

**Université de Djillali Bounaama Khemis Miliana**  
**Faculté des Sciences et de Technologies**  
**Département de Génie Electrique**

**License 3**  
**Automatique**

**Cours**  
**Maintenance et Fiabilité**

**CHAPITRE 3**

**Analyse quantitative, qualitative de défaillance et aide au  
diagnostic**

**Enseigné par : Mme KARA MOSTEFA. C**

**Année Universitaire : 2019 / 2020**

## CHAPITRE 3

### Analyse quantitative, qualitative de défaillance et aide au diagnostic

#### I. Analyse quantitative de défaillance

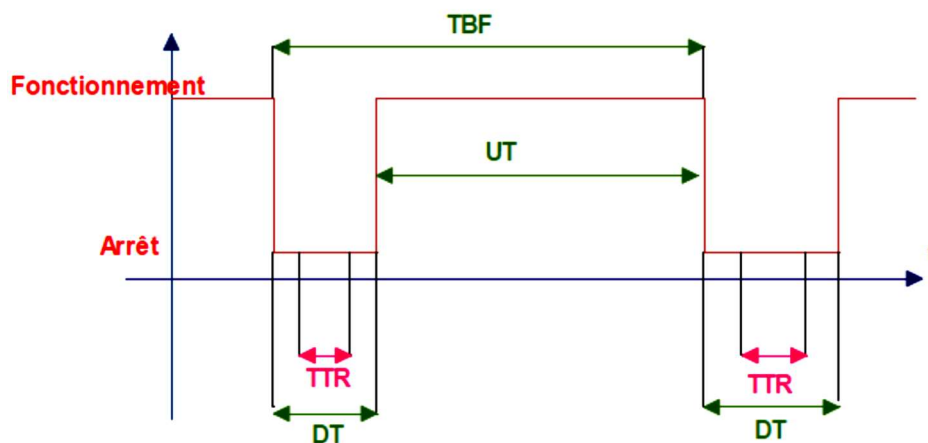
##### 1. Introduction à l'analyse qualitative :

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.



##### 2. Méthode ABC (Diagramme Pareto) :

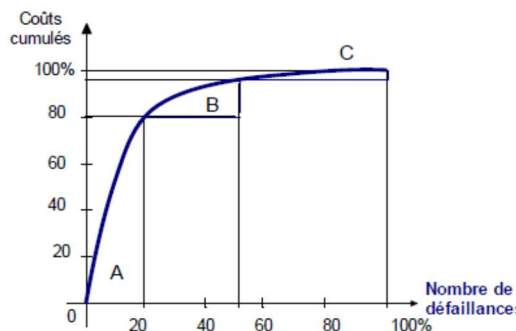
Parmi la multitude de préoccupations qui se posent à un responsable maintenance, il lui faut décider quelles défaillances doivent être étudiées et/ou améliorées en premier. Pour cela, il faut déceler celles qui sont les plus importantes et dont la résolution ou l'amélioration serait le plus rentable, 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 6.2, 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.



Courbe ABC ou Diagramme de Pareto

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.

### 3. 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.

#### 4. 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

Historique d'une machine

#### Correction:

##### 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 des couts et des pannes cumulées (Application)

A partir du tableau ci-dessus, on construit le diagramme de Pareto (figure 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.

