du système étudié, les différentes fonctions et opérations réalisées par le système et les diverses configurations d'exploitation. Cette première étape permet de réaliser une décomposition hiérarchique du système en éléments matériels et/ou fonctionnels.

Or celle-ci n'apporte pas d'informations sur les modes de défaillance, leurs effets, leur occurrence et leur criticité. Il est donc nécessaire de la compléter par une deuxième analyse prenant en compte les dysfonctionnements. Ces deux analyses complémentaires, si elles sont réalisées d'une manière pertinente, peuvent permettre de modéliser plus finement un système complexe, grâce par exemple, aux Réseaux de Pétri. On propose dans cet article d'appliquer différentes méthodes classiques employées en sûreté de fonctionnement afin d'étudier un système mécatronique simple.

L'analyse fonctionnelle s'applique chaque fois qu'il est utile de définir ou redéfinir un produit, au sens large du terme, matériel ou immatériel.

Exemples:

- **Produit objet:** lampe de bureau, briquet, automobile, machine, etc.
- **Processus administratif :** service processus d'achats, gestion des ressources humaines,
- **Processus technique :** chaîne d'assemblage, atelier de traitements, atelier d'usinage, etc.
- **Système:** système de communication, de sécurité etc.
- **Service:** après-vente, maintenance, nettoyage de locaux, etc.
- **Prestation intellectuel** normes, logiciel de gestion, scénario, etc.

I.2 PRINCIPES DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE

Les techniques de l'analyse fonctionnelle ont été appliquées à partir des années 60 dans le domaine industriel. Pour la conception dans le secteur aéronautique, spatial et nucléaire pour prendre en compte les attentes des utilisateurs ainsi que les paramètres de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité, de sécurité et de sûreté du système. L'analyse fonctionnelle des fonctions à garantir. Elle établit de façon systématique ex exhaustive les relations fonctionnelles à l'intérieur et à l'extérieur de ce système. En d'autres termes, l'analyse

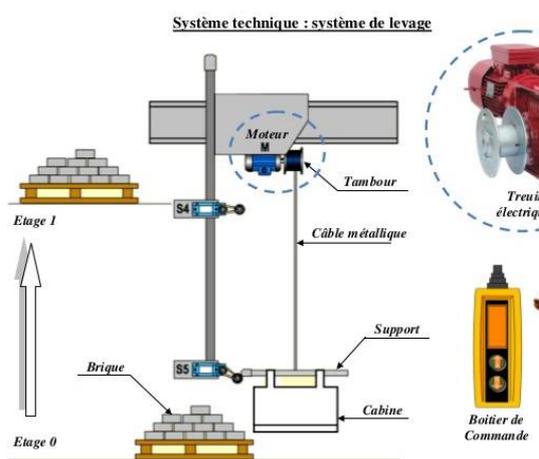
fonctionnelle consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un système pour satisfaire les besoins de son utilisateur. Les concepts fondamentaux introduits dans les méthodes d'analyse fonctionnelle sont :

- La description du besoin de l'utilisateur par rapport à un système en termes de fonction à garantir.
- La description des choix technologiques imposés aux systèmes en termes de contraintes.
- La description du système en termes de fonctions de service ou d'usage et de fonctions de contraintes.
- L'optimisation du besoin sur le plan économique et technique.

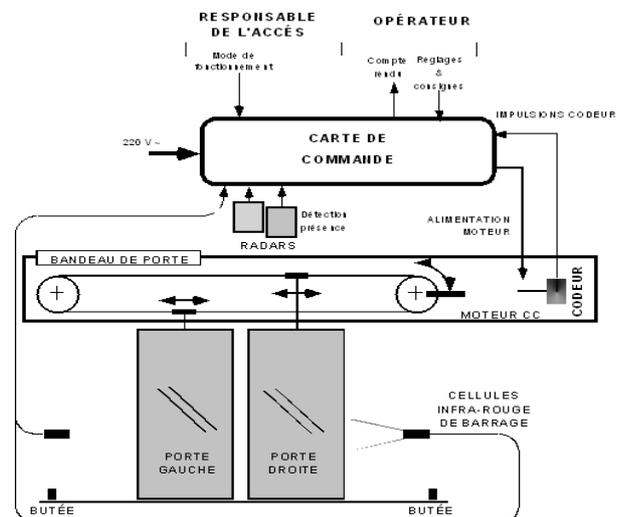
I.3 NOTION DE SYSTEME

C'est un assemblage organisé d'objets reliés ou branchés les uns aux autres, de façon à former une entité, remplissant une ou plusieurs fonctions permettant de rendre un service à l'utilisateur. Les systèmes techniques concernent absolument tous les domaines industriels :

- **Industrie de base** : sidérurgie, industrie chimique.
- **Industrie des biens d'équipement** : moteurs, machines-outils.
- **Industrie des biens de consommation** : automobiles, électroménager
- **Industrie des services** : distribution
- **Industries de pointe** : informatique, aéronautique



Exemple de système technique

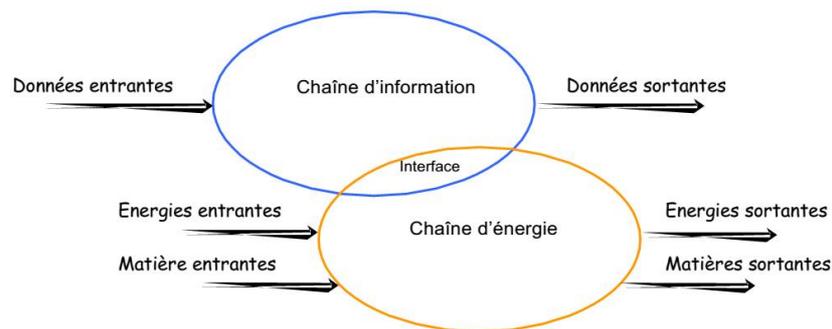


Exemple de système automatisé

I.3.1 Système technique : La norme NFE 90-001 définit un système technique comme "un ensemble d'éléments interconnectés de façon logique, qui se coordonnent pour réaliser une tâche précise".

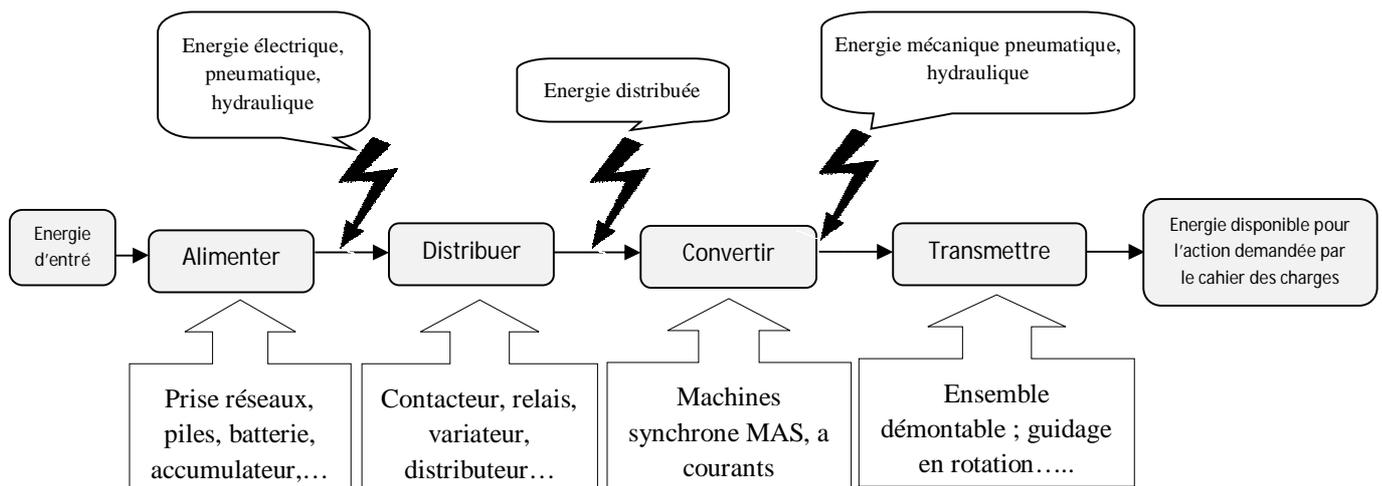
I.3.2 Système automatisé : Un système est dit automatique s'il réalise la fonction seul, sans intervention humaine.

La fonction globale de tout système technique est **d'apporter une valeur ajoutée à un flux de matière, de données (informations) et (ou) d'énergie**. Pour chacun de ces trois types de flux, un ensemble de procédés élémentaires de stockage, de transport et (ou) de traitement est mis en œuvre pour apporter la valeur ajoutée au(x) flux entrant(s). On peut distinguer au sein des systèmes deux chaînes, l'une agissant sur les flux de données, appelée **chaîne d'information**, l'autre agissant sur les flux de matières et d'énergies, appelée **chaîne d'énergie**.



I.3.3 Chaîne d'énergie

La chaîne d'énergie, associée à sa commande, assure la réalisation d'une fonction dont les caractéristiques sont spécifiées dans le cahier des charges des charges fonctionnel. Repérable sur la plupart des produits et systèmes de notre environnement et des milieux industriels, elle est constituée des fonctions génériques : **Alimenter, Distribuer, Convertir, Transmettre** qui contribuent à la réalisation d'une action (**Agir**) sur la matière d'œuvre.



