

Diagnostic des défaillances des systèmes industriels

Dr :BOUKORTT Hocine

Programme :

- I. Concepts et terminologie du diagnostic de la défaillance**
- II. Méthodes de diagnostic**
- III. Décision et diagnostic,**

Concepts et terminologie du diagnostic de la défaillance

Terminologies du diagnostic

La norme AFNOR définit le diagnostic comme étant l'identification de la cause probable de la (ou des) défaillance(s) a l'aide d'un raisonnement logique fonde sur un ensemble

d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle, ou d'un test. Les fonctions du diagnostic peuvent se résumer comme suit :

- observer les symptômes de la défaillance,**
- identifier la cause de la défaillance,**
- prévoir la défaillance.**

Le diagnostic joue un rôle primordial permettant d'assurer la sûreté de fonctionnement.

Une détection rapide ou précoce permet d'augmenter la disponibilité et la productivité des capitaux investis dans l'outil de production.

Le diagnostic de défaillance est constitué de cinq phases essentielles

- Détection : mise en évidence d'événements qui affectent l'évolution du processus. Un événement traduit un changement de situation.**
- Isolation : analyse des événements pour distinguer ceux qui sont anormaux et localisation précise de la défaillance.**

- **Identification** : quantifier la défaillance en estimant sa durée et son amplitude.
- **Pronostic** : on cherche à prévoir l'évolution des fautes détectées.
- **Reconfiguration**: concerne la remise en état de la partie défectueuse du système de façon à lui permettre de satisfaire à sa mission.

Les terminologies les plus utilisées dans le domaine du diagnostic sont les suivantes.

Défaut : un défaut est tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique de référence

Faute : c'est une action, volontaire ou non, dont le résultat est le non prise en compte correcte d'une directive ou d'une contrainte exprimée par le cahier des charges.

- **Erreur** : manifestation d'une faute dans le système

↪ Un défaut est donc une anomalie de comportement qui peut présager d'une défaillance à venir.

Faute ou Défaillance : la faute ou la défaillance concerne la modification suffisante et permanente des caractéristiques physiques d'un système ou d'un composant pour qu'une fonction requise ne puisse plus être assurée dans les conditions prévues [Rou, 1992] et [Ise, 1997b].

Les défaillances sont classées selon leurs origines en :

- défaillances de capteur: Ecart entre la valeur réelle de la grandeur et sa mesure.

- **défaillances d'actionneur**: Incohérence entre les commandes et la sortie (par exemple:

la pompe délivre un débit incohérent avec sa caractéristique hydraulique).

- **défaillances du processus physique** : Ces défaillances sont dues à des modifications de

la structure (fuite, rupture d'un organe,...) ou à la variation des paramètres du modèle (encrassement d'un tube d'un four, bouchage partiel d'une conduite, ..).

- **défaillances du contrôleur** : Ecart entre la valeur réelle de la sortie du contrôleur (selon l'algorithme implémenté) et sa mesure.

Dans [Plo, 1998], la défaillance est considérée comme une anomalie fonctionnelle au sein d'un système physique.

Définitions relatives aux défaillances

Défaillance : «< cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise >>.

Après une défaillance, le bien est en panne.

Cause de défaillance : «< circonstances liées à la conception, à la fabrication, à l'installation, à l'utilisation et à la maintenance qui ont conduit à la défaillance >>.

Mécanisme de défaillance : «< processus physiques, chimiques ou autres qui conduisent ou ont conduit à une défaillance >>.

Mode de défaillance : « effet par lequel une défaillance se manifeste ».

Panne : «< état d'un bien inapte à accomplir une fonction requise >>.

Dégradation : «< évolution irréversible des caractéristiques d'un bien liée au temps ou à la durée d'utilisation >>.

Une dégradation peut conduire à la défaillance.

Résidu : c'est un indicateur de défauts basé sur la déviation entre les mesures et les calculs basés sur un modèle. En présence des défauts, le résidu s'écarte significativement de la valeur nulle et il sera égal à zéro lorsque le système fonctionne normalement.