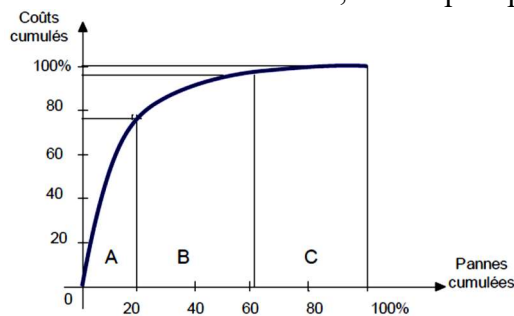


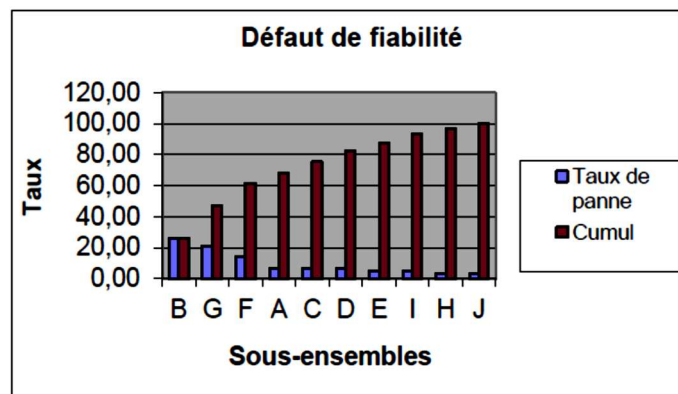
Diagramme de Pareto

**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

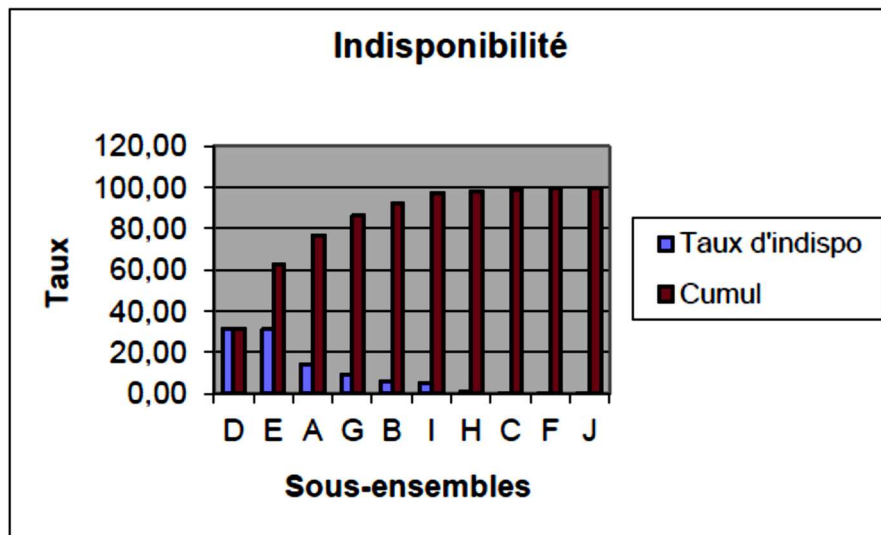
Tableau en N, Nt et  $\bar{t}$

Le graphe en N dans la figure ci-dessous 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.



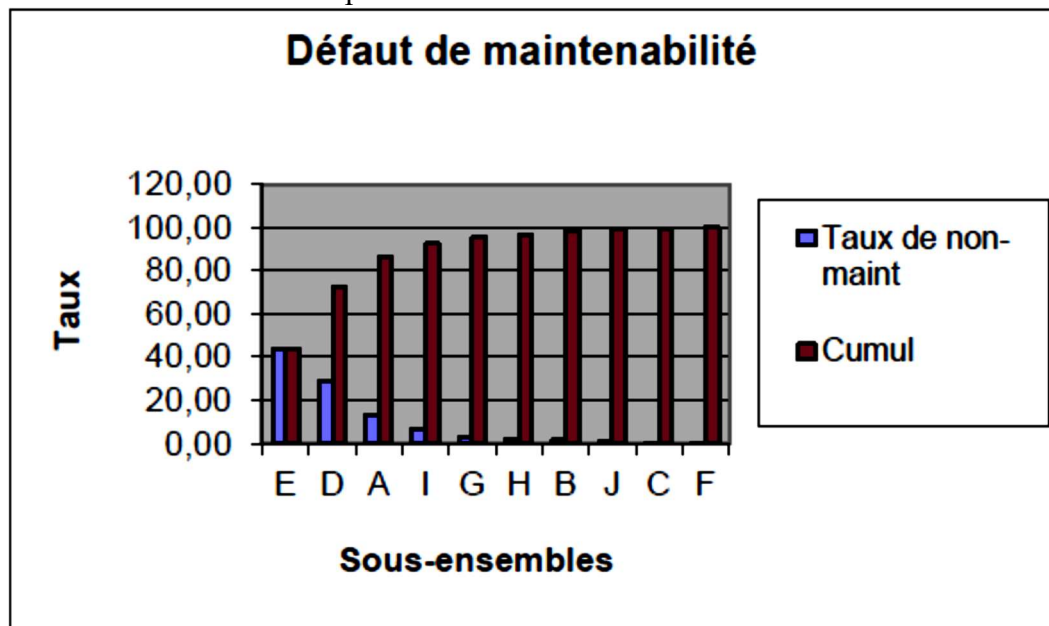
Mise en évidence des éléments les moins fiables.

