

Chapitre N°01: Analyse des Modes de Défaillances

I.1 Introduction

L'analyse des défaillances peut s'effectuer :

- Soit de manière fonctionnelle " Démarche qui consiste à recenser, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions".
- Soit de manière quantitative puis qualitative en exploitant l'historique de l'équipement et les données qualitatives du diagnostic et de l'expertise des défaillances
- Soit de manière prévisionnelle en phase de conception ou a posteriori, après retour d'expérience.

Tout le problème pour l'homme de maintenance est de savoir quelles défaillances traiter en priorité, certaines n'ayant que peu d'importance en termes d'effets et de coûts.

L'exploitation de l'historique va permettre d'effectuer ce choix. Or, certains diront qu'ils n'ont pas le temps d'exploiter l'historique des machines, qu'ils ont autres choses à faire (du correctif certainement !..). Le refus d'exploiter les historiques montre une totale méconnaissance des méthodes de gestion de la maintenance, et donc une totale désorganisation du service Maintenance. Il est clair que le choix des types de défaillance est important : une défaillance intrinsèque (propre au matériel) n'a rien à voir avec une défaillance extrinsèque (liée à l'environnement), et en tout état de cause, ne peut s'analyser de la même manière, même si on apporte par la suite un correctif.

I.2 Analyse fonctionnelle (AF)

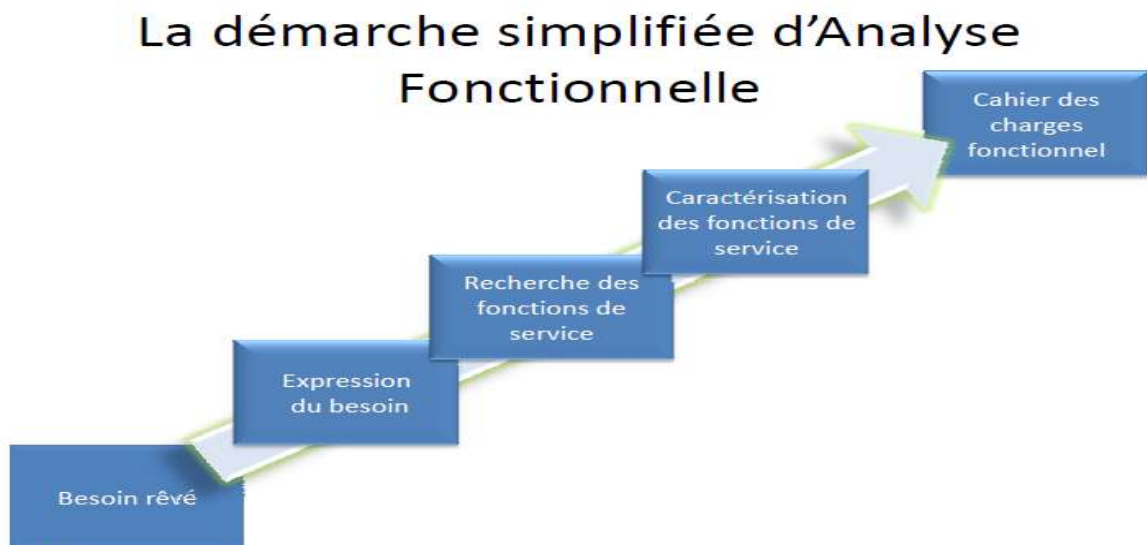


Figure .I.1 - Démarche simplifiée d'analyse fonctionnelle.

A- PRESENTATION :

Les premières méthodes assimilables à de l'AF ont été mises en pratique aux Etats Unis peu après la Seconde Guerre mondiale, en 1947 (chez *General Electric*).

A qui s'adresse l'A.F. ?

L'AF s'adresse aux concepteurs de **produits**.

Le mot **produit** peut ici prendre des sens très divers. Il peut s'agir d'un objet matériel ou immatériel (produit industriel, objet technique, programme informatique, service à la personne, services financiers...).

Quel est le but de l'A.F. ?

- Le but de l'AF est d'optimiser la conception ou la reconception de produits en s'appuyant sur les **fonctions** que doit réaliser le produit.

Une fois les fonctions du produit identifiées et caractérisées, l'équipe de conception peut mesurer son état d'avancement et de réussite par rapport à des critères objectifs.

Quand utiliser l'AF ?

L'AF n'a de sens que si elle est menée **au début** d'un projet.

Pourquoi utiliser l'AF ?

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.

B- DEFINITION :

D'après la norme AFNOR NF X 50 -151, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser les fonctions selon des critères d'appréciation, des niveaux et de flexibilité, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions en attribuant un poids en valeur relative ou absolue.

A partir de l'analyse fonctionnelle, on pourra mener deux études d'aspects différents:

- Aspect économique ou (externe) : l'analyse de la valeur ;
- Aspect technique ou (interne) : l'AMDEC ;

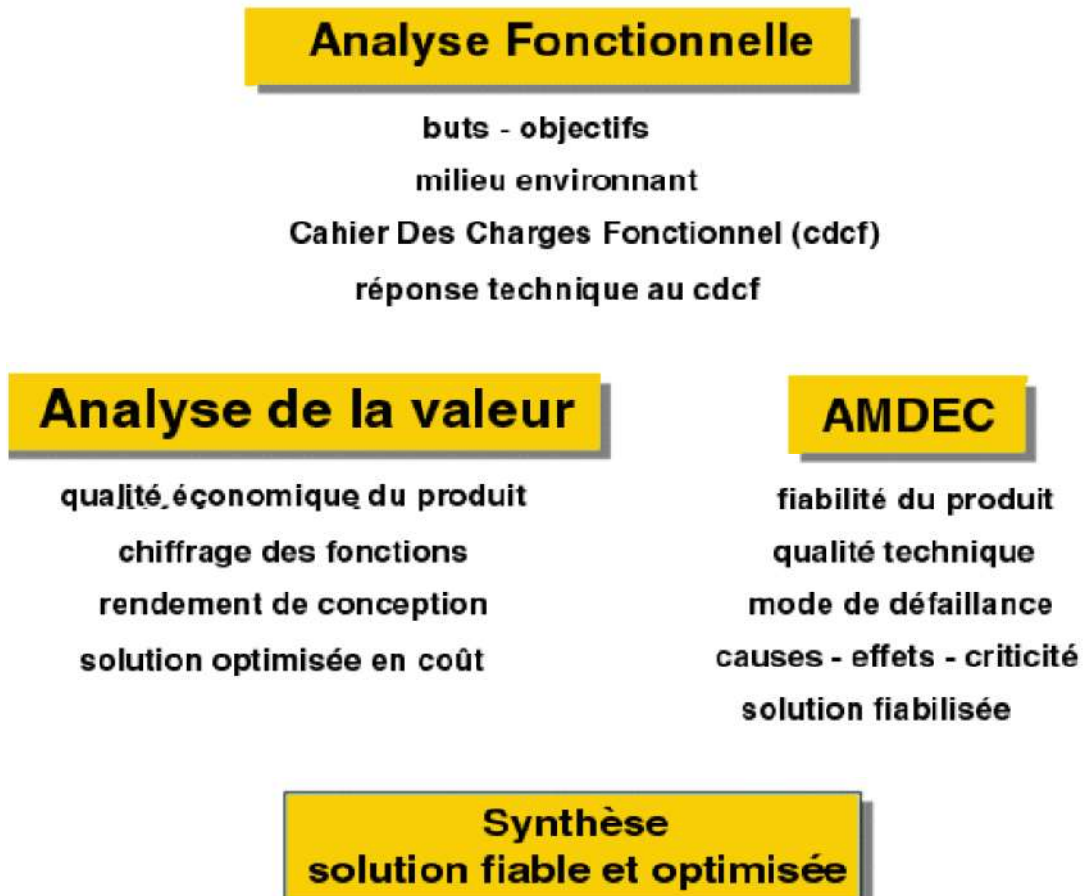


Figure .I.2 - Aspects d'analyse fonctionnelle.