I.3.4 Chaîne d'information : La chaîne d'information permet :

1°. D'acquérir des informations

- Sur l'état d'un produit ou de l'un de ses éléments
- issues d'interfaces homme/machine ou élaborées par d'autres chaînes d'information,

- sur un processus géré par d'autres systèmes (partage de ressources),
- 2°. De traiter ces informations.
 - 3°. De communiquer les informations générées par le système de traitement pour réaliser l'assignation des ordres destinés à la chaîne d'énergie ou (et) pour élaborer des messages destinés aux interfaces homme/machine (ou à d'autres chaînes d'information).

I.4 TYPES D'ANALYSES FONCTIONNELLES

L'AF permet d'éviter certains pièges classiques de la conception (aveuglement, manque d'objectivité, mauvaise gestion des priorités). Dans les faits, les premières étapes de l'AF sont générales et **concernent tous les acteurs** d'un même projet. C'est seulement dans un deuxième temps que l'AF devient technique, et oriente les concepteurs vers des solutions techniques. L'AF rend ainsi possible un dialogue entre tous les intervenants d'un projet (quels que soient leurs domaines de compétence). C'est un gage d'objectivité et de créativité dans la conduite du projet.

Lors d'une démarche d'analyse fonctionnelle, les concepteurs (au sens large) du produit doivent suivre les étapes suivantes, présentées dans l'ordre chronologique.

Outils	Résultat attendu
Analyse du B esoin (A.B)	Cahier des charges du besoin (note de cadrage).
Analyse F onctionnelle du B esoin (A.F.B.)	Cahier des charges fonctionnel
Analyse F onctionnelle T echnique (A.F.T.)	Cahier des charges technique (spécification technique).

- L'Analyse du Besoin permet **d'exprimer le besoin**.
- L'Analyse Fonctionnelle du Besoin permet d'identifier les relations du produit avec son contexte d'utilisation, afin de dégager des **Fonctions de Service**, aptes à satisfaire le besoin.
- L'Analyse Fonctionnelle Technique permet de déterminer les **Fonctions Techniques** nécessaires aux fonctions de service. Ces fonctions techniques guident les concepteurs dans la recherche des **solutions technologiques**.

I.4.1 Analyse fonctionnelle du besoin (A.F.B)

L'Analyse Fonctionnelle du Besoin porte sur les *fonctions* du produit à concevoir. Elle ne préjuge pas ni des fonctions techniques induites ni des solutions constructives capables qui seront recherchées au stade de l'Analyse Fonctionnelle Technique.

Qu'est-ce qu'un Besoin ?: Selon AFNOR " Un besoin est un désir (ou une nécessité) éprouvé par l'utilisateur d'un système "

Les principaux besoins de l'homme sont : se nourrir, se protéger, se reposer, se soigner, communiquer, se déplacer, ... Chacun de ces besoins primaires peuvent se décomposer en autres besoins. Notons que les besoins de l'homme évoluent avec le temps.

I.4.2 Verbalisation du besoin

La méthode de l'Analyse du Besoin s'appuie sur deux hypothèses :

Hypothèse 1 : *La satisfaction du besoin est réalisée par l'utilisation du produit à concevoir.*

Hypothèse 2 : *Le besoin est satisfait par le changement d'état d'une matière d'œuvre.*

Pour verbaliser le besoin, il faut se poser trois questions :

<i>Questions</i>	<i>Réponses (à détailler)</i>
A qui le produit rend-il service ?	Au client
Sur quoi le produit agit-il ?	Sur la matière d'œuvre
Dans quel but ?	Pour satisfaire le besoin

La réponse à ces quelques questions élémentaires permet de situer rapidement les besoins, c'est-à-dire l'objectif fondamental du produit et par conséquent l'objectif de l'étude de ce produit. C'est une des premières étapes à franchir avant d'aller plus avant dans la démarche d'analyse fonctionnelle.

Exemple : Un caméscope grand public

✚ A quoi sert-il ?

- A enregistrer des images sonorisées.
- A réaliser des films de réalité ou de fiction
- A effectuer éventuellement de la surveillance

✚ A qui sert-il ?

- A toute personne devenant enregistrer/
- A obtenir des revenus à l'entreprise qui le vend

I.4.3 Analyse fonctionnelle du produit (A.F.P)

I.4.3.1 Définition et caractéristiques

Au regard de la définition du besoin, le produit est le résultat d'un processus de conception visant à répondre à un besoin. Selon la norme NF X 50-100, « le produit n'est que le support des fonctions de service » issues de l'analyse fonctionnelle du besoin. Un produit peut être un service, un bien matériel, une application informatique, un processus industriel ou administratif, etc.

Un produit est défini par ses caractéristiques :

- 1°. d'usage : alimentaire, vestimentaire, équipement,...
- 2°. de provenance : naturel, art, industriel, agricole,...
- 3°. de constitution : mécanique, chimique, électrique, mixte (électromécanique),...

On distingue plusieurs catégories de produit :

- Les produits « Objets » tels qu'une voiture, un avion, ...etc.
- Les processus techniques tels qu'un procédé de transformation de matière ou de traitement de surface, etc.
- Les processus administratifs tel qu'un organisme de sécurité sociale, une compagnie d'assurance, un service bancaire, etc.
- Les services qui sont généralement la combinaison d'un processus administratif et de procédés techniques, tels qu'une entreprise de nettoyage, d'entretien d'ascenseurs, etc.
- Un produit immatériel tel qu'un logiciel.

1.4.3.2 Interface produit / environnement : Elle est l'interface entre le produit et son environnement, et sépare deux milieux :

- ✚ **Le milieu interne :** ce sont les organes, les éléments, les pièces qui constituent le produit. C'est la partie technique qui a été pensée et définie par les concepteurs.
- ✚ **le milieu externe :** c'est l'utilisateur et tout l'environnement humain. Il est diversifié et non maîtrisé par les concepteurs. Tout juste ont-ils pu tenter d'en prévoir la nature et les aléas. L'interface entre les deux milieux est ce que l'utilisateur achète. Il y a donc lieu de concevoir la partie technique comme au service de l'interface et non pas l'interface comme un accessoire de la partie la plus technique du produit.

I.5 FONCTIONS

1.5.1 définition : Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité. Une fonction est formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments. Pour trouver les fonctions on doit suivre la démarche suivante :

- Recenser l'ensemble des éléments susceptibles d'entrer en contact avec le produit, (exemple pour un baladeur MP4 : casque, morceaux de musique, films, poche, carte mémoire,...)
- Identifier les exigences du produit vis-à-vis des éléments recensés,
- Transformer ces exigences en fonctions en l'énonçant avec un verbe à l'infinitif. (exemple pour le baladeur : doit permettre à l'utilisateur de visionner des films)

- Précisez les fonctions par des **critères** d'appréciation et des **niveaux** délimités par une **flexibilité**.

a. Critère : Le critère précise la fonction technique en donnant un moyen de l'évaluer (exemple : pour le baladeur, on peut avoir un critère « taille suffisante de la mémoire de masse »)

b. Niveau : le critère est défini par un ou plusieurs niveaux chiffrés (ex : 1 Go).

c. Flexibilité : C'est la tolérance du niveau ou les limites acceptables (ex : + ou – 100Mo)

I.5.2 Différentes Fonctions

I.5.2.1 Fonction de service ou fonction principale : Action attendue d'un produit ou réalisée par lui pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné.

Les fonctions de service comprennent les fonctions d'usage et les fonctions d'estime. Les fonctions d'usage traduisent la partie rationnelle du besoin et les fonctions d'estime, sa partie subjective.

I.5.2.2 Fonctions Complémentaires : Elles correspondent à un besoin complémentaire qui doit être satisfait au même titre que le besoin principal. Elles complètent, améliorent le service rendu

I.5.2.3 Contraintes : Limitation à la liberté de choix du concepteur - réalisateur d'un produit. Les contraintes viennent de l'environnement, de la technologie, du marché, de la situation... Elles peuvent être de diverses natures.

Les fonctions principales et de contrainte sont les suivantes.

1°. Fonctions principales

- **FP1 :** Obtenir une bonne visibilité à travers les vitres du véhicule
- **FP2 :** Chauffer la glace pour la faire fondre
- **FP3 :** Evacuer les résidus de givre et les traces d'eau restants sur les vitres pour éviter le regivrage
- **FP4 :** Etre pratique d'utilisation
- **FS1 :** Etre léger
- **FS2 :** Etre facilement manipulable
- **FS3 :** Etre peu encombrant

2°. Fonctions contraintes

- **FC1 :** Doit respecter les normes (homologation)
- **FC2 :** Doit être résistant en conditions normales d'utilisation et face aux intempéries

- **FC3** : Doit s'adapter à tout type de véhicule ayant des vitres à dégivrer
- **FC4** : Doit être esthétique
- **FC5** : Doit avoir un prix d'achat accessible
- **FC6** : Doit assurer le dégivrage pendant un temps suffisamment long
- **FC7** : Doit être recyclable
- **FC8** : Doit pouvoir se nettoyer facilement
- **FC9** : Doit atteindre rapidement et maintenir la température d'utilisation quelle que soit la température extérieure.
- **FC10** : Doit faire fondre le givre
- **FC11** : Doit être utilisable sans danger par l'utilisateur (brûlures, coupures...)
- **FC12** : Ne doit pas abîmer le véhicule (vitres, joints, carrosserie...)