Le graphe en Nt dans la figure ci-dessous 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).



Mise en évidence les éléments les moins disponibles.

Le graphe en  $\bar{t}$  dans la figure ci-dessous 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.



Mise en évidence des éléments les moins maintenable.

Après analyse de  $\bar{t}$  (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..)

### 5. 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.

### 5.1. Principe :

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

- 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

Formule de calcul : Points = 90 – âge\*4

0 ans = moins d'un an

- b) son l'interdépendance : dans quelle mesure est-il vital pour la production

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

- c) son coût

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

- d) sa complexité et son accessibilité

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

- e) sa robustesse et sa précision

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

f) son origine : France ou Etranger

Critère	Points
Français de grande série	20
Français de petite série	40
Etranger avec SAV en France	50
Etranger sans SAV en France	70
Etranger sans service technique	90

g) son utilisation dans le temps

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

h) les conséquences de ses défaillances sur les produits

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

i) les délais de production qui lui sont liés.

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

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.

## 5.2. Utilisation :

Les points de chaque critère sont ajoutés.

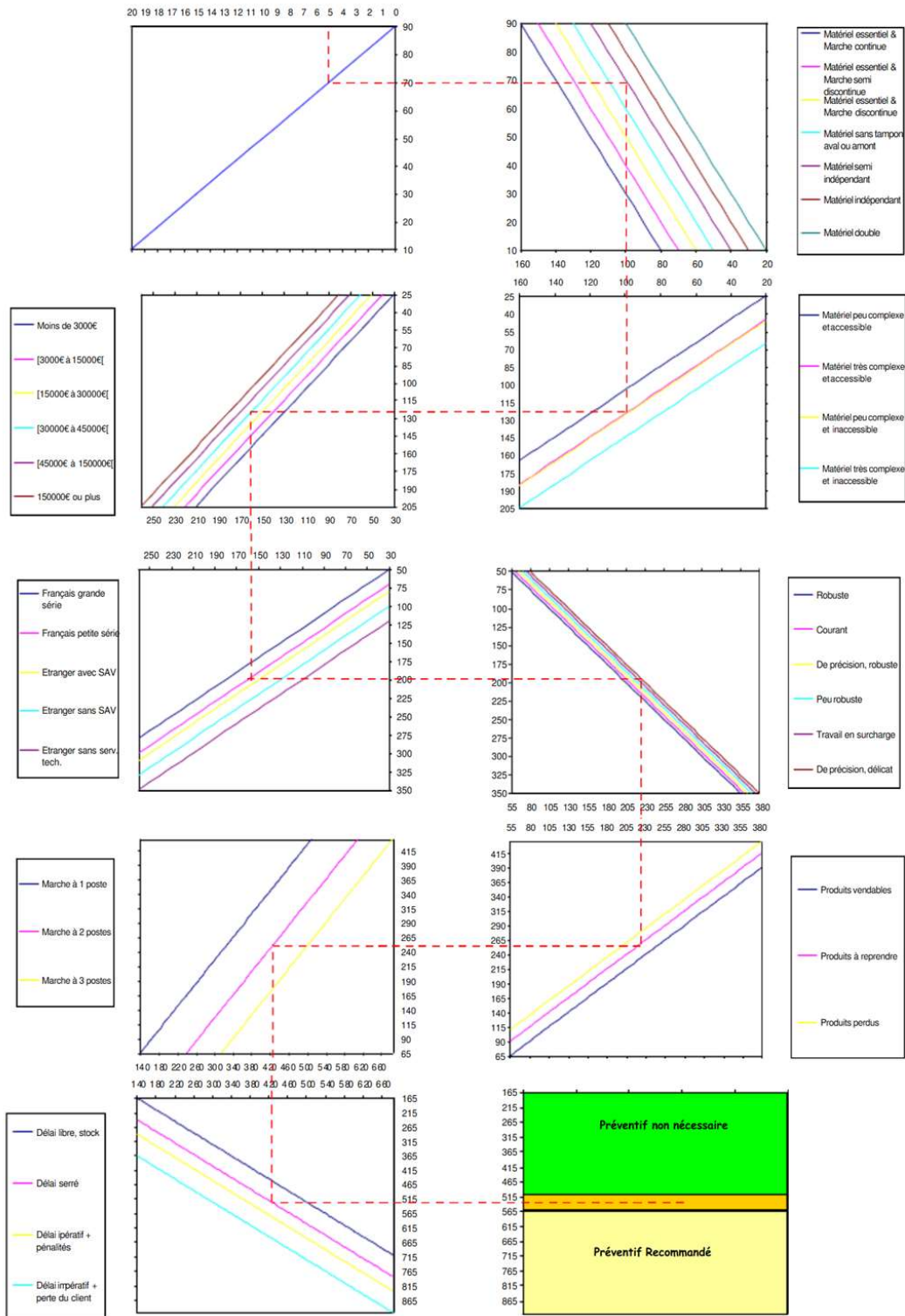


Domaine	Recommandation
0 à 510	Préventif non nécessaire
511 à 559	Préventif possible
559 à 910	Préventif recommandé

Exemple

Matériel de 5 ans	70 pts	
Semi indépendant	30 pts	
Valeur : 40000 €	35 pts	
Très complexe et accessible	25 pts	
Français petite série	40 pts	
Délicat et de précision	30 pts	
Produits à reprendre	35 pts	
Marche à 2 postes	175 pts	
Délai serré	100 pts	
TOTAL	540 pts	Préventif possible

Méthode graphique utilise des abaques



**6. Tableau à coefficient :**

Basé sur les mêmes critères que l'abaque de Noiret mais avec des points coefficients en considérant que le total des points obtenus se situait dans trois zones :

- Première zone en dessous de 500 points : pas de nécessité du préventif ;
- Deuxième zone entre 500 et 540 points : possibilité du préventif ;

- Troisième zone au-dessous de 540 points : le préventif est nécessaire ;

## **II. Analyse qualitative et diagnostic de défaillance.**

### **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.

#### **2. Conduite d'un diagnostic**

Elle nécessite un grand nombre d'informations recueillies :