Liens entre ces différentes définitions

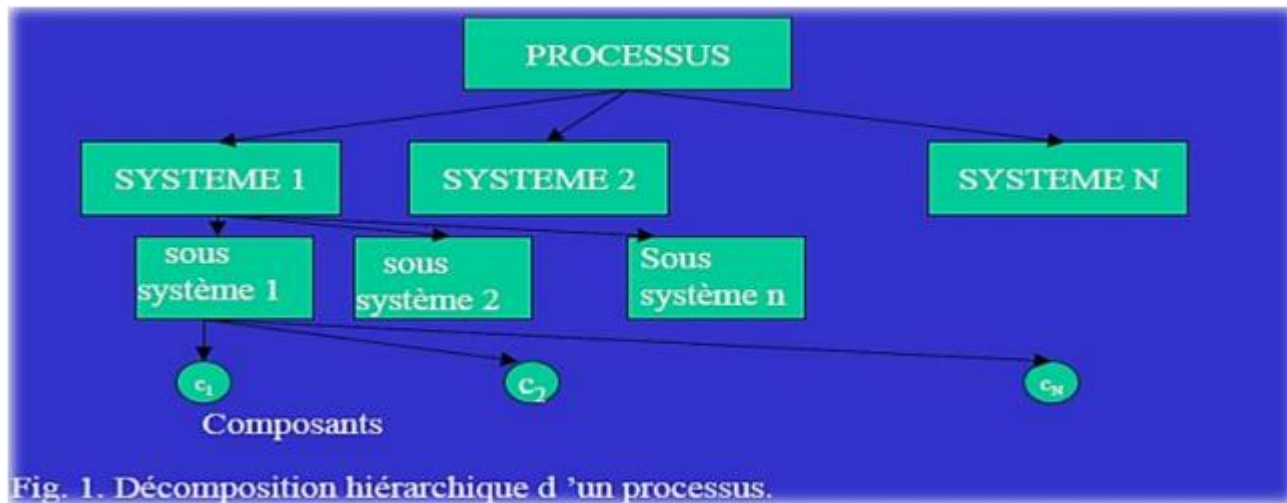
- ... → défaillance → faute → erreur → défaillance →...
- une faute active produit une erreur latente,
 - une erreur latente devient effective après son activation,
 - la défaillance survient quand une erreur affecte le système.

Système et composants

Un processus industriel est une installation complexe assumant un objectif fonctionnel de haut niveau (production de bien ou de service).

Pour assurer ces objectifs fonctionnels de haut niveau, le processus fait appel à un ensemble de systèmes interconnectés, Figure .

Chaque système assure une ou plusieurs fonctions bien définie(s).



- Les systèmes sont décomposés en sous-systèmes.
- Les sous-systèmes sont décomposés en composants bien déterminés. En règle générale et en pratique ce sont sur ces composants que l'on effectuera de la maintenance et non sur des systèmes.
- Chaque composant peut être ensuite décomposé en pièce élémentaire qui fera l'objet d'un échange standard.

Exemples des composants bien identifiés :

- Des moteurs électriques et diesels
- Des vannes et des pompes
- Des unités centrales d'ordinateurs

Un **processus industriel** est une installation complexe assumant un objectif fonctionnel de haut niveau (production de bien ou de service).

Nature des systèmes et composants:

Les méthodes de diagnostic possèdent pas de caractère universel. En fonction de la nature de processus, systèmes, sous systèmes, composants, il faudra mettre en œuvre à chaque fois des méthodes spécifiques tenant compte des technologies déployées.

Technologies déployées:

- systèmes mécaniques dynamiques: moteurs, pompes, turbines, réacteurs, ...,
- systèmes mécaniques statiques: tuyauterie, enceintes...,
- systèmes mécaniques programmés,
- systèmes thermodynamiques : échangeurs, fours, colonnes de distillation, ...,
- systèmes électriques ou électroniques analogiques ou numériques : capteurs, régulateurs et automates programmables...

Les fonctions assurées par le système possèdent une hiérarchie en terme d'importance et il convient toujours de s'interroger sur les aspects technicoéconomiques avant d'envisager la mise en œuvre d'une méthode de diagnostic.

Les fonctions assurées par le système possèdent une hiérarchie en terme d'importance et il convient toujours de s'interroger sur les aspects technicoéconomiques avant d'envisager la mise en œuvre d'une méthode de diagnostic.

Pour effectuer cette analyse il est nécessaire d'identifier les caractéristiques des systèmes et composants :

- la structure du système en analysant les liens entre systèmes et composants,
- les modes de fonctionnement des systèmes et des caractéristiques des composants,
- les conditions d'exploitation du système,
- l'environnement du système pour connaître ses délimitation et l'influence des facteurs extérieurs,
- l'inventaire des moyens de mesures.