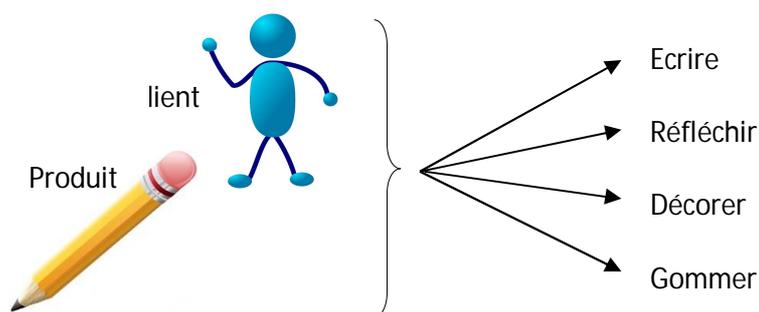
3°. Fonctions d'estime (Complémentaire)

- **FE1** : Etre innovant
- **FE2** : Etre vendu dans les magasins spécialisés
- **FE3** : Etre associé à un packaging spécifique
- **FE4** : Avoir un aspect robuste.

I.6 CONCEPTS DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE

I.6.1 Générateur de service

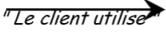
L'hypothèse de base de la méthode est que le besoin du client est satisfait par l'utilisation du produit. Le point de vue retenu est celui de considérer le produit comme un générateur de services et plus précisément de prestations (figure 1).

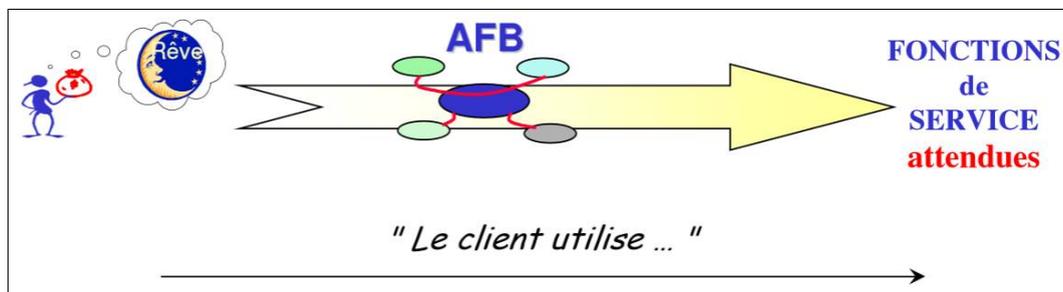


L'utilisation du produit génère des prestations

La méthode permet d'aborder, au travers des différentes phases du cycle de vie, toutes les situations génératrices de prestations clients.

I.6.3.2 Modélisation du client

 "Le client utilise"	La méthode permet la caractérisation des fonctions de service attendues par le client qui utilisera le produit
	Le rêve du client est traduit par le cahier des charges des prestations.
	A partir des prestations caractérisées, l'entreprise caractérise le besoin qu'elle se propose de réaliser, exprimé par des fonctions de service.
	L'outil permettant de caractériser des fonctions de service attendues par l'entreprise pour le client est : l'Analyse Fonctionnelle du Besoin (AFB) (voir la ressource « Analyse Fonctionnelle du Besoin »).



I.6.4 Modélisation du produit

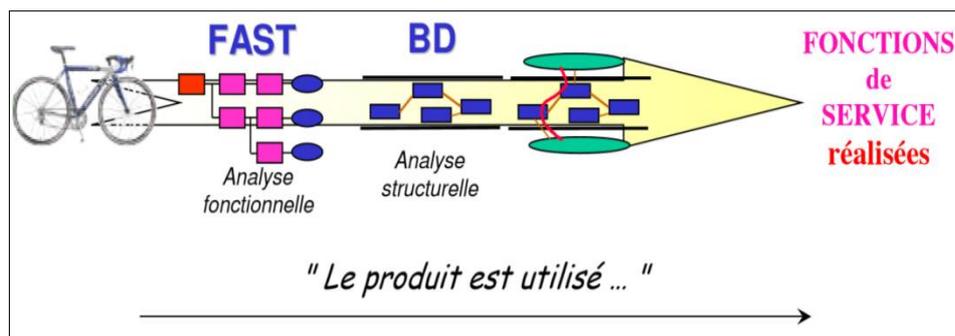
L'entreprise réalise des produits industriels. Ceux-ci peuvent être caractérisés par l'organisation des solutions techniques qui les constituent.

Les outils d'analyse fonctionnelle technique utilisés sont :

- Le FAST, outil d'analyse fonctionnelle,
- Le Bloc Diagramme, outil d'analyse structurelle.

Beaucoup d'autres outils sont utilisés, on peut retenir :

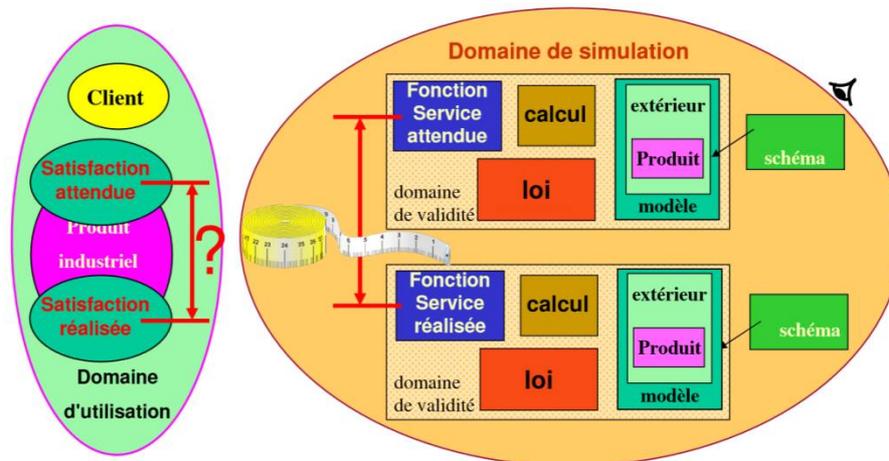
- Le graphe S.A.D.T.
- Le graphe de conception.



L'objet de l'analyse fonctionnelle sera donc de caractériser les fonctions de service réalisées par l'entreprise à partir des solutions techniques qu'elle se propose de réaliser.

I.6.5 défaillance potentielle

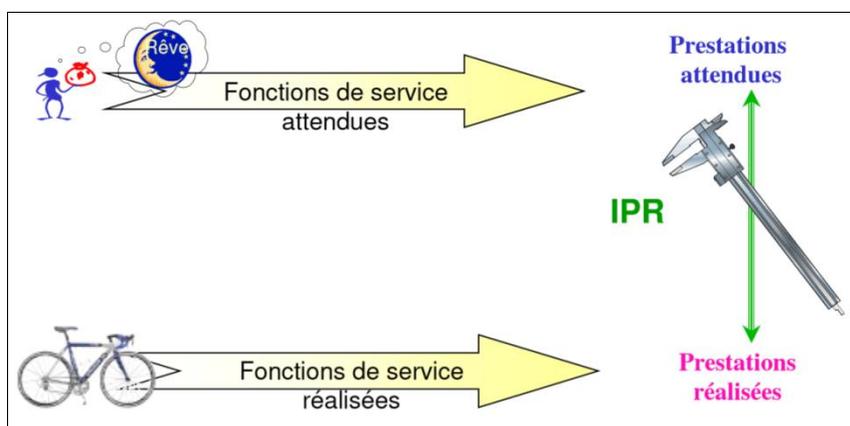
La prévision de l'écart entre la satisfaction attendue et la satisfaction réalisée est évaluée par la mesure de l'écart entre les niveaux des fonctions de service réalisées et attendues. Cet écart est appelé non-conformité au sein de l'entreprise puisqu'il est l'écart entre l'objectif attendu et celui réalisé.



I.7 ANALYSE FONCTIONNELLE ET MAITRISE PREVISIONNELLE DES PRESTATIONS (MPDP)

I.7.1 Introduction

A partir des fonctions de service réalisées, il est possible de remonter aux prestations réalisées afin de mesurer l'écart avec les prestations attendues caractérisées par l'analyse du besoin ; C'est en ce sens que l'analyse fonctionnelle est un outil privilégié de la maîtrise prévisionnelle des prestations.



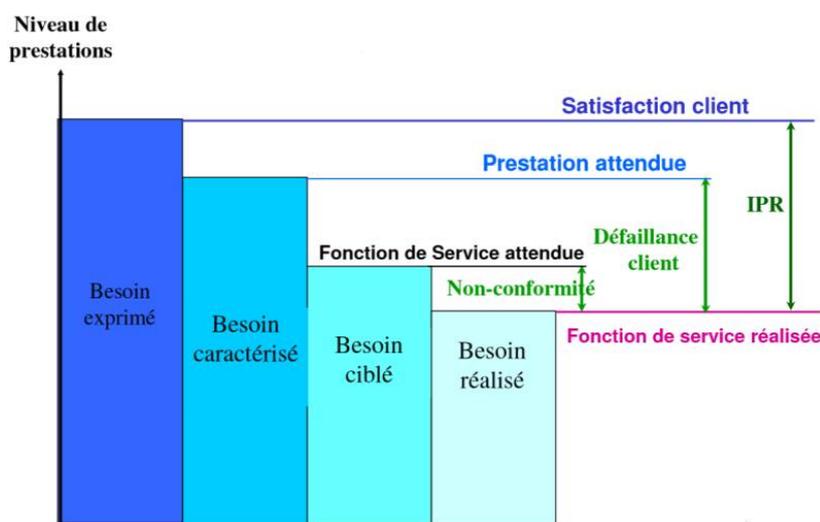
L'écart entre la prestation attendue et la prestation réalisée eut entre donné par l'*IPR* (Indice Prévisionnel de Risque) (voir ressource « *La Maîtrise Prévisionnelle des Prestations : concepts* »)

1.7.2 Mesure des défaillances

Le besoin exprimé par le client est caractérisé à l'aide de l'Analyse du Besoin (voir la ressource « *Analyse du Besoin* »). A partir de ces prestations attendues par le client, l'entreprise se définit un objectif à l'aide de fonctions de service : le besoin ciblé. Ensuite elle conçoit un produit caractérisé par le besoin qu'il réalise.