B-1- l'analyse de la valeur : (Aspect économique ou analyse externe)

A pour objectif, à partir de l'expression d'un besoin, de déterminer les solutions susceptibles de répondre à ce besoin et de parvenir à la meilleure optimisation technico-économique du couple besoin solution

B-2- l'AMDEC : (Aspect technique ou analyse interne)

Pour analyser les défaillances d'un système il est nécessaire de bien identifier à quoi doit servir ce système ; c'est-à-dire de bien identifier toutes les fonctions que ce système doit remplir durant sa durée de fonctionnement.

L'AMDEC sera développée dans le prochain chapitre (chapitre 2).

C- METHODOLOGIE :

L'analyse fonctionnelle s'effectue en quatre étapes :

- Recenser les fonctions ;
- Ordonner les fonctions ;
- Caractériser et quantifier les fonctions ;
- Hiérarchiser les fonctions ;

C-1- Recenser les fonctions :

La recherche des fonctions s'effectue en étudiant les relations du système avec son environnement. Chaque fonction devra être exprimée en termes de finalité et être formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments.

- Définition de la fonction :

La définition d'une fonction est donnée par la norme AFNOR X51-151 : « action d'un produit au de l'un de ces constituants exprimée exclusivement en terme de finalité ».

- Différents types de fonctions :

En distingue deux catégories de fonctions :

- Fonctions de service ;
- Fonctions techniques ;

Fonctions de service (FS) :

« La fonction de service est l'**Action** du produit avec son **milieu extérieur**, qui contribue à la satisfaction du besoin (identifié et caractérisé lors de l'A.B.) »

Il existe deux types de fonction de service :

- Fonctions principales ;
- Fonctions contraintes ;

➤ **Fonctions principales (FP) :**

« La **FP** est une Fonction de service qui met en relation deux élément du milieu extérieur (ou plus), via le produit »

Les fonctions principales traduisent obligatoirement des actions réalisées par le produit, donc il s'agit d'une fonction attendue d'un produit pour répondre à un besoin d'un utilisateur donné.

➤ **Fonctions contraintes (FC) :**

« La **FC** est une Fonction de service qui met en relation le produit avec un seul élément du milieux extérieur. »

Une **contrainte** est une limitation de la liberté du concepteur (règlement, normes et impératifs d'interface matérielle ou immatérielle) lorsqu'elle exprime le fait que, dans une phase d'utilisation, le produit ne doit pas affecter un élément du milieu extérieur ou être affecter par lui.

Fonctions techniques (FT) :

« Une **Fonction Technique** est une fonction contribuant à réaliser une fonction de service par un moyen technique. »

C'est la fonction qui facilite, améliore ou complète le service rendu. Ce type de fonction ne résulte pas de la demande explicite de client, et n'est pas non plus une contrainte. Il s'agit de proposer au client des améliorations pour son produit.

Objectif de l'analyse fonctionnelle interne : « choisir les solutions techniques »

L'Analyse Fonctionnelle interne permet de s'intéresser aux constituants du système appelés « **solutions techniques** » et de prévoir leurs degrés de performance dans la réalisation des fonctions de service et donc dans la satisfaction du besoin.

Elle privilégie le point de vue du concepteur, qui est chargé de concevoir un produit réel à partir d'un cahier des charges donné traduisant le besoin de l'utilisateur. Elle utilise deux outils de description :

- le **diagramme F.A.S.T.** (Function Analysis System Technic),
- le **diagramme S.A.D.T.** (Structured Analysis and Design Technic).

I.3 Analyse quantitative des défaillances :

L'analyse quantitative d'un historique va permettre de dégager des actions d'amélioration, donc d'identifier les défaillances à approfondir afin de les corriger et les prévenir. Analyser quantitativement les résultats des diagnostics constitue ainsi un axe de progrès. Les données chiffrées à saisir doivent être les suivantes :

- Dates des interventions correctives (jours, heures) et nombre N de défaillances ; ces éléments permettront de calculer les périodes de bon fonctionnement (UT = Up Time), les intervalles de temps entre deux défaillances consécutives (TBF = Time Between Failures) et leur moyenne (MTBF) ; ces données permettront de caractériser la fiabilité des équipements ;
- Temps d'arrêt de production (DT = Down Time) consécutifs à des défaillances, y compris ceux des « micro-défaillances » ; tous les événements sont systématiquement consignés, même les plus anodins ; il est toujours plus simple de se rappeler d'une grosse panne que d'une micro-défaillance répétitive qui engendrera à terme une défaillance grave ; l'expérience montre que son oubli fausse complètement une étude de fiabilité ultérieure. Il est prouvé aussi que les micro-défaillances, qui appartiennent à la routine, donc qu'on oublie facilement, sont génératrices de perte de disponibilité, donc de productivité moindre et bien sûr de non qualité ; ces données permettront donc de caractériser la disponibilité des équipements ;

- Durées d'intervention maintenance (TTR = Time To Repair) et leur moyenne (MTTR) ;
ces données permettront de caractériser la maintenabilité des équipements.