Deux cas de figure se présentent :

- **soit le projet se situe à la phase de conception,**
- **soit ce projet doit prendre en compte l'existant.**

Dans le premier cas :

il est alors possible de procéder à une analyse de la sûreté de fonctionnement pour se fixer les objectifs a priori de disponibilité. Dans ce cas on pourra alors prévoir des matériels redondants et une instrumentation pertinente pour avoir accès à l'information indispensable pour la mise en œuvre du diagnostic.

Dans le second cas :

il faudra très souvent se contenter de l'information existante ce qui limitera l'exhaustivité du diagnostic.

Definition du dispositif

Selon la norme AFNOR X 06-501, il s'agit là du produit auquel s'applique l'étude :

- composant (le plus petit constituant irréparable par l'utilisateur),
- sous-ensemble,
- ensemble.

Classification des défauts

Les défauts peuvent être classés selon leurs natures, c'est à dire la façon et gravité avec lesquelles ils apparaissent :

- défaut abrupt
- défaut intermittent
- défaut graduel

Les défauts peuvent être aussi divisés en trois classes selon la partie du système défaillante :

- défauts d'actionneur,
- défauts de capteur,
- défauts de système.

Classification selon la nature

Abrupt

La caractéristique principale de ce type de défauts est la discontinuité dans l'évolution temporelle de la variable. Cette évolution, si elle ne correspond pas aux évolutions dynamiques normales attendues pour la variable (changement de consigne), est caractéristique d'une panne brutale de l'élément en question : arrêt total ou partiel.

Une représentation mathématique de ce défaut est donnée par :

$$f(t - t_{f_i}) = \begin{cases} \delta & t \geq t_{f_i} \\ 0 & t < t_{f_i} \end{cases}$$

Où $f(t - t_{f_i})$ est le comportement temporel du défaut et δ est un seuil constant.

Intermittents:

Il s'agit d'un type de défauts caractéristiques de faux contacts ou de pannes intermittentes de capteurs. C'est un cas particulier de défaut brutal sur un capteur avec perte aleatoire de signal.

Graduels:

Ce type de défauts est caractéristique d'un encrassement ou d'une dérive dans les paramètres caractéristiques du procédé. Il s'agit de défauts très difficiles à détecter, car leurs évolutions temporelles sont les mêmes que celles d'une modification paramétrique lente représentant une non stationnarité du procédé.

Classification selon la partie du système défaillante

Défauts de système:

Ce sont des défauts qui affectent les composants du système lui même. Ces défauts ne peuvent être considérés comme défauts de capteur ou d'actionneur. Ces défauts peuvent représenter des changements des paramètres du système, ce qui entraîne des changements du comportement dynamique du système.

Defauts d'actionneur :

Les défauts d'actionneurs affectent le signal d'entrée des systèmes. Ce type de défaut peut rendre la totalité ou une partie du système incontrôlable. Les défauts d'actionneurs peuvent engendrer une perte totale ou partielle des actionneurs. Une perte totale d'actionneur peut se produire suite à la coupure d'un fil électrique qui relie l'actionneur au système de commande par exemple. Une perte partielle peut se présenter sous la forme d'une chute de tension électrique ou une diminution de la vitesse de rotation du rotor ou une fuite hydraulique.

Défauts de capteur:

Un défaut de capteur engendre une fausse valeur des grandeurs physiques à mesurer.

Ce type de défaut peut être partiel ou total. Un capteur défectueux donne une mesure qui n'a aucune relation avec la vraie valeur de la variable. Un défaut capteur partiel peut se traduire par des mesures biaisées par exemple. Un capteur non étalonné peut être considéré comme exemple de capteur partiellement défectueux. La redondance matérielle peut être utilisée pour résoudre les problèmes liés aux mesures données par des capteurs défaillants.

B. Analyse qualitative des défaillances

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 ».

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, 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 11). 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

Methods inductive

Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE)

L'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets est une méthode inductive ; elle cherche les conséquences d'un événement non souhaité. Elle permet l'analyse des systèmes utilisée pour l'étude systématique des causes et des effets des défaillances qui peuvent affecter les composants du système étudié. Les résultats de l'analyse sont présentés sous forme de tableau.