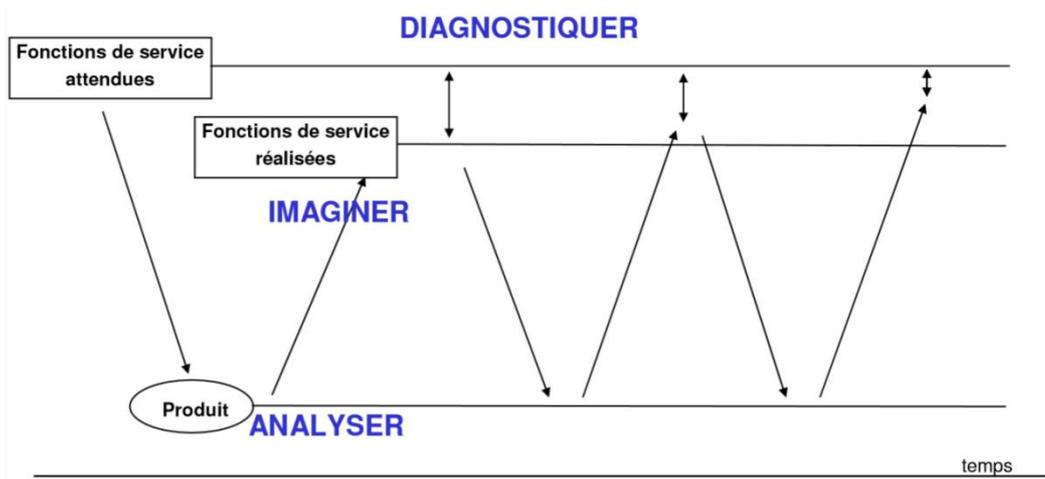
Les défaillances internes à l'entreprise (ou non-conformité) se mesurent entre les fonctions de service réalisées et celles qu'elle se proposait de réaliser. Les défaillances relatives au client se mesurent entre les prestations attendues par le client et les prestations réalisées par le produit. L'écart entre la satisfaction exprimé par le client potentiel et la satisfaction apportée par l'utilisation du produit peut être évalué avec le modèle proposé : C'est l'*IPR*.

Sa simulation permanente au cours de la réalisation du produit permet un pilotage par l'entreprise. C'est l'objet de la MPdP.



1.7.3 Synthèse

La conception du produit est le fruit d'aller-retour entre les domaines de l'analyse et de l'imagination. L'objectif est défini sous la forme de fonctions de service attendues. Il est alors défini une solution à partir de l'existant. Cette solution est mise en situation d'usage pour imaginer les fonctions de service réalisées. Celles-ci sont comparées aux fonctions de service attendues. Si l'écart est jugé trop grand, il est proposé une autre solution dont on imagine les fonctions de service réalisées. Ce va-et-vient se poursuit jusqu'à la réalisation d'une solution acceptable.



I.8 OUTILS D'ANALYSE FONCTIONNELLE

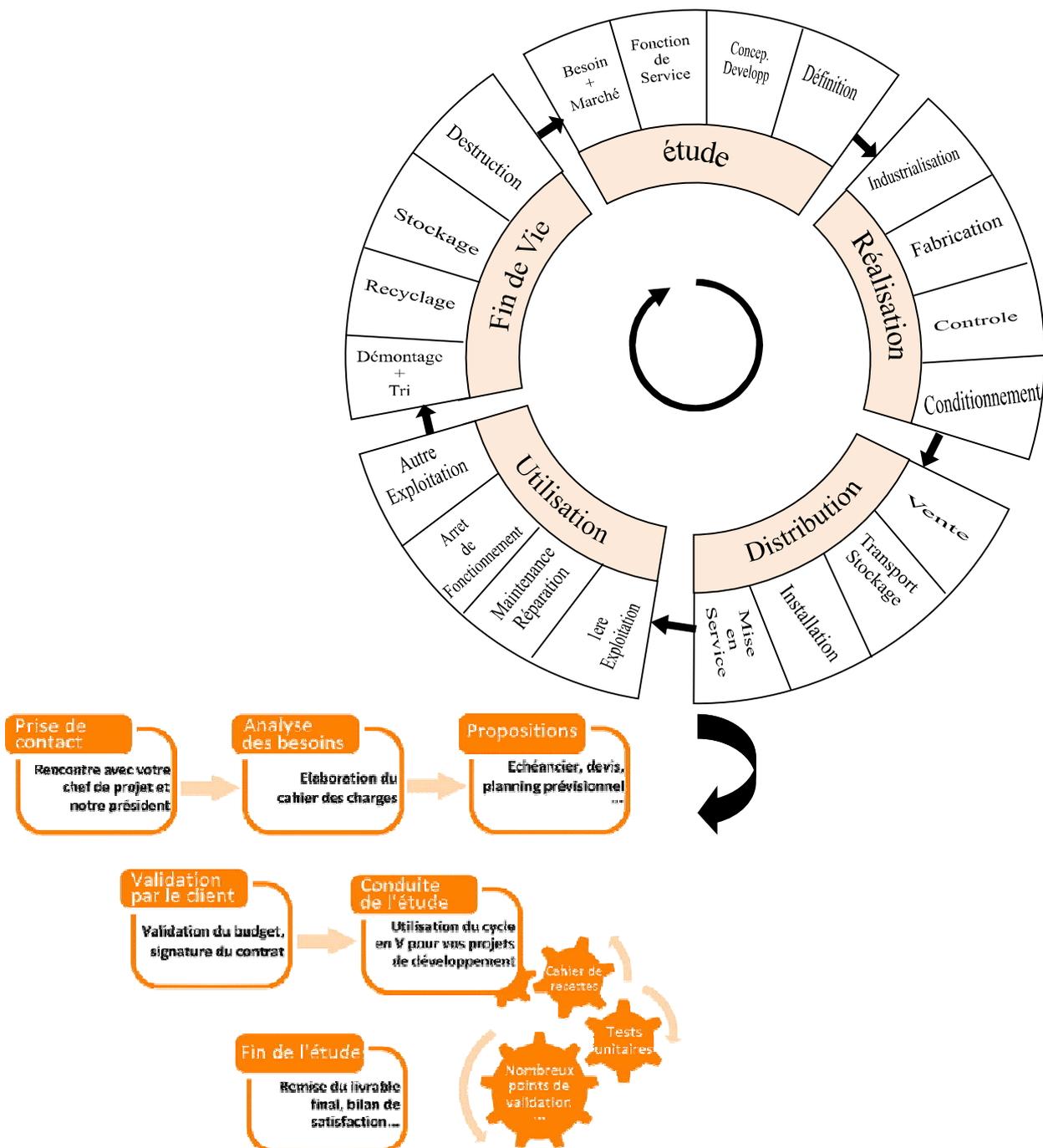
I.8.1 Démarche de Projet Industriel (DPI) :

Conduire un projet revient à prendre les mesures nécessaires pour atteindre les objectifs du projet, à savoir développer et livrer un produit de qualité, en maîtrisant les ressources et les délais. On appelle conduite de projet l'organisation méthodologique mise en œuvre pour faire en sorte que l'ouvrage réalisé par le maître d'œuvre réponde aux attentes du maître d'ouvrage et qu'il soit livré dans les conditions de coût et de délai prévus initialement. Pour ce faire, la gestion de projet a pour objectifs d'assurer la coordination des acteurs et des tâches dans un souci d'efficacité et de rentabilité. La conduite de projet est un processus difficile à maîtriser car interviennent plusieurs facteurs de risques tels que les coûts et les délais à respecter, les technologies à maîtriser, les ressources humaines à gérer. Le choix d'une méthodologie pour conduire un projet est un atout permettant à tous les acteurs du projet de mener conjointement une action organisée selon des règles clairement exprimées. Cette méthodologie commune est d'autant plus importante que les acteurs du projet sont parfois amenés à changer en partie au cours du projet.

La DPI consiste à sélectionner les meilleures méthodes, au meilleur moment, afin de faire évoluer le produit dans son cycle de vie selon les critères essentiels suivants:

- 🚦 le plus vite possible pendant les phases d'étude, de réalisation et de distribution.
- 🚦 dans le respect du cahier de charges pendant l'utilisation
- 🚦 le plus économiquement et proprement possible dans la phase "fin de vie".