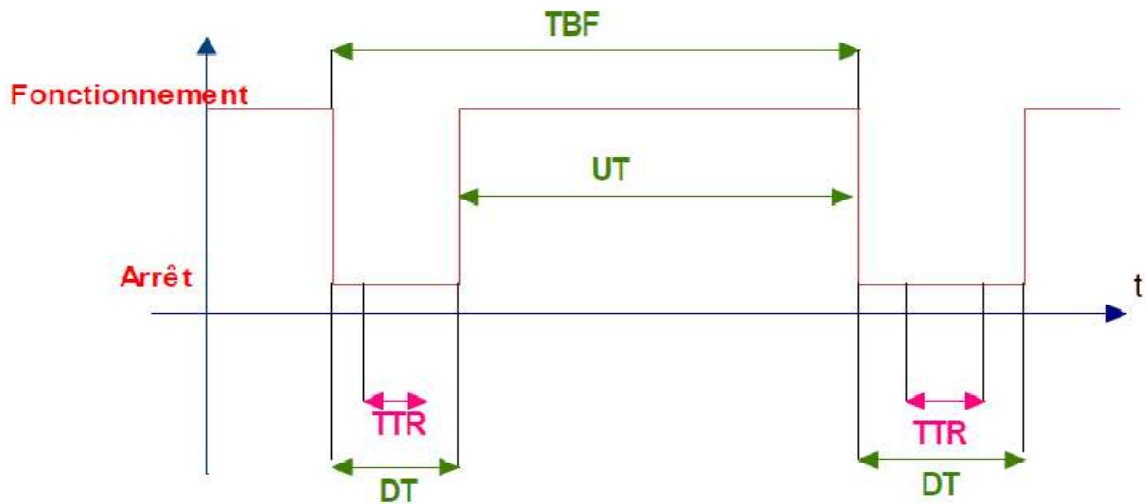


Figure I.3 Analyse des temps

1.3-1/ Méthode ABC (Diagramme Pareto) :

Parmi la multitude de préoccupations qui se posent à un responsable maintenance, il lui faut décider quelles défaillances doivent être étudiées et/ou améliorées en premier. Pour cela, il faut déceler celles qui sont les plus importantes et dont la résolution ou l'amélioration serait le plus rentable, en particulier en terme de coûts d'indisponibilité. La difficulté réside dans le fait que ce qui « est important » et que ce qu'il « l'est moins » ne se distinguent pas toujours de façon claire.

La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités.

On classe les événements (pannes par exemple) par ordre décroissant de coûts (temps d'arrêts, coût financier, nombre, etc..), chaque événement se rapportant à une entité. On établit ensuite un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes ou de défaillances cumulés. Sur le schéma figure I.4, on observe trois zones.

1. Zone A : 20% des pannes occasionnent 80% des coûts ;
2. Zone B : les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires ;
3. Zone C : les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global.

Conclusion : il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A.

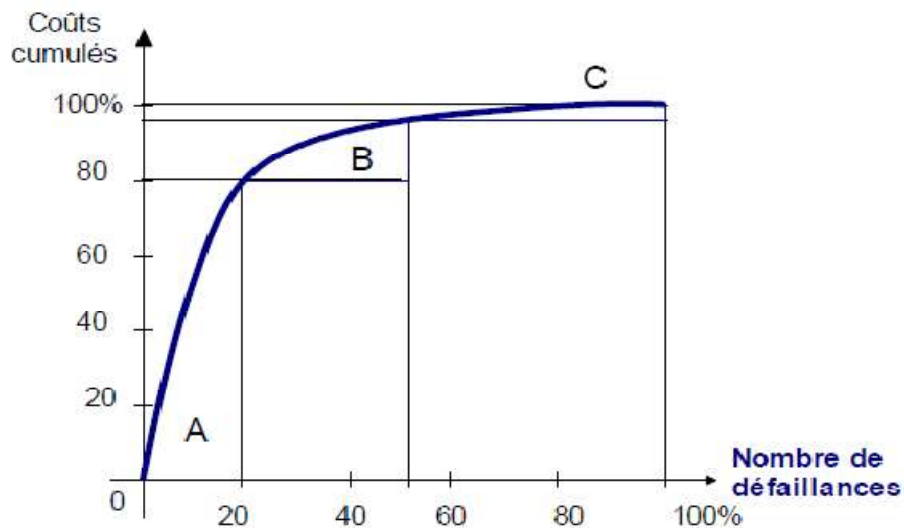


Figure I.4 Diagramme de Pareto ou courbe ABC

En maintenance cette méthode est très utile pour déterminer les urgences ou les tâches les plus rentables, par exemple :

- S'attacher particulièrement à la préparation des interventions sur les défaillances les plus fréquentes et/ou les plus coûteuses (documentation, gammes opératoires, contrats, ordonnancement, etc..),
- Rechercher les causes et les améliorations possibles pour ces mêmes défaillances,
- Organiser un magasin en fonction des fréquences de sortie des pièces (nombre de pièces et emplacement),
- Décider de la politique de maintenance à appliquer sur certains équipements en fonction des heures et des coûts de maintenance.

Attention toutefois : cette méthode ne résout pas les problèmes, mais elle attire l'attention du technicien sur les groupes d'éléments à étudier en priorité.

1.3.2 Diagrammes de Pareto en N, Nt et $\bar{t}$:

Le service maintenance peut exploiter cette méthode en allant beaucoup plus loin :

- On dresse un tableau regroupant les sous-ensembles, le nombre de défaillances N, les temps d'arrêt par sous-ensemble Nt et la moyenne des temps d'arrêt $\bar{t}$;
- On élabore les diagrammes en bâtons N, Nt et $\bar{t}$; ils permettront de déterminer la priorité de prise en charge des sous-ensembles par le service maintenance,
- Le graphe en N oriente vers l'amélioration de la fiabilité ;
- Le graphe en Nt est un indicateur de disponibilité, car Nt estime la perte de disponibilité de chaque sous-ensemble ;
- Le graphe en $\bar{t}$ oriente vers la maintenabilité, c'est à dire l'amélioration de l'aptitude à la maintenance.

Application :

Une machine comporte 10 sous-ensembles dont on a relevé l'historique des pannes. L'entreprise, qui utilise cette machine, désire augmenter sa productivité en diminuant les pannes sérieuses. Pour cela elle demande au service de maintenance de définir des priorités sur les améliorations à apporter à cette machine. L'historique de la machine fournit le tableau suivant.

Sous-ensembles	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Nombre d'heures d'arrêt	26,5	11	1	57	56,5	1	17	1,5	9,5	1
Nombre de pannes	4	15	4	4	3	8	12	2	3	2

Tableau 1: Historique d'une machine (Application).

Solution :**A-Diagramme ABC :**

Du tableau précédent, on tire le tableau des coûts et des pannes cumulées.

Sous-ensembles	Classement en coût (en h)	Cumul des coûts (en h)	% des coûts cumulés	Nombre de pannes	Cumul des pannes	% des pannes cumulées
D	57	57	31,3	4	4	7
E	56,5	113,5	62,4	3	7	12,3
A	26,5	140	76,9	4	11	19,3
G	17	157	87,2	12	23	40,3
B	11	168	92,3	15	38	66,7
I	9,5	177,5	97,5	3	41	71,9
H	1,5	179	98,3	2	43	75,4
C	1	180	98,9	4	47	82,4
F	1	181	99,4	8	55	96,5
J	1	182	100	2	57	100

Tableau 2: Tableau des coûts et des pannes cumulées (Application).

A partir du tableau ci-dessus, on construit le diagramme de Pareto (figure I.5). Les cases grises nous donnent les limites des zones A, B et C. Il est donc évident qu'une amélioration de la fiabilité sur les sous-ensembles D, E et A peut procurer jusqu'à 76,9% de gain sur les pannes.

