

## 1.1 INTRODUCTION

Dans l'objectif de présenter l'outil **AMDEC**, tout en visant à aider à mieux comprendre et à mieux utiliser sa démarche et ses méthodes, ce chapitre commence par définir le sens de l'AMDEC dans son environnement, puis il aborde le processus de sa mise en œuvre, en fin il présente l'application de l'une de ses méthodes à savoir l'AMDEC machine.

## 1.2 PRESENTATION DE L'AMDEC

### 1.2.1. Définition

La définition de base pour l'AMDEC est donnée comme suit :

- **En français : AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité.**
- **En Anglais : FMECA : Failure Mode and Effet Criticity Analysis.**

L'AMDEC est une technique d'analyse prévisionnelle qui permet d'estimer les risques d'apparition de défaillance ainsi que les conséquences sur le bon fonctionnement du moyen de production, et d'engager les actions correctives nécessaires.

Les Anglo-saxons écrivent la majorité du temps : « potentiel FMEA », ce que nous ne retrouvons pas en français, mais qui insiste bien sur l'idée que l'AMDEC est une analyse de problème potentiel et non pas une analyse de problème avéré. Cet ajout systématique au sigle de base permettrait peut-être d'éviter cette confusion. Pour avancer dans les définitions, il nous semble utile de synthétiser le travail AMDEC de la manière suivante : quatre questions nous suffisent pour vous donner une première approche de la logique suivie et pour vous aider à comprendre que l'AMDEC est une façon de penser, une méthode de travail, et non un formulaire à remplir (**Tableau I.1)[01]**).

**Tab.1.1** : Les quatre questions de base de l'AMDEC

<b>Modes de défaillance potentielle</b>	<b>Effets possibles</b>	<b>Causes possibles</b>	<b>Plan de surveillance</b>
Qu'est-ce qui pourrait aller mal ?	Quels pourraient être les effets ?	Quelles pourraient être les causes ?	Comment faire pour voir ça ?

### 1.2.2. Historique de l'AMDEC

- **Les années 40 :** L'AMDEC a été développée par l'armée américaine vers la fin des années 40 en tant que procédure militaire (MIL-P-1629). Elle était utilisée comme technique d'évaluation de fiabilité afin de déterminer les effets des défaillances de systèmes ou d'équipements. Les défaillances étaient répertoriées suivant leur effet sur le succès d'une mission et sur la sécurité du personnel et de l'équipement.

- **Les années 50 :** cours des années 50 l'AMDEC a été utilisée dans l'industrie aérospatiale. Les équipes de lancement à Cap Canaveral ne pouvaient pas se permettre d'erreurs. Ils se demandaient systématiquement ce qui pourrait survenir et ce qu'ils pouvaient faire pour éviter ces défaillances. Actuellement l'AMDEC est devenue une technique de base pour la maîtrise de la qualité, qui est appliquée depuis longtemps déjà dans l'industrie automobile.
- **Les années 60-70 :** L'AMDEC fut pratiquée en France à partir des années 1960-1970, en premier lieu par les ingénieurs fiabilistes. Puis de grands groupes rédigèrent des manuels d'application de l'AMDEC (ou de la FMEA), et certains se donnèrent l'obligation
- **Les années 80 :** En 1988, l'international Organisation for Standardisation émettait les normes de la série ISO 9000. Cette nouvelle norme poussa les entreprises à développer la formalisation du management du système Qualité. Le QS 9000, l'équivalent de l'ISO 9000 pour le secteur Automobile, fut développé par un groupe de travail représenté par Chrysler, Ford et Général Motors. Dans un enjeu de standardiser les systèmes qualités des fournisseurs, ils mirent au point l'APQP, incluant l'outil AMDEC et développant les plans de contrôle.
- **Les années 90 :** L'AIAG et l'ASQC émettent les normes AMDEC en février 1993. Les normes sont présentées dans un manuel de l'AMDEC approuvé et soutenu par trois constructeurs automobiles. Ce manuel fournit les principes généraux pour préparer une AMDEC. Ces pages sont destinées à comprendre l'utilisation de l'AMDEC dans l'industrie automobile américaine. Une AMDEC est défini comme "un procédé systématique pour identifier les modes potentiels et traiter les défaillances avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés [02].