La modélisation de la notion de cycle de vie se fait comme suit :



1.8.2 La Bête a corne : Recherche de la fonction globale :

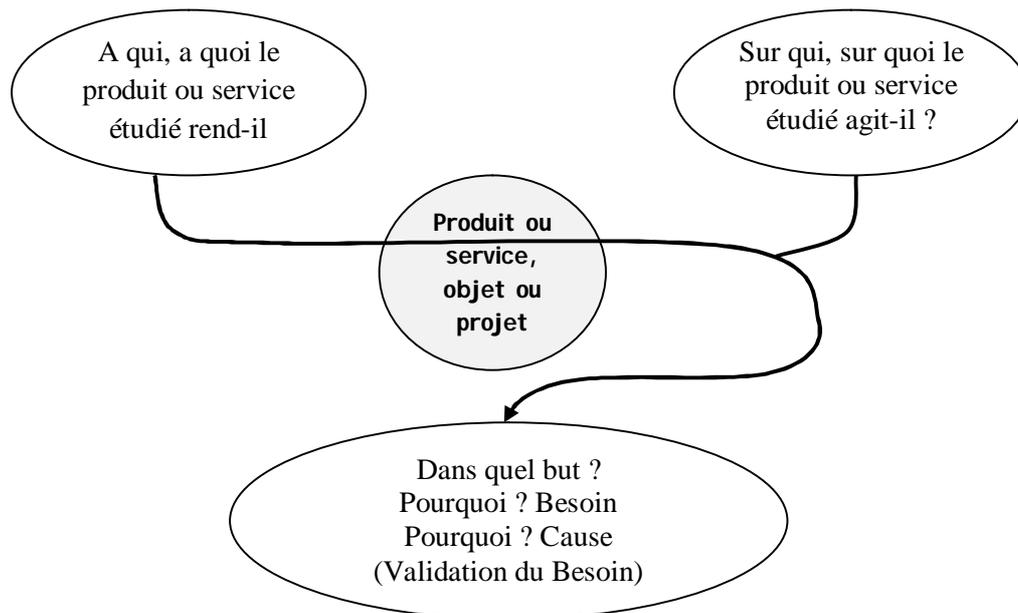
Cet outil (qui est un des éléments de la méthode APTE) définit le **besoin** auquel répond le **système**. Souvent les acteurs d'un projet privilégient des solutions déjà connues sans analyser concrètement le besoin qui justifie le projet. Avant d'imposer un « comment » ou une solution, il faut se tourner vers l'utilisateur et/ou le demandeur, pour aboutir de manière structurée à la solution, car un projet n'a de sens que s'il satisfait le besoin. Il convient donc

d'exprimer le besoin et rien que le besoin dès le lancement d'un projet. Il s'agit d'explicitier l'exigence fondamentale qui justifie la conception, ou la reconception d'un produit.

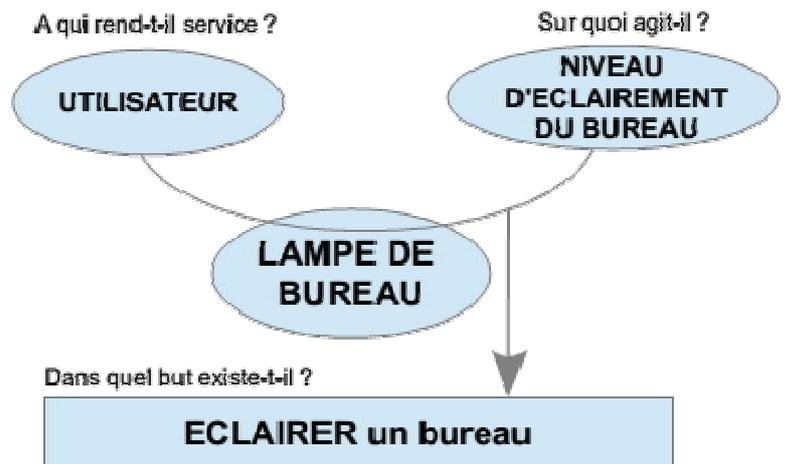
Pour cela, il est essentiel de se poser les trois questions suivantes :

- A qui, à quoi le produit rend-il service ?
- Sur qui, sur quoi agit-il ?
- Dans quel but ? (pour quoi faire?)

La bête à cornes est un outil de représentation de ces questions fondamentales.



Exemple : Lampe de Bureau



I.8.3 La Pieuvre

La pieuvre permet de représenter les **fonctions de service** d'un objet et leurs relations.

A noter qu'on distingue deux types de fonctions de service :

- les Fonctions Principales (**FP**), c'est à dire à quel besoin répond le produit.
- les Fonctions Contraintes (**FC**), ces contraintes peuvent être liées :
 - au fonctionnement et à la durée de vie ;
 - à la sécurité;
 - à l'esthétique et à l'ergonomie
 - à l'impact environnemental et au développement durable;
 - aux aspects économiques (budget et coût)

Fonctions De Service :

FP1 : Permettre à l'utilisateur d'éclairer le plan de travail.

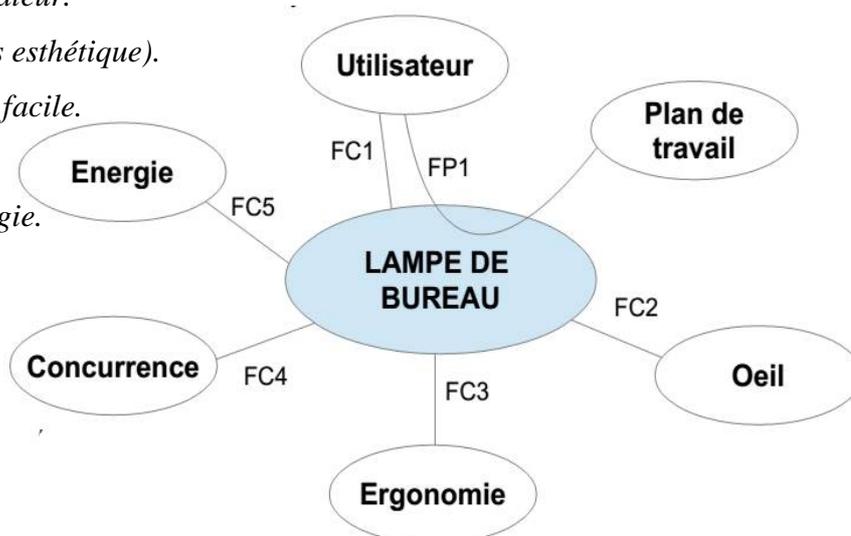
FC1 : Ne pas éblouir l'utilisateur.

FC2 : Plaire à l'œil (au sens esthétique).

FC3 : Etre de prise en main facile.

FC4 : Etre compétitif (prix).

FC5 : Etre alimenté en énergie.



I.8.4 Tableau d'analyse fonctionnelle (TAF)

Pour un système donné, nous constituons une liste des fonctions principales, techniques et des contraintes lues sur le bloc de diagramme fonctionnel (BdF) dans le but d'obtenir un tableau qui représentera le Tableau d'analyse Fonctionnelle.

Critères D'évaluation : paramètre retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée.

Echelle D'évaluation Ou Niveau : repère dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction

Tolérance Acceptée :

- **Flexibilité** : indication sur les possibilités de moduler un niveau pour un critère

- **Limites** : niveau de critère d'appréciation au-delà ou en-deçà duquel le besoin est non satisfait (minimum, maximum)

N°	Désignation	K	Critère	Niveau	Tolérance	F
1	Couper le Gazon	5	Hauteur Netteté de coupe	20 mm sans Arrachement	+11 mm - 8 mm	2
2	Tailler les touffes	2	Aspect	Test	-	3
3	Récupérer l'herbe coupée	2	Volume	1/8 m ³	±10	2
4	Etre puissante	3	Puissance	500 W	±10%	0
5	Permettre le vidage	1	Accès	-	-	2
			Temps		±10%	3
			Facilité		-	3
6	Etre Maniable	2	Efforts	3 dN	±10%	1
			Poids	15 Kg	+0,-10%	1
			Vitesse	20m/min	±5 %	2

La désignation des coefficients K et F sont :

K : 1 : utile- **2** : nécessaire-**3** :Important-**4** : Très important-**5** :Vital.

F : 0 :impératif-**1** :peu négociable-**2** :négociable-**3** :très négociable.

I.8.5 F.A.S.T de la fonction globale à la solution

Le diagramme FAST est tracé de gauche à droite selon deux axes de questionnement : L'axe orienté de la gauche vers le droit du *Comment ?* et l'axe inverse du *Pourquoi ?* on place à gauche la fonction principale qui est la réponse à la question *Comment ?* Permettant de déduire les fonctions qui la réalisent. Les fonctions justifiant une réponse à la question *pourquoi ?* sont dites de rang supérieur. La chaîne du *Comment ?* qui relie les fonctions de rang inférieur, montre le chemin critique. La réponse à la question *Quand ?* détermine les fonctions qui doivent être satisfaites simultanément.