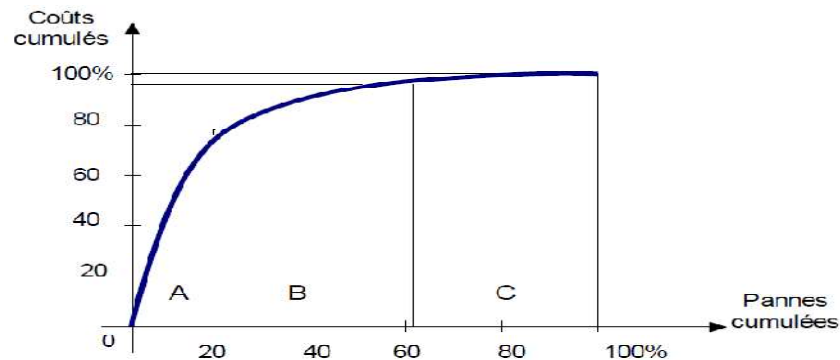


Figure I.5 Courbe ABC (Application).

B – Diagrammes en N, Nt et $\bar{t}$:

Sous-ensembles	N	Nt	$\bar{t}$
A	4	26,5	6,625
B	15	11	0,73
C	4	1	0,25
D	4	57	14,25
E	3	56,5	21,83
F	8	1	0,125
G	12	17	1,42
H	2	1,5	0,75
I	3	9,5	3,17
J	2	1	0,5

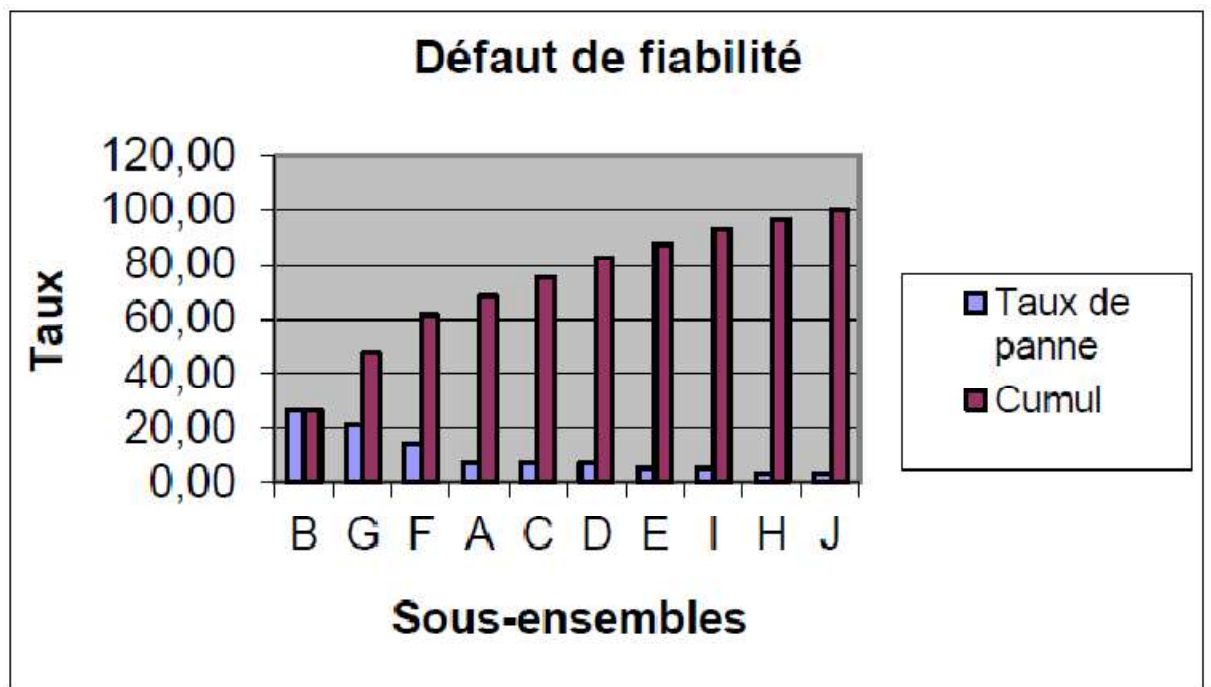
Tableau 3: Tableau en N, Nt et $\bar{t}$.

Figure I.6 Mise en évidence des éléments les moins fiables (Application).

Le graphe en N (figure I.6) oriente vers l'amélioration de la fiabilité : ici on constate que les sous-ensembles B et G sont ceux sur lesquels il faudra agir prioritairement.

Différentes actions sont envisageables : modifications techniques (qualité des composants), consignes de conduite, surveillance accrue (maintenance de ronde), actions préventives systématiques dans un premier temps, conditionnelle ensuite.

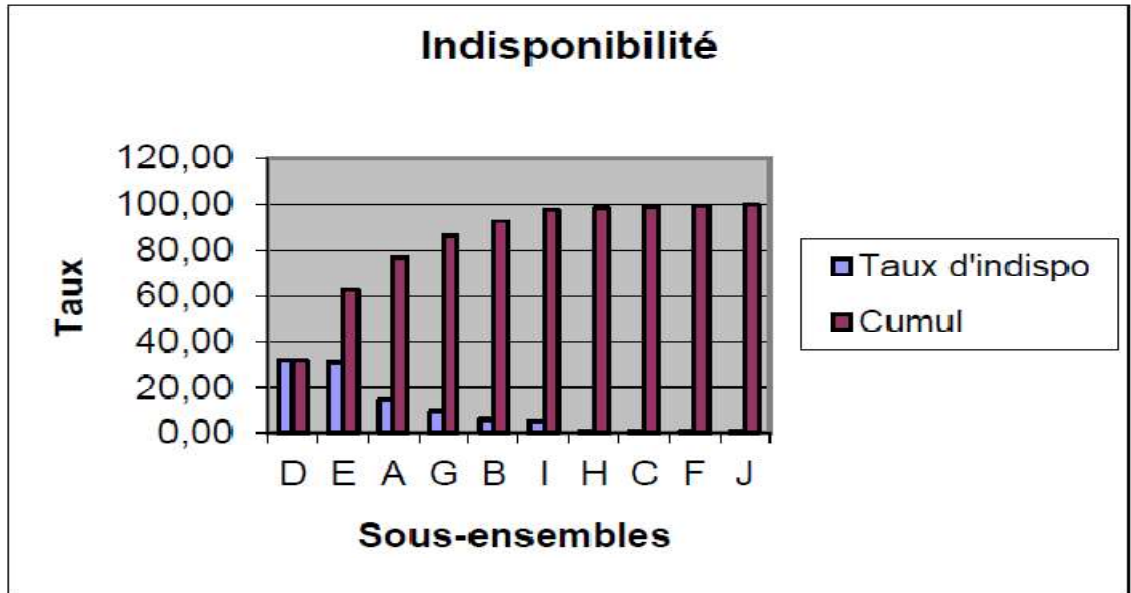


Figure I.7 Mise en évidence des éléments les moins disponibles (Application).

Le graphe en Nt (figure I.7) est un indicateur de disponibilité, car Nt estime la perte de disponibilité de chaque sous-ensemble. Il permet donc de sélectionner l'ordre de prise en charge des types de défaillance en fonction de leur criticité (ici les sous-ensembles D et E).