##### **2.1. 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).

##### **2.2. 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.

##### **2.3. Expérience**

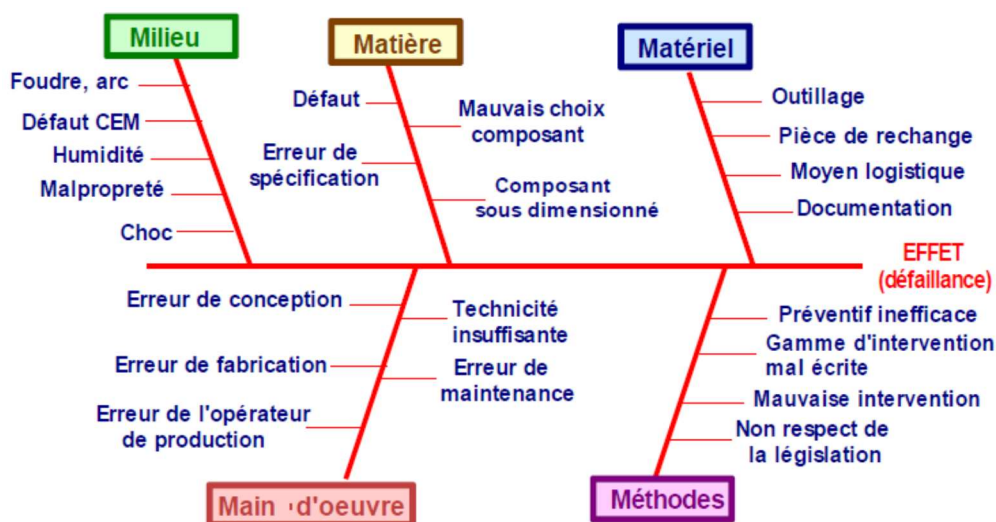
Lorsqu'il aborde un problème de défaillance sur un matériel, le maintenancier ne peut pas se permettre de naviguer à vue. Il connaît déjà les probabilités d'apparition de défaillance sur un matériel. Par exemple, sur un SAP (Système Automatisé de Production), on sait que c'est la partie opérative qui occasionnera le plus de pannes (Diagramme de Pareto).

## 2.4. 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 :

### 2.4.1. Le diagramme Causes – 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 » montré dans la figure suivante :



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 **brainstorming** est un outil efficace pour cette phase de recherche.
- Classement typologique des causes.

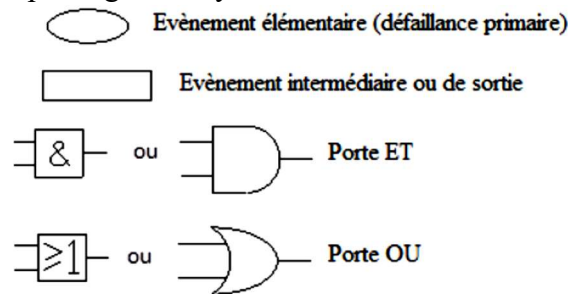
- Hiérarchisation des causes dans chaque famille par ordre d'importance.

### 2.4.2. L'arbre des causes ou Arbre de défaillance

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.