L'AMDE permet de :

- identifier les modes de défaillance ayant d'importants effets sur la disponibilité, la fiabilité, la maintenabilité et la sécurité du système,
- évaluer les effets de chaque mode de défaillance des composants d'un système sur les différentes fonctions de ce système.

Néanmoins cette méthode présente des limites :

- elle repose sur l'existence de capteurs multiples,
- la mise en œuvre pouvant être lourde pour des systèmes complexes,
- elle utilise des informations de type binaire,
- elle ne permet pas la prise en compte des combinaisons des défaillances

C. Analyse prévisionnelle des défaillances : (AMDEC)

Définition :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode **d'analyse préventive** de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements. Ce principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de réalisation d'un produit. C'est une méthode précieuse qui permet à l'entreprise de valider, tout au long de la construction du produit, sa qualité et sa fiabilité :

- Elle identifie les modes de défaillance des composants, en évalue les effets sur l'ensemble des fonctions et en analyse les causes.
- Elle évalue l'impact, ou criticité, de ces modes de défaillances sur la sûreté de fonctionnement.
- En phase de conception, elle est associée à l'Analyse Fonctionnelle, pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction ou contrainte des composants.
- Dans le cas d'analyse sur des procédures ou chaînes de fabrication, elle permet de localiser les opérations pouvant conduire à élaborer un produit ne respectant pas le cahier des charges, ce qui permettra par la suite de limiter les rebuts.
- Appliquée à un groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets ; elle contribue donc à la construction et à l'amélioration de la qualité.

On distingue trois grands types d'AMDEC [16] :

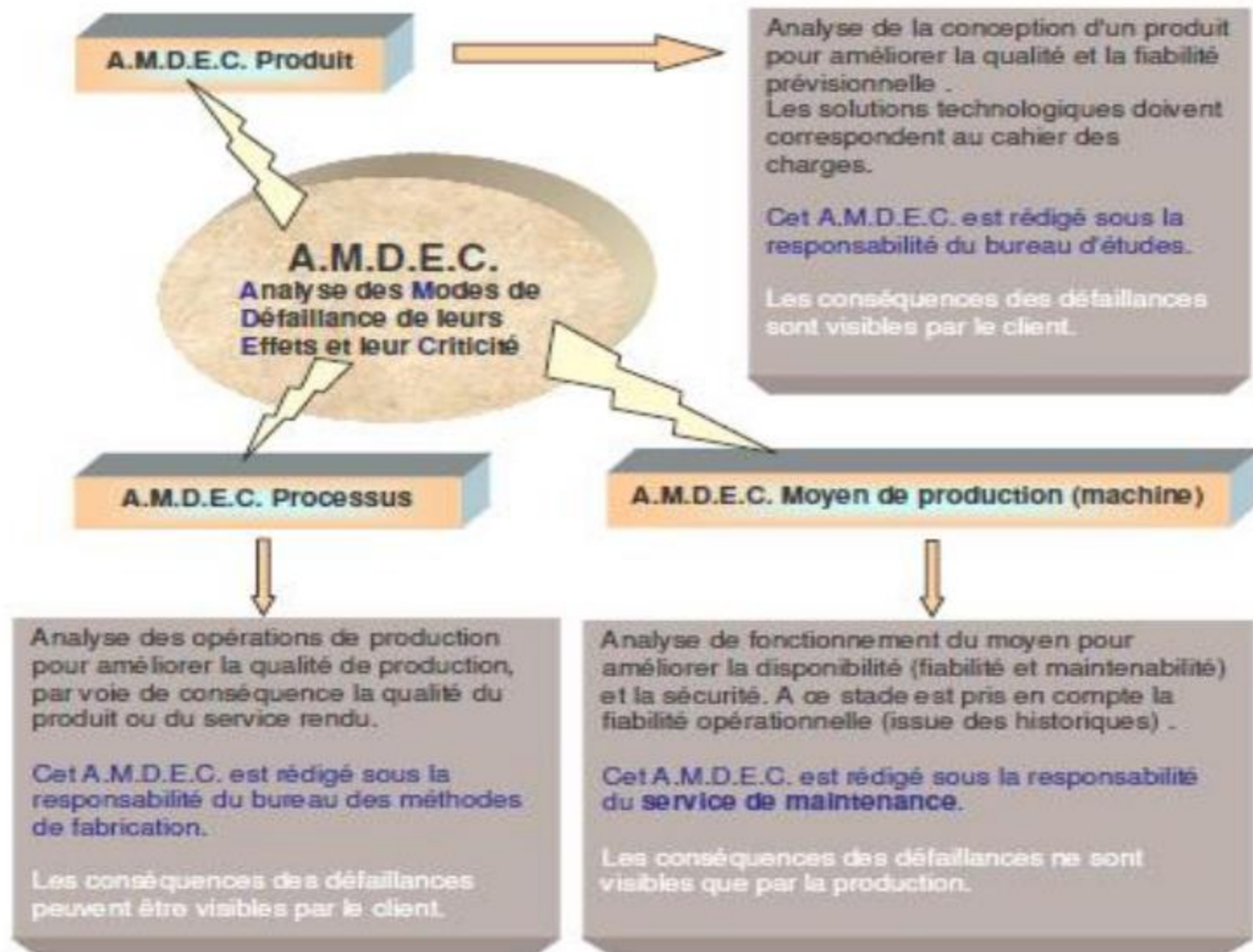
- **L'AMDEC PROCESS**
- **L'AMDEC PRODUIT**
- **L'AMDEC MAINTENANCE** ou encore appelée **AMDEC MOYEN**