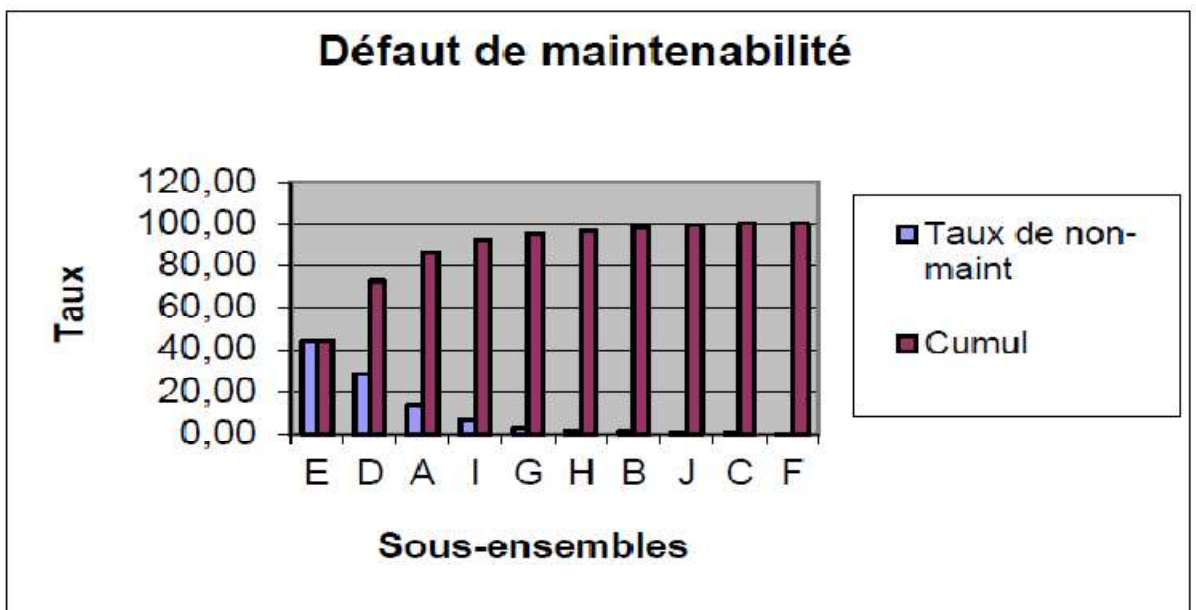


Figure I.8 Mise en évidence des éléments les moins maintenables (Application).

Le graphe en t^- (figure I.8) oriente vers la maintenabilité, c'est à dire l'amélioration de l'aptitude à la maintenance. Ici, les sous-ensembles E et D présentent quasiment 80% des difficultés de réparation.

Après analyse de t^- (attente maintenance, déplacements, temps de diagnostic, attente de pièce, etc..), il sera possible d'agir sur :

- La logistique (moyens de dépannage, de manutention, etc..),
- L'organisation de la maintenance (gammes d'intervention, formation du personnel, échanges standard, etc..),
- L'amélioration de la maintenabilité (accessibilité, conception modulaire, etc..).

1-4/ Abaque de Noiret :

L'abaque de Noiret est un outil de calcul scientifique qui permet d'orienter le choix de la politique de maintenance en fonction:

- des caractéristiques de l'équipement
- de son utilisation

Le résultat en est une recommandation offrant trois options possibles :

- préventif recommandé
- préventif possible
- préventif non nécessaire

Cependant, ce résultat doit être complété par une analyse économique portant sur le coût des différentes maintenances et sur le retour sur investissement estimé que peut apporter une maintenance préventive.

Il ne s'agit que d'un outil d'aide à la décision et non pas d'un outil de décision.

Principe

L'abaque de Noiret est basé sur les critères suivants :

- a) l'âge de l'équipement
- b) son l'interdépendance : dans quelle mesure est-il vital pour la production
- c) son coût
- d) sa complexité et son accessibilité
- e) sa robustesse et sa précision
- f) son origine : Locale ou Etranger
- g) son utilisation dans le temps
- h) les conséquences de ses défaillances sur les produits

i) les délais de production qui lui sont liés

Chaque critère se décline en plusieurs options qui chacune correspond à un certain nombre de points. Les points ainsi obtenus sont additionnés.

Remarque : un seul choix n'est passible par critère ; il faut donc prendre celui qui est le plus représentatif de l'équipement.