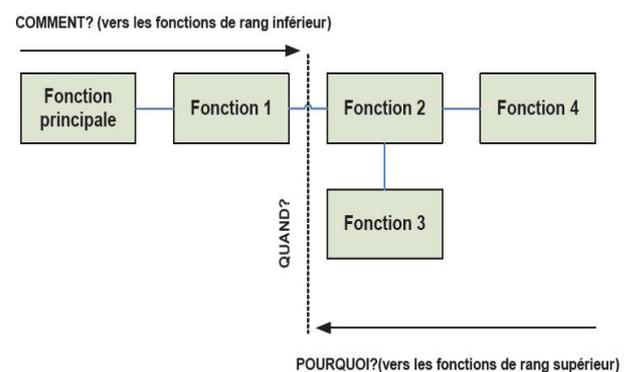
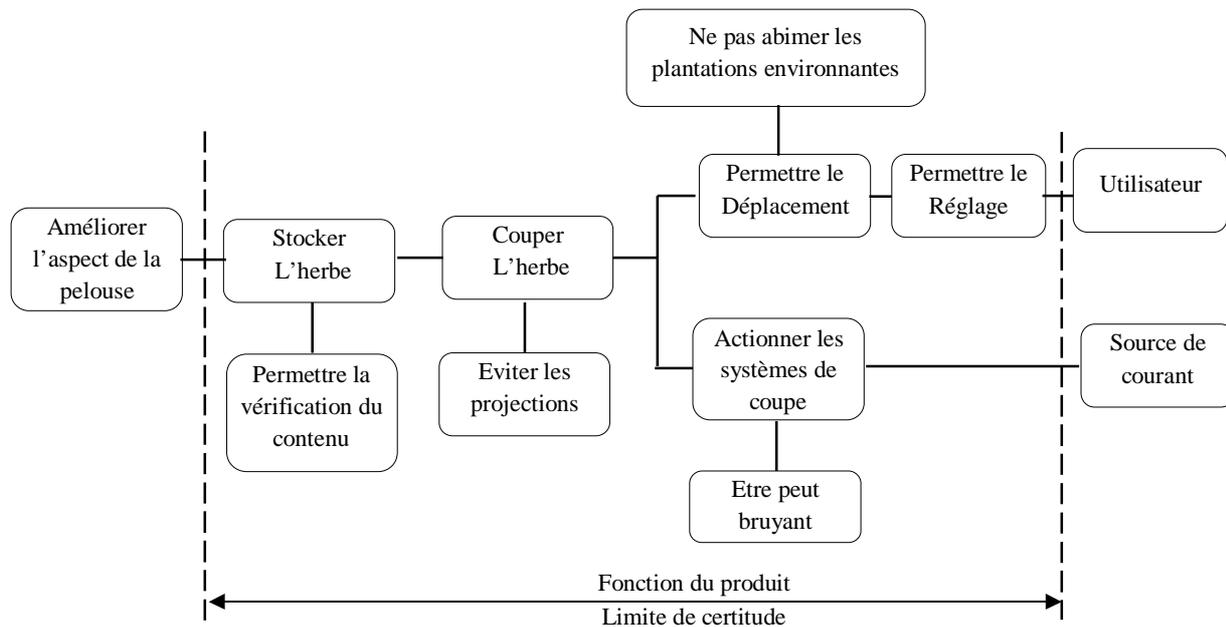


Figure 1 Principe de la méthode FAST

Le diagramme de la figure 2 comporte à gauche et à droite deux droites verticales. Ces deux lignes marquent la limite de certitude. En d'autres termes, cela représente la zone où sont comprises les fonctions propres au système.

La fonction principale de ce système consiste à améliorer l'aspect de la pelouse. Cette fonction dépend de la façon dont la tondeuse est utilisée. C'est l'utilisateur qui choisit les endroits et les réglages de coupe, non la tondeuse. L'utilisateur et la source de courant représentent les éléments

extérieurs. La tondeuse conserve sa capacité mais la présence de ces deux éléments extérieurs est nécessaire pour tondre le gazon.



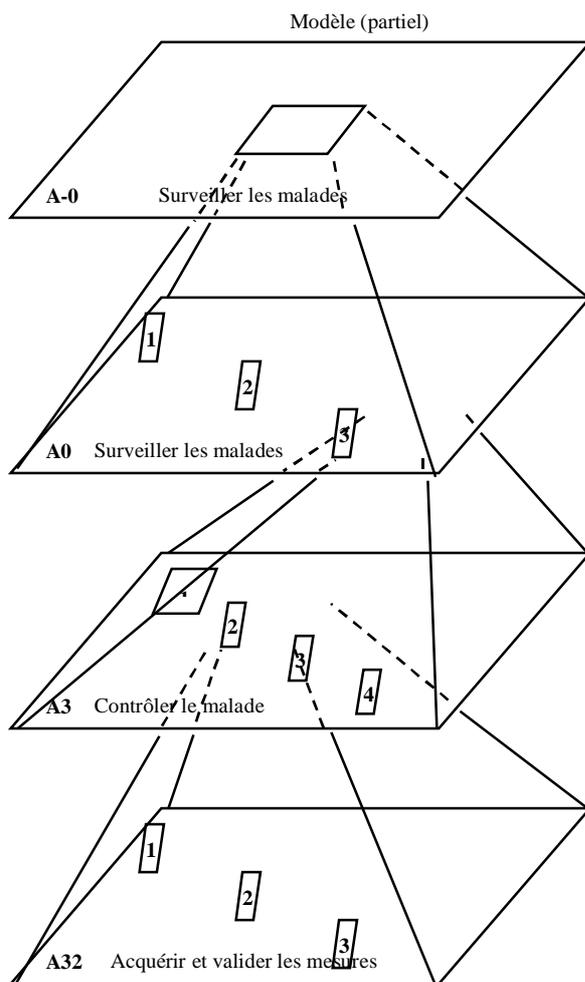
Méthode FAST pour le cas d'une tondeuse à gazon électrique

I.8.6 S.A.D.T : Analyse descendante et liens inter-fonctionnelle

I.8.6.1 introduction : Cette méthode a été mise au point par la société Softech aux Etats Unis en 1977 et introduits en Europe à partir de 1982 par Michel Galiner. Le modèle SADT est un diagramme à "boîtes descendantes", il part du général pour aller au particulier. La description du système s'effectue alors sous la forme d'une suite cohérente d'actigrammes. On peut appliquer le SADT à la gestion d'une entreprise tout comme à un système automatisé.

I.8.6.2 Concepts fondamentaux de la méthode SADT

1. Construction d'un modèle ou représentation d'un problème.
2. Analyse de manière descendante, modulaire, hiérarchique et structurée.
3. Différenciation entre le modèle fonctionnel et le matériel remplissant les fonctions.
4. Modélise à la fois des choses (objets, documents, ...) et des événements (activités).
5. SADT est graphique.
6. Favorise le travail d'équipe.
7. SADT exige la mise en forme par écrit.



Liste Hiérarchique

A-0 : Surveiller les malades

A0 : Surveiller les malades

A1 : Placer un malade sous contrôle

A2 : Retirer un malade du contrôle

A3 : Contrôler le malade

A31 : Choisir le malade à examiner

A32 : Acquérir et valider les mesures

A321 : ...

A322 : ...

A323 : ...

A33 : Contrôler la valeur des mesures

A34 : Afficher les alarmes

A35 : Enregistrer les résultats

A4 : Gérer le dossier

I.8.7 C.D.C.F : Cahier des charges fonctionnel

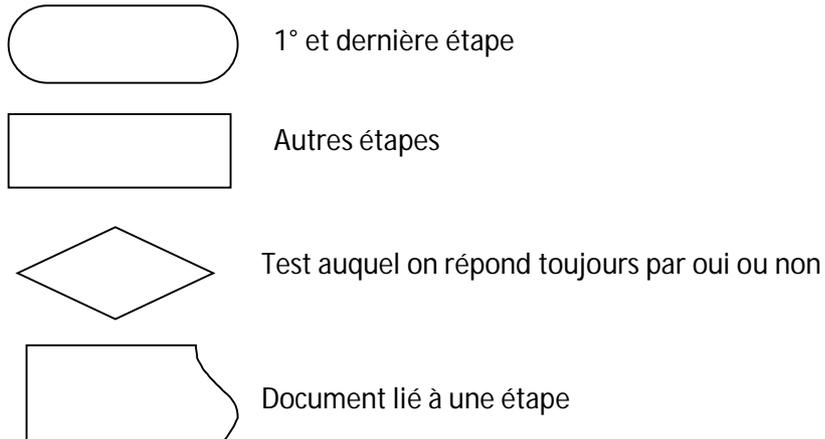
Le Cahier des Charges Fonctionnel (CDCF) d'un projet est un document par lequel la maîtrise d'ouvrage exprime son besoin pour le projet. Ce besoin doit être formulé en termes de fonctions que le futur utilisateur aura à accomplir, ou que le système devra accomplir pour lui. Le CDCF permet en outre :

- de provoquer chez le concepteur /réalisateur (prestataire) la conception et la réalisation du produit le plus efficient,
- de faciliter le dépouillement des propositions des prestataires,
- de favoriser le dialogue entre les partenaires.