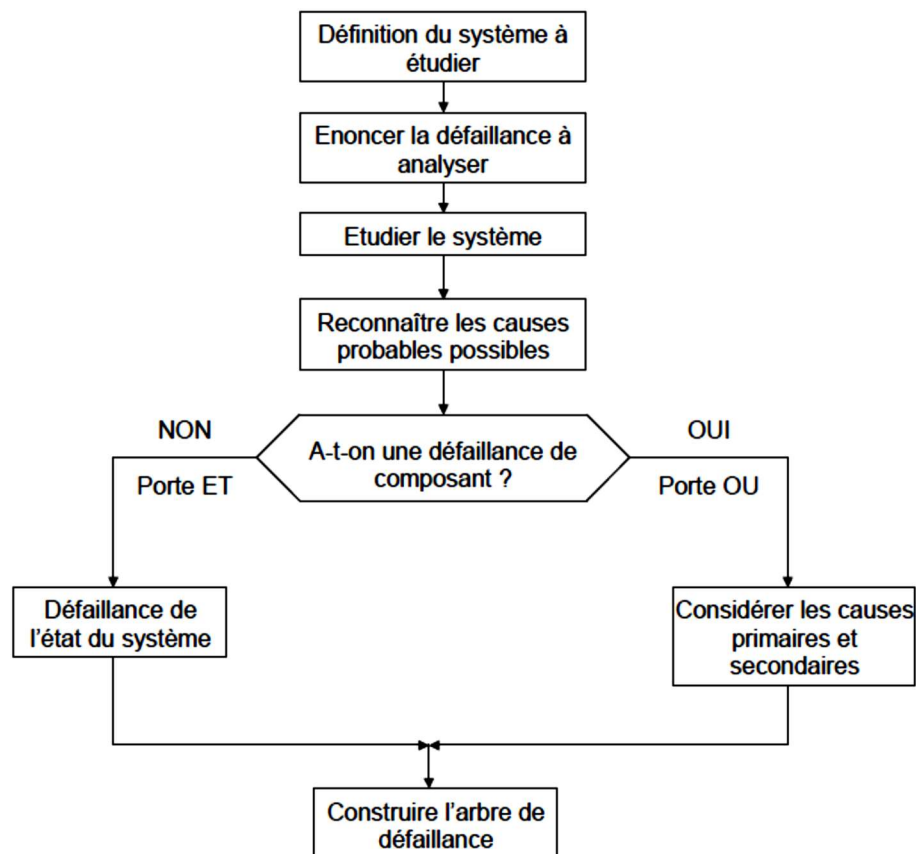
#### a) Symbolisme

Cet outil utilise un symbolisme qu'on utilise également sur les circuits logiques. On parle aussi de logigramme de dépannage. Ce symbolisme est montré dans la figure suivante :



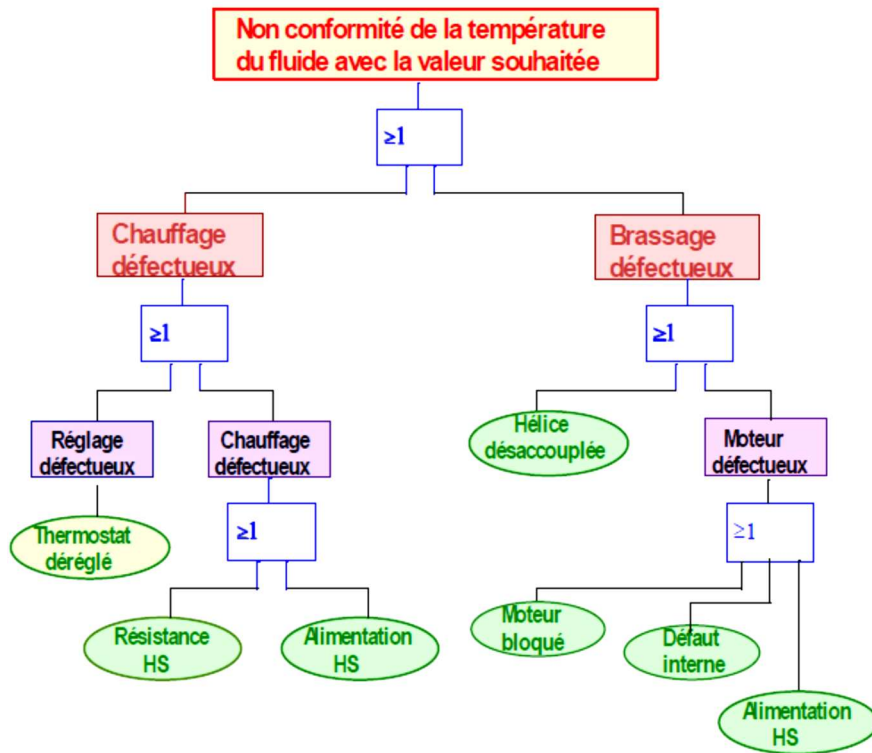
#### b) Construction de l'arbre de défaillance

Pour construire un arbre de défaillance, on peut utiliser l'organigramme de diagnostic et / ou fiche de diagnostic montré dans la figure suivante. Notons que cette construction est toute à fait qualitative :



Construction de l'arbre de défaillance

Exemple :



Arbre de défaillance « Température fluide insuffisante »