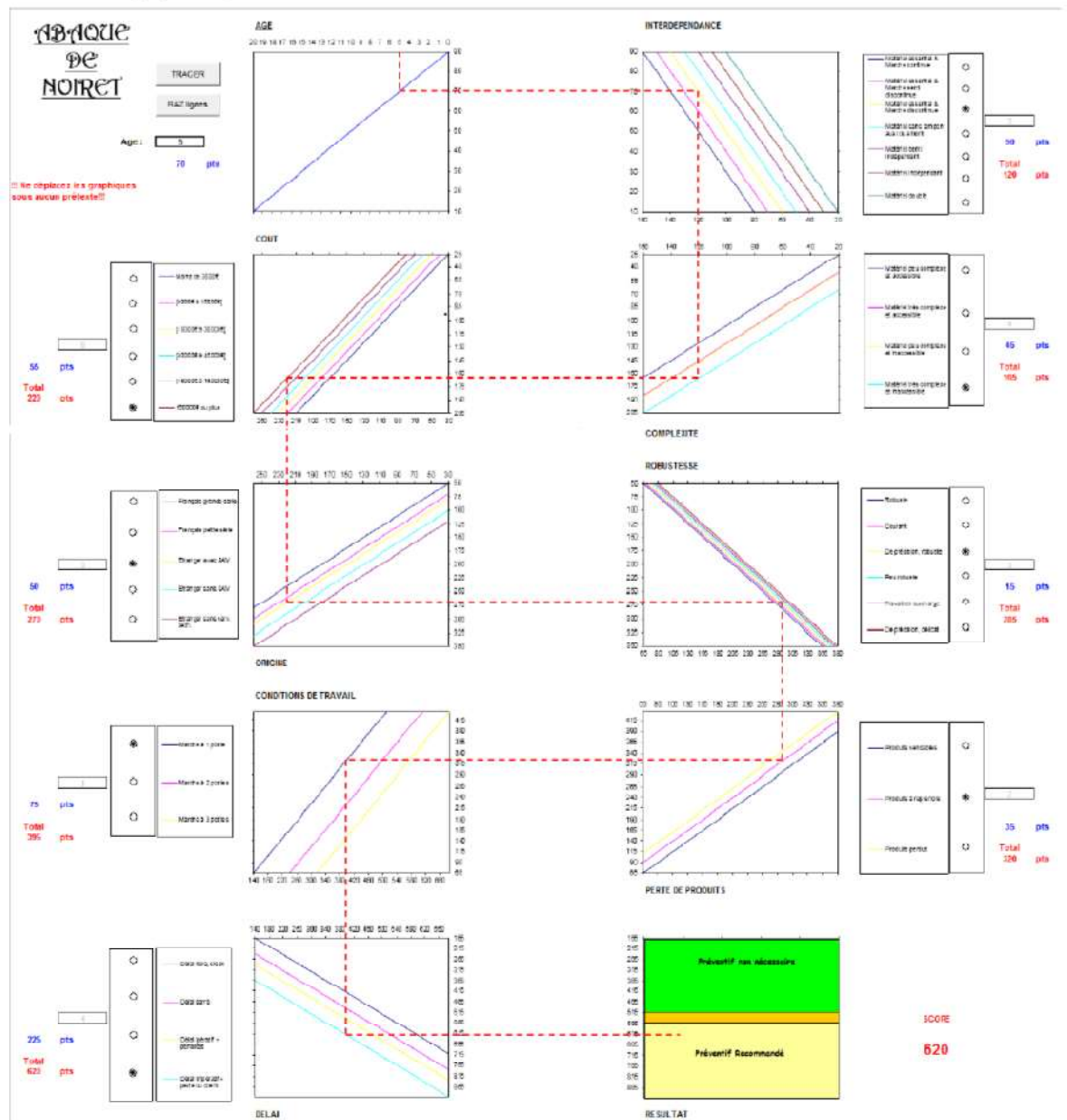


Figure I.9 abaque de Noiret

Désignation critères	NB PTS	COEF	Désignation critères	NB PTS	COEF
LES CONDITIONS DE TRAVAIL			COUT DU MATERIEL		
- Production continue 3*8	50	5	- Matériel à 1 seule unité ou très spéciale 300000 F	55	1
- Production de jour 2*8	35	5	- Matériel coûteux compris entre 100000 et 300000 F	25	1
- Production en 1 poste 1*8	15	5	- Matériel peu coûteux compris entre 20 000 et 100000 F	15	1
DELAIS D'EXECUTION			- Matériel pas coûteux : à 20000 F	5	1
- Délais impératif avec perte de clients	45	5	ORIGINE DU MATERIEL		
- Délai impératif avec paiement d'indemnité	30	5	- Matériel étranger sans ST	45	2
- Délais serrés	20	5	- Matériel étranger avec ST	25	2
- Délais inexistant	5	5	- Matériel local petite diffusion	20	2
L'AGE DU MATERIEL			- Matériel local grande diffusion	10	2
- Matériel neuf (<1 an)	45	2	ROBUSTESSE DU MATERIEL		
- Matériel jeune (1 à 5 ans)	30	2	- Matériel de grande précision et de maniement délicat	30	1
- Matériel âgé (5 à 10 ans)	20	2	- Matériel travaillant en surcharge	30	1
- Matériel démodé (10 ans)	5	2	- Matériel peu robuste	25	1
INTERDEPENDANCE DU MATERIEL			- Matériel de précision robuste	10	1
- Matériel d'infrastructure à marche continue	35	2	- Matériel robuste	5	1
- Matériel d'infrastructure à marche discontinue	25	2	PERTE DE PRODUIT		
- Matériel sans tampon amont ou aval	25	2	- Produits perdus non commercialisables (ferrailles)	55	1
- Matériel indépendant	10	2	- Pièces à reprendre	35	1
- Matériel double	5	2	- Pièces commercialisables sans reprises	10	1
COMPLEXITE DU MATERIEL					
- Très complexe et inaccessible	45	1			
- Peu complexe et inaccessible	25	1			
- Très complexe et accessible	25	1			
- Peu complexe et accessible	5	1			

Tableau 3: Tableau a coefficient

A) l'âge de l'équipement

Age (ans)	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Points	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90

Tableau 4 : nombre de points correspondant à l'âge de l'équipement

Formule de calcul : Points = 90 – âge*4

0 ans = moins d'un an.

Dr. M. DEFDAF

B) Interdépendance

Critère	Points
Matériel essentiel et marche continue	70
Matériel essentiel et marche semi discontinue	60
Matériel essentiel et marche discontinue	50
Matériel sans tampon aval ou amont	40
Matériel semi indépendant	30
Matériel indépendant	20
Matériel double (ou plus)	10

Tableau 5 Nombre de point correspondant à l'importance de l'équipement.

C) Coût

Critère en € Points	Critère en € Points
Moins de 3000	5
[3000 à 15000[	15
[15000 à 30000[	25
[30000 à 45000[	35
[45000 à 150000[	45
150000 ou plus	55

Tableau 6 : Nombre de points correspondant au cout de l'équipement.

D) Complexité et accessibilité

Critère Points	Critère Points
Matériel peu complexe et accessible	5
Matériel très complexe et accessible	25
Matériel peu complexe et inaccessible	25
Matériel très complexe et inaccessible	45

Tableau 7: Nombre de points correspondant à la complexité et l'accessibilité de l'équipement.

E) Robustesse et sa précision

Critère Points	Critère Points
Robuste	5
Courant	10
Robuste et de précision	15
Peu robuste (délicat)	20
Travail en surcharge	25
Délicat et de précision	30

Tableau 8 : Nombre de points correspondant à la robustesse et la précision de l'équipement.

F) Origine

Critère points	Points
Algérienne de grande série	20
Algérienne de petite série	40
Etrangère avec service après vente en Alegria	50
Etrangère sans service après vente en Alegria	70
Etrangère sans service technique	90

Tableau 9: Nombre de points correspondant à l'origine de l'équipement.

G) Utilisation

Critère Points	Critère Points
Marche à 1 poste de travail	75
Marche à 2 postes de travail	175
Marche à 3 postes de travail	250

Tableau 10: Nombre de points correspondant à l'utilisation de l'équipement dans le temps.

H) Perte de produits

Critère Points	Critère Points
Produits vendables	10
Produits à reprendre	35
Produits perdus	55

Tableau 11: Nombre de points correspondant aux conséquences des défaillances sur la machine.

I) Délais

Critère Points	Critère Points
Délai libre (constitution de stock)	25
Délai serré	100
Délai impératif (risque de pénalités de retard)	150
Délai impératif (risque de pénalités de perte client)	225

Tableau 12 : Nombre de points correspondant aux délais de production qui lui sont liés.

I.4 .Analyse qualitative des défaillances :**I.4.1.Diagnostic et expertise**

Le diagnostic est « l'identification de la cause probable de défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test ». La norme NF EN 13306 va plus loin, puisqu'elle indique que le diagnostic d'une panne est « l'ensemble des actions menées pour la détection de la panne, sa localisation et l'identification de la cause ». On va donc jusqu'à l'expertise de la défaillance.

Localisation de panne est l'ensemble des actions menées en vue d'identifier l'équipement en panne au niveau de l'arborescence appropriée.

I.4.2. Conduite d'un diagnostic

Elle nécessite un grand nombre d'informations recueillies :

- Auprès des utilisateurs (détection, manifestation et symptômes);
- Dans les documents constructeurs et/ou dans les documents du service maintenance.