L'AMDEC PROCESS se consacre à l'étude d'un procédé de fabrication ou de production en vue d'améliorer ses performances par rapport à un objectif donné. [16]

L'AMDEC PRODUIT étudie les produits dits finis qui sortent d'une ligne de production. Au contraire de **L'AMDEC PROCESS**, qui se consacre à l'outil de production dans ses analyses, **L'AMDEC PRODUIT** étudie les qualités intrinsèques du produit fabriqué ou généré par le processus. En gros on cherche un même objectif, mais en réfléchissant plus sur les caractéristiques du produit. [16]

L'AMDEC MOYEN est entièrement consacrée à l'étude des machines de production ou de tout équipement en vue de lui conserver à la fois une durée de vie optimale et de diminuer, voire éliminer, tout type de panne qui dégraderait le processus de production.

Il existe plusieurs types d'AMDEC



Démarche de la méthode AMDEC :

L'AMDEC est une technique d'analyse exhaustive et rigoureuse de travail en groupe : chacun y met en commun son expérience et sa compétence. Mais, pour la réussir, il faut bien connaître le fonctionnement du système qui est analysé ou avoir les moyens de se procurer

l'information auprès de ceux qui la détiennent. Elle comporte cinq étapes :

- Etape 1 : préparer l'étude.
- Etape 2 : réaliser l'analyse fonctionnelle.
- Etape 3 : réaliser l'analyse qualitative des défaillances.
- Etape 4 : évaluer la criticité.
- Etape 5 : définir et suivre un plan d'actions correctives et préventives

Cotation de la criticité

La cotation s'effectue sur la base de trois critères : la fréquence F d'apparition de la cause de défaillance, la gravité G de ses effets et sa non-détection N.

- Fréquence F d'apparition de la cause de défaillance : La cause de défaillance peut apparaître à l'utilisation, à la fabrication ou à la conception d'un produit. C'est la probabilité P pour que la cause se produise et qu'elle entraîne le mode de défaillance concerné. On écrit que $P = P1 \times P2$ avec P1 = probabilité que la cause de défaillance survienne et P2 = probabilité que la défaillance survienne lorsque la cause est présente.

- Gravité G des effets de la défaillance : La gravité est une évaluation de l'importance des effets de la défaillance potentielle sur le client. La cause n'a pas d'incidence sur la gravité de la défaillance.

- Non-détection N de la défaillance : Ce critère rend compte de la probabilité qu'a la défaillance de ne pas être détectée par l'utilisateur lors de contrôles (lors de la conception d'un produit, de sa fabrication ou de son exploitation) alors que la cause et le mode sont apparus.

* Cotation des critères :

Pour évaluer ces trois critères, on utilise des grilles de cotation qui peuvent être définies par l'entreprise ou alors reprises dans certains ouvrages spécialisés (ANNEXE 8).

* Expression de la criticité

On obtient la criticité C par la formule :

$$C = G \times F \times N$$

Composant	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets	Mesures préventives	Probabilité	Gravité	Criticité