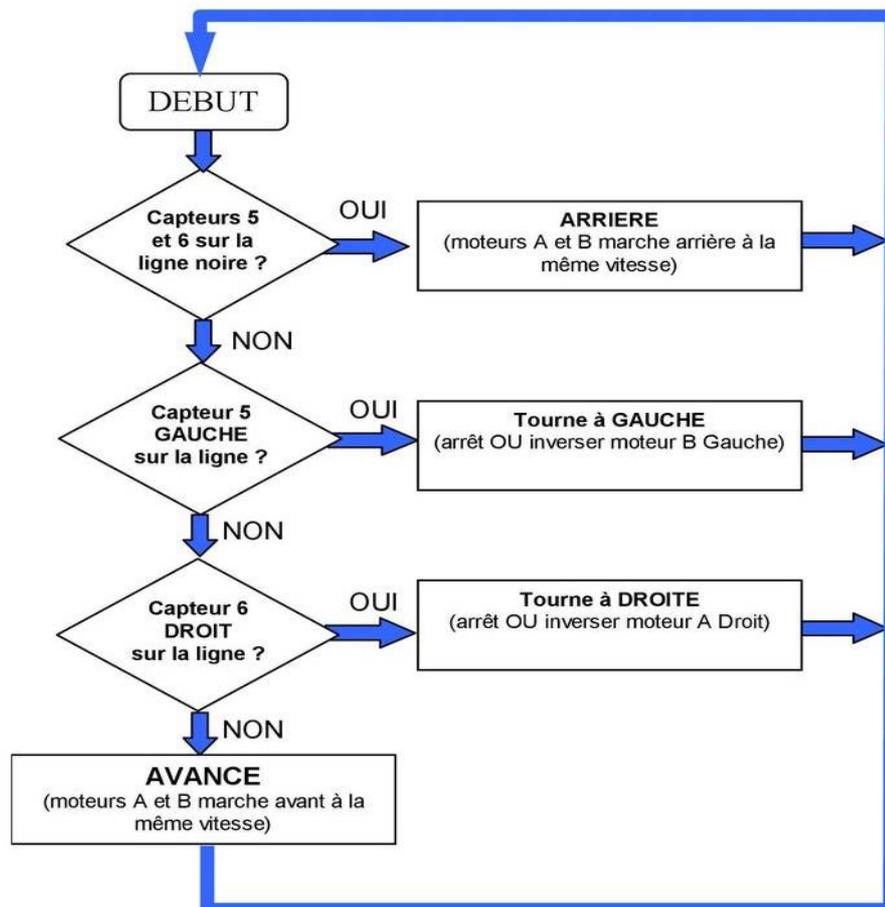
I.8.8 Logigramme

Parfois défini comme une arborescence de questions-réponses, le logigramme s'appelle aussi ordinogramme ou abusivement organigramme. L'objectif du logigramme est de représenter les actions d'un processus, dont le déroulement est chronologique, en le

découpant en étapes. Ainsi, il est possible de visualiser la progression d'un processus ou d'un segment de processus. Par conséquent, le logigramme est une représentation linéaire simple de l'enchaînement des différentes étapes qui constituent un processus donné. D'un autre côté, la durée de conception est courte. La description étant figée, il faut changer le logigramme lorsque l'organisation change. Dans ce sens, la clarté du logigramme et sa pertinence devront être vérifiées auprès de tous les acteurs concernés par le processus.



Exemple de logigramme d'un robot suiveur de ligne



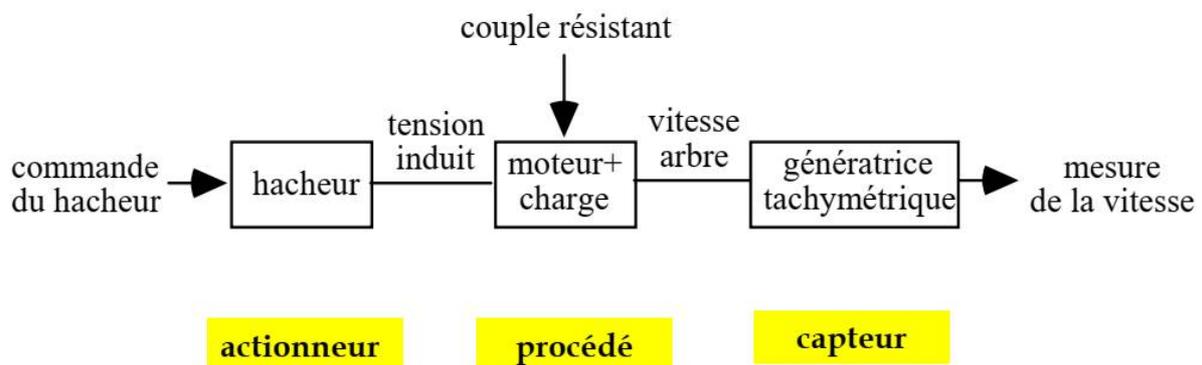
I.8.9 Schéma fonctionnel :

Le schéma fonctionnel permet de représenter un système en tenant compte des différentes variables et éléments qui le caractérisent :

- Les variables sont représentées par des flèches.
- Les éléments sont représentés par des rectangles (bloc fonctionnel) ; chaque bloc fonctionnel est une fonction de transfert (FT) entre une variable d'entrée et variable de sortie.

Exemple : variation de vitesse

Le schéma fonctionnel plus détaillé est montré ci-dessous :



I.8.10 Estimation du temps et outil PERT :

I.8.10.1. Estimation du temps alloué à une intervention (Méthodes)

La connaissance des temps passés et l'estimation des temps à venir sont des conditions nécessaires à la gestion de la maintenance. Il existe cependant plusieurs méthodes pour la mesure industrielle du temps, la plus utilisée en maintenance, vu sa simplicité, est sans doute la méthode des estimations, où on peut procéder de trois manières différentes.

I.8.10.1.1. Estimation « Au jugé »

Le temps estimé d'une intervention dépend de l'expérience personnelle du technicien préparateur. C'est une méthode certes rapide mais peu précise.

I.8.10.1.2 Estimation « Historique »

Dans cette méthode, le temps alloué d'une tâche est estimé par le dépouillement d'un compte rendu d'une tâche semblable effectuée antérieurement. La mise en mémoire informatique des historiques permet, à cet effet, une rapidité d'exploitation des données.

I.8.10.1.3 Estimation Analytique

Pour chaque tâche le préparateur va estimer trois temps :

- Tr : Le temps « Réaliste », qui est le temps le plus fréquent ;

- T_o : Le temps « Optimiste », ou minimal concevable si tout se passe bien ;
- T_p : Le temps « Pessimiste », ou maximal dans le cas où tout se passe mal.

Le temps moyen peut alors se donner par la formule :

$$T_m = \frac{T_o + 4T_r + T_p}{6}$$

Exemple :

Calculer le temps moyens estimé pour le remplacement d'un roulement à bille du type 6205 d'un tour parallèle sachant que les temps estimés sont :

$T_r = 1\text{h } 30\text{ min}$, $T_o = 1\text{h}$, $T_p = 3\text{h}$

$$T_m = \frac{1 + 4 \cdot 1,5 + 3}{6} = 1,7\text{h}$$

On peut aussi estimer le temps moyen T_m par la méthode des probabilités. On attribut à chaque estimation une probabilité (P_i) et on calcule le temps moyen par : $T_m = \sum_1^n P_i \cdot t_i$

Exemple :

Pour le même exemple précédent, il y a 10 % de chances que $T = 3\text{h}$, 50 % de chances qu'il soit égale à 1h 30min et 40 % de chances à 1h. Calculer T_m .

$$T_m = 0,1 \cdot 3 + 0,5 \cdot 1,5 + 0,4 \cdot 1 = 0,3 + 0,75 + 0,4 = 1,45\text{h}$$

I.8.10.2 Méthode PERT (Program Evaluation and Review Technique)

I.8.10.2.1 Définition

Il s'agit d'une méthode de gestion et de planification des interventions qui comprennent plusieurs tâches à la fois. Elle a vu le jour aux USA dans en 1956, elle comprend trois méthodes : PERT temps, PERT charge et PERT coût.

I.8.10.2.2 Quelle est la fonction du P.E.R.T ?

Le P.E.R.T, est donc une méthode d'organisation qui consiste à mettre en ordre, sous la forme d'un réseau, les tâches qui par leur dépendance et leur chronologie concourent toutes à l'obtention d'un produit.

I.8.10.2.3 Quelles conditions faut-il au préalable ?

Pour établir un P.E.R.T, il faut connaître notamment :

- ✓ L'ensemble du projet ;
- ✓ Les différentes tâches ou opérations qui le composent ;
- ✓ Les durées correspondantes ;
- ✓ Les liens entre les différentes tâches.

I.8.10.2.4 Symboles de représentation du P.E.R.T :

*Qu'est ce qu'une **étape** ?*: Une étape est le début ou la fin d'une tâche. Elle n'a pas de durée. Elle peut être représentée par un cercle, un carré ou un rectangle (voir ci-dessous).



Chaque étape est numérotée.



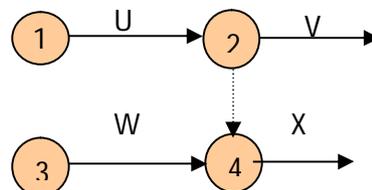
*Qu'est-ce qu'une **tâche** ?*: Une tâche est le déroulement, dans le temps, d'une opération. Elle est représentée par un vecteur sur lequel est indiqué l'action à effectuer (Ex : tâche A) et son temps (t). La longueur du vecteur n'est pas proportionnelle au temps.



Les étapes sont numérotées de façon que, sur un chemin, les numéros soient toujours croissants. Les tâches peuvent être successives, simultanées, convergentes ou fictives (voir ci-dessous).

La tâche fictive : De durée nulle, elle représente une contrainte d'antériorité.

Exemple : La tâche X ne peut être exécutée que lorsque les tâches U et W sont terminées.