Mais il y a aussi l'expérience du terrain et le savoir-faire.

a- Manifestation de la défaillance :

La manifestation (ou effet) de la défaillance se manifeste par son amplitude (partielle ou complète), sa vitesse (elle est progressive ou soudaine), son caractère (elle est permanente, fugitive ou intermittente).

b- Les symptômes :

Les symptômes peuvent être observés in situ, sans démontage, par les utilisateurs de l'équipement ou par le maintenancier : VTOAG, mesures, défauts de qualité. Le VTOAG est l'utilisation naturelle des cinq sens de l'individu. Il ne faut jamais les négliger, car ils sont capables de contribuer à l'établissement d'un diagnostic.

*** *La vue (V) :***

- Détection de fissures, fuites, déconnexions,
- Détection de dégradations mécaniques.

*** *Le toucher (T) :***

- Sensation de chaleur, de vibration,
- Estimation d'un état de surface.

*** *L'odorat (O) :***

- Détection de la présence de produits particuliers,
- «Odeur de brûlé», embrayage chaud,...

*** *L'auditif (A) :***

- Détection de bruits caractéristiques (frottements, sifflements).

*** *Le goût (G) :***

- Identification d'un produit (fuite).

Les symptômes peuvent aussi s'observer après démontage : mesures, observations de rupture, d'état de surface, contrôles non destructifs, etc.

c- Expérience :

Lorsqu'il aborde un problème de défaillance sur un matériel, le maintenancier ne peut pas se permettre de naviguer à vue. Il connaît déjà les probabilités d'apparition de défaillance

sur un matériel. Par exemple, sur un SAP (Système Automatisé de Production), on sait que c'est la partie opérative qui occasionnera le plus de pannes (figure I.4). Il est donc inutile de commencer son investigation par l'API !

d- Savoir-faire :

Le diagnostic est construit comme une enquête policière : le maintenancier part des informations et symptômes, et à partir de son expérience, il formule des hypothèses affectées d'un niveau de probabilité plus ou moins important, teste ces hypothèses afin de se construire une certitude. Il dispose pour cela d'outils de diagnostic. Les plus utilisés sont :

- Le diagramme Causes – Effets,
- L'arbre des causes,
- L'organigramme de diagnostic et/ou la fiche de diagnostic.

I.4.3. Diagramme Cause-Effets

Cet outil a été créé par Ishikawa, professeur à l'Université de la TOKYO dans les années 60 et concepteur d'une méthode de management de la qualité totale. Le diagramme causes-effet est une représentation graphique du classement par familles de toutes les causes possibles pouvant influencer un processus. Ces familles de causes au nombre de 5 engendrent la non qualité dans un processus de fabrication. Leur nom commence par la lettre M d'où l'appellation 5M. Ishikawa a proposé une représentation graphique en « arête de poisson » (figure I.10).

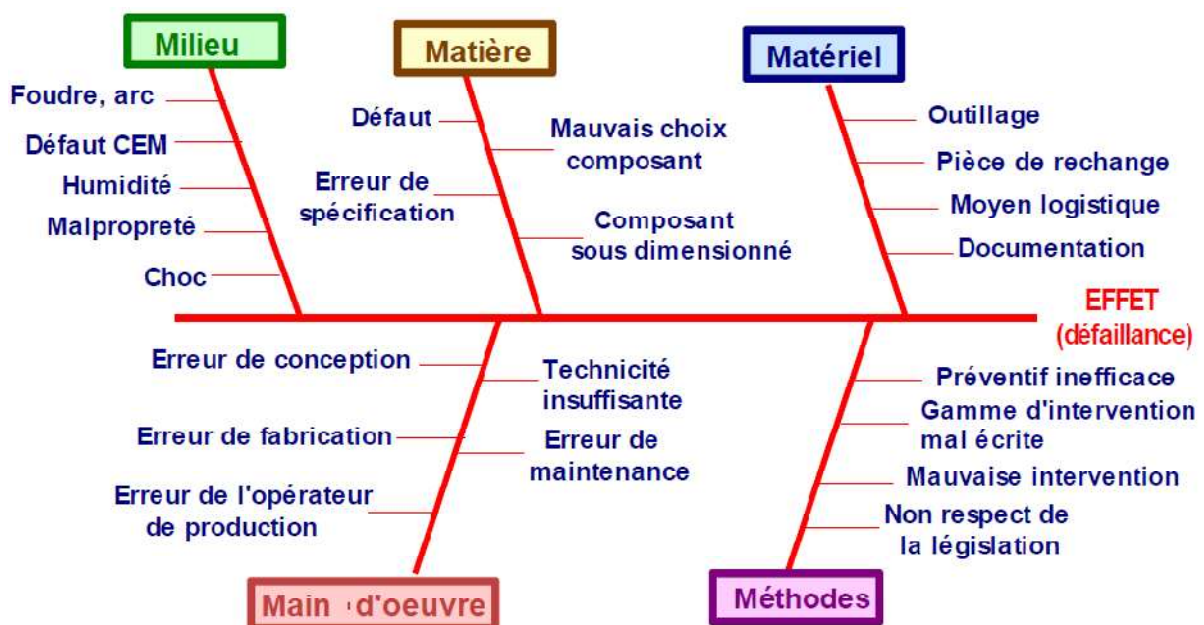


Figure I.10. Diagramme d'Ishikawa

Le diagramme Causes-Effet est donc l'image des causes identifiées d'un dysfonctionnement potentiel pouvant survenir sur un système. Il se veut le plus exhaustif possible en représentant

toutes les causes qui peuvent avoir une influence sur la sûreté de fonctionnement. Les 5 grandes familles ou 5 facteurs primaires sont renseignés par des facteurs secondaires et parfois tertiaires; Les différents facteurs doivent être hiérarchisés.

L'intérêt de ce diagramme est son caractère exhaustif. Il peut aussi bien s'appliquer à des systèmes existants (évaluation) qu'à des systèmes en cours d'élaboration (validation). On pourra adjoindre au diagramme précédent des facteurs secondaires et tertiaires qui compléteront les facteurs primaires :

On peut adapter cet outil à l'aide au diagnostic de la manière suivante :

- Définition de l'effet étudié en regroupant le maximum de données.
- Recensement de toutes les causes possibles ; le brainstorming¹ est un outil efficace pour cette phase de recherche.
- Classement typologique des causes.
- Hiérarchisation des causes dans chaque famille par ordre d'importance.

I.4.3. Arbre de défaillances

C'est un diagramme déductif qui va de l'effet vers la cause et qui a pour objet de rechercher toutes les combinaisons de défaillances élémentaires (primaires) pouvant déboucher vers une panne.

a- Symbolisme :

Cet outil utilise un symbolisme qu'on utilise également sur les circuits logiques. On parle aussi de logigramme de dépannage. Ce symbolisme est donné à la figure I.11.

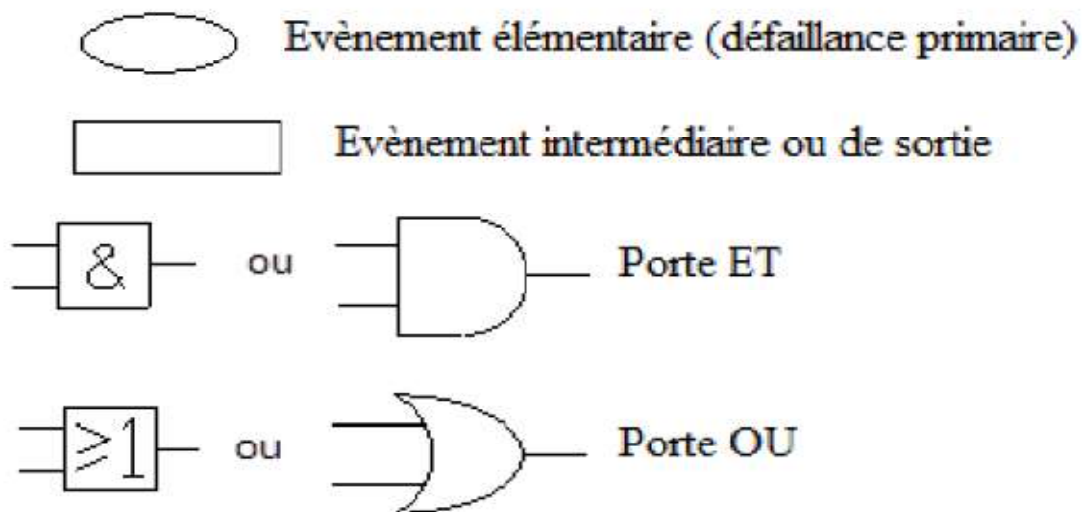


Figure I.11. Symbolisme des arbres de défaillances

b- Construction de l'arbre de défaillances :

Pour construire un arbre de défaillance, on peut utiliser l'organigramme de la figure I.12. Notons que cette construction est tout à fait qualitative.

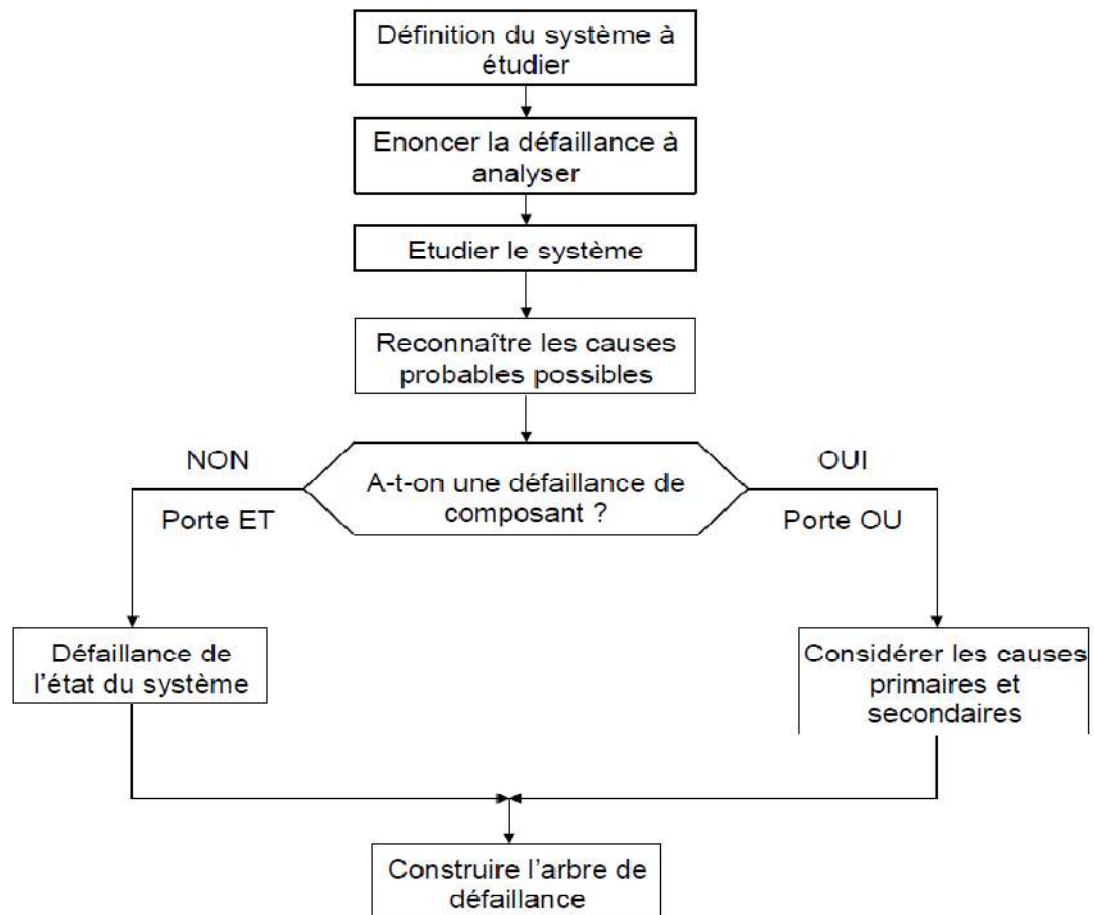
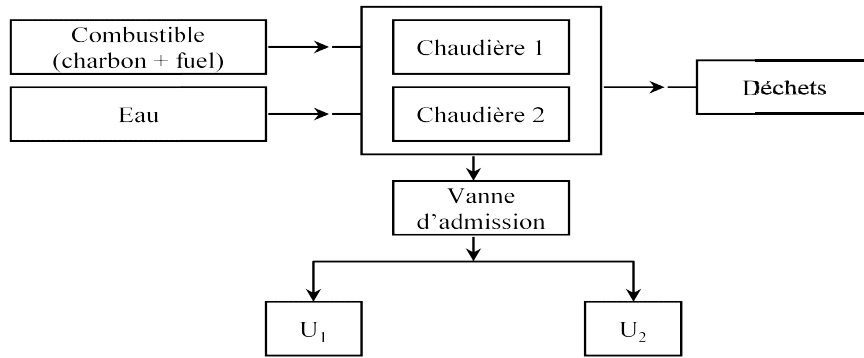


Figure I.12. Construction de l'arbre de défaillance.

Exemple:

- ❑ Le schéma de principe d'une unité de production de vapeur (UPV) est donné figure suivante.
- ❑ L'UPV comporte deux chaudières alimentées en combustible et en eau. Elle possède également un système de rejet des produits de combustion permettant de respecter l'environnement. La vapeur produite par les deux chaudières alimente deux utilisateurs, U1 et U2.
- ❑ On définit deux niveaux de performance :
 - Niveau de performance 1 : avec deux chaudières en fonctionnement nominal, les deux utilisateurs U1 et U2 sont alimentés.
 - Niveau de performance 2 : si une seule des deux chaudières fonctionne, seul l'utilisateur U1 est alimenté. En effet, cet utilisateur est considéré prioritaire, et en cas de défaillance d'une chaudière, l'utilisateur U2 est délesté (déconnecté du réseau de distribution) en faveur de l'utilisateur U1.



L'évènement redouté: " Non alimentation utilisateur U1".