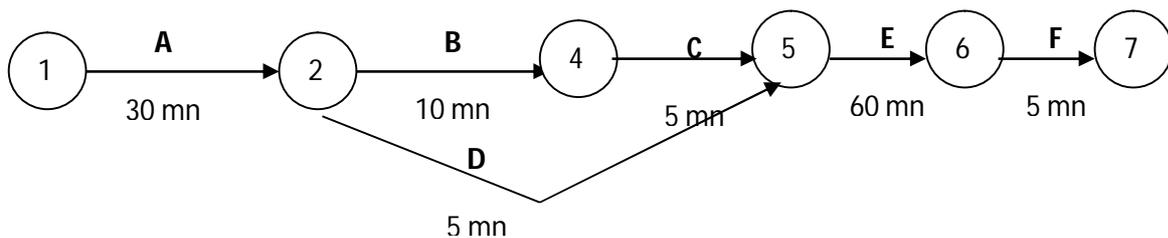


Représentation graphique des tâches	
Successives :	
Simultanées :	
Convergentes :	

Exemple 1 : pour préparer une soupe de légumes, il faut :

- Acheter les légumes (tâche A, durée : 30 minutes)
- Laver et éplucher les légumes (tâche B, durée : 5 minutes)
- Les émincer (tâche C, durée : 5 minutes)
- Faire bouillir de l'eau salée (tâche D, durée : 5 minutes)
- Faire cuire les légumes (tâche E, durée : 1 heure soit 60 minutes)
- Mixer les légumes (tâche F, durée : 5 minutes)

Traduit en PERT, nous obtenons la séquence suivante :



Pour élaborer et exploiter un réseau PERT, on peut distinguer 6 grandes étapes :

Etablir la liste des tâches

Cette étape consiste à :

- Donner la liste exhaustive des tâches à exécuter.
- Evaluer la durée des tâches et déterminer les ressources nécessaires pour les accomplir.
- Codifier les tâches pour faciliter la construction du réseau (A, B, C, D,...)

Tableau n°1

Les tâches	La durée des tâches évaluée en jours
A. Etude, réalisation et acceptation des plans	4
B. Préparation du terrain	2
C. Commande matériaux (bois, briques, ciment, tôle pour le toit)	1
D. Creusage des fondations	1
E. Commandes portes, fenêtres	2
F. Livraison des matériaux	2
G. Coulage des fondations	2
H. Livraison portes, fenêtres	10
I. Construction des murs, du toit	4
J. Mise en place portes et fenêtres	1

Déterminer les conditions d'antériorité

En répondant aux questions suivantes :

- Quelle(s) tâche(s) doit être terminée immédiatement avant qu'une autre ne commence ?
- Quelle tâche doit suivre une tâche déterminée ?

On obtient le tableau suivant :

Tableau n°2

Tâche(s) immédiatement antérieure(s)	Pour réaliser cette tâche...	Tâche(s) immédiatement postérieure(s)
-	A	C, D, E
-	B	D
A	C	F
A, B	D	G
A	E	H
C	F	G
D, F	G	I
E	H	J
G	I	J
H, I	J	-

Tracer le réseau PERT

Un réseau est constitué par des étapes et des tâches (A, B, C, D).

Le code de présentation est le suivant :

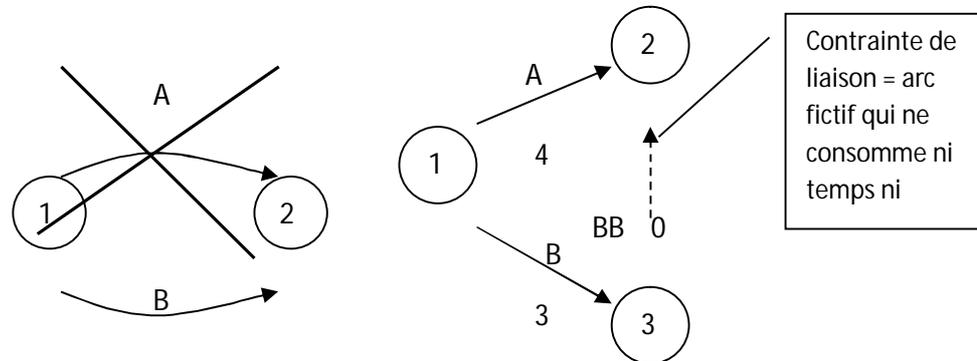
- On symbolise une étape par un cercle (le commencement ou la fin d'une tâche).
- Un arc fléché pour signifier la tâche (au-dessus de la flèche vous inscrivez le code de la tâche et en dessous sa durée).

Pour représenter un réseau PERT, il existe des règles :

- Chaque tâche est représentée par 1 arc et 1 seul (= une étape ne peut être représentée qu'une fois)

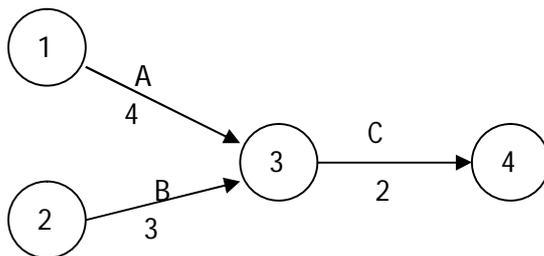
- 2 tâches ne peuvent être identifiées par 2 arcs ayant la même origine et la même extrémité.

Ainsi si 2 tâches sont **simultanées**, elles seront représentées par 2 arcs différents en partant de la même origine :



Les tâches peuvent être :

- Successives** = elles se déroulent les unes après les autres, séparées par des étapes.
- Simultanées** = elles se déroulent en même temps.
- Convergentes** = elles aboutissent à une même étape.



Remarque : pour déterminer la (ou les) 1^{ère} tâche(s) = la (ou les seules) qui ne figure(nt) pas dans la colonne de gauche du tableau des antériorités.

Exemple 2

Dans un service de maintenance on veut procéder à une intervention qui comprend 5 tâches (A,B,C,D et E), le service méthode a estimé le temps alloué à chacune d'elles et a établi le tableau ci-dessous :

Tâche	Tâche antécédente	Durée (h)
A	-	3
B	A	6
C	B	2
D	A	5
E	D, C	2

La lecture de ce tableau est très facile, par exemple ; la tâche A doit être exécutée en premier dans un temps de 3 heures, la tâche D ne commencera que si A est finie son temps alloué est de 5h, quant à la tâche E, elle ne commencera que si les tâches D et C soient finies.

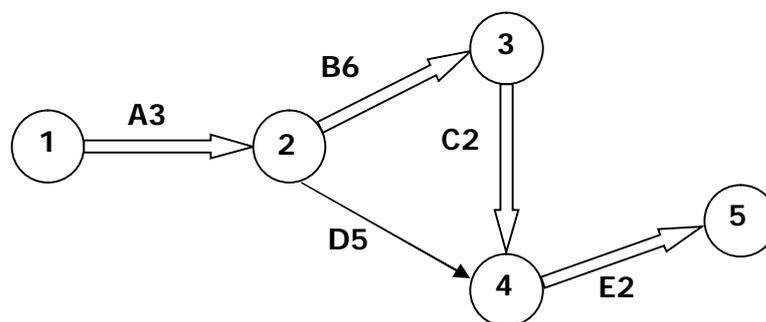
A partir de ce tableau, on établit la matrice d'antériorité. Pour ce faire, chaque contrainte est notée par 1 dans la matrice, par exemple ; pour exécuter B il faut finir A, on met 1 devant la ligne B et la colonne A. Après l'obtention de la matrice d'antériorité, on barre les lignes et les colonnes qui n'ont pas d'antériorité (Dans notre exemple il s'agit de la tâche A) de nouveaux zéro apparaissent et de cette façon les niveaux s'en déduisent.

Tâches	A	B	C	D	E	Niveau	Niveau	Niveau	Niveau
						1	2	3	4
A						0 (A)	-	-	-
B	1					1	0 (B)	-	-
C		1				1	1	0(C)	-
D	1					1	0(D)	-	-
E			1	1		2	2	1	0(E)

Cette matrice nous permet alors d'établir un planning de l'intervention comme suit :

1. La première tâche à faire est la tâche A,
2. Les tâches B et C commenceront en même temps après la fin de la tâche A ;
3. Exécuter la tâche C et enfin la tâche E.

Ce planning se traduit par le réseau PERT suivant la figure ci-dessous



Remarques ;

1. Les chiffres devant la tâche représentent sa durée allouée par le BDM ;
2. Les flèches en double traits représentent le **chemin critique** qui est la période maximale de l'intervention (=13 h).

Problème de battement

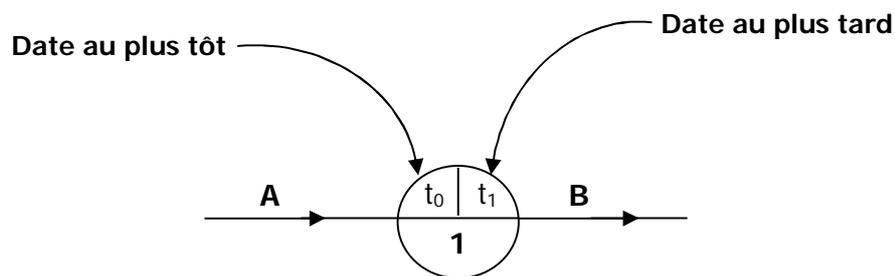
Pour les tâches qui ne sont pas sur le chemin critique, un retard peut être pris sans pénaliser les délais de l'intervention. On définit alors pour chaque tâche les délais « Au plus tôt » et « Au plus tard ».

Le retard (ou la marge) permis peut se calculer par les expressions suivantes :

Marge libre (ml_{ij}) = date au plus tôt « j » - date au plus tôt « i »

Marge totale (mt_{ij}) = date au plus tard « j » - date au plus tôt « i »

La représentation de l'étape margée aura, dans le réseau PERT, pour forme :



Pour l'exemple précédent, on aura donc le tableau suivant :

Tâche	Début		Fin	
	Au plus tôt	Au plus tard	Au plus tôt	Au plus tard
A	0	0	3	3
B	3	3	9	9
C	9	9	11	11
D	3	6	8	11
E	11	11	13	13

Le nouveau réseau PERT