### 1.2.3. Aspects de l'AMDEC

#### 1°. Aspect qualitatif

L'aspect qualitatif de l'étude consiste à recenser les défaillances potentielles des fonctions du système étudié, de rechercher et d'identifier les causes des défaillances et d'en connaître les effets qui peuvent affecter les clients, les utilisateurs et l'environnement interne ou externe [03].

#### 2°. Aspect quantitatif

L'aspect quantitatif consiste à estimer le risque associé à la défaillance potentielle. Le but de cette estimation est l'identification et la hiérarchisation des défaillances potentielles. Celles-ci sont alors mises en évidence en appliquant certains critères dont, entre autres, l'impact sur le client. La hiérarchisation des modes de défaillance par ordre décroissant, facilite la recherche et la prise d'actions prioritaires qui doivent diminuer l'impact sur les clients ou qui élimineraient complètement les causes des défauts potentiels [03].

### 1.2.4 Domaine d'application

L'AMDEC a fait ses preuves dans le domaine des industries suivantes : spatiale, armement, mécanique, électronique, électrotechnique, automobile, nucléaire, aéronautique, chimie, informatique. et plus récemment, on commence à s'y intéresser dans les services. L'AMDEC étant considérée comme un outil de la qualité totale, aujourd'hui il est maintenant possible d'anticiper les problèmes dans tous les systèmes du processus d'affaires et de rechercher à priori des solutions préventives. Il est important de souligner que l'utilisation de la méthode se fait avec d'autres outils de la qualité et cette combinaison augmente considérablement la capacité et l'efficacité de la méthode [03].

### 1.2.5 Catégories d'AMDEC

Il y a plusieurs sortes d'AMDEC, en fonction du stade de la conception : l'AMDEC du concept, l'AMDEC du produit et AMDEC du procédé, (AMDEC de la machine, ...). Toutes ces AMDEC ont la même structure :

1. **AMDEC organisation** : C'est une étude qui s'applique aux différents niveaux de processus d'affaires : de premier niveau qui englobe les processus de gestion, d'information, de production, de gestion du personnel, du marketing et le processus financier jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail.
2. **AMDEC produit** : Elle est utilisée pour étudier en détail la phase de conception du produit ou d'un projet.
3. **AMDEC système ou moyen de production** : C'est une étude permettant d'analyser la conception et ou l'exploitation des équipements de production, pour améliorer leur fiabilité et leur disponibilité et parfois même leur sécurité.
4. **AMDEC service** : Elle s'applique pour vérifier que la valeur ajoutée dans le service correspond aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas des défaillances.
5. **AMDEC sécurité** : Elle a pour objectifs d'analyser les défaillances et les risques prévisionnels sur un équipement afin d'améliorer sa sécurité et sa fiabilité.
6. **AMDEC processus** : Elle permet de valider la gamme de fabrication d'un produit. Elle est utilisée pour analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Autrement dit, elle permet l'analyse des opérations de production pour améliorer la qualité de fabrication du produit [05].

### 1.2.6 Méthodologie AMDEC

Avant de se lancer dans la réalisation proprement dite des AMDEC, il faut connaître précisément le système et son environnement. Ces informations sont généralement les résultats de l'analyse fonctionnelle, de l'analyse des risques et éventuellement du retour d'expériences. Il faut également déterminer comment et à quel fin l'AMDEC sera exploitée et définir les moyens nécessaires, l'organisation et les responsabilités associées.

Dans un second temps, il faut évaluer les effets des modes de défaillance. Les effets de mode de défaillance d'une entité donnée sont étudiés d'abord sur les composants directement interfacés avec celui-ci (effet local) et de proche en proche (effets de zone) vers le système et son environnement (effet global). Il est important de noter que lorsqu'une entité donnée est considérée selon un mode de défaillance donné, toutes les autres entités sont supposées en état de fonctionnement nominal.

Dans un troisième temps, il convient de classer les effets des modes de défaillance par niveau de criticité, par rapport à certains critères de sûreté de fonctionnement préalablement définis au niveau du système en fonction des objectifs fixés (fiabilité, sécurité, etc.).

Les modes de défaillance d'un composant sont regroupés par niveau de criticité de leurs effets et sont par conséquent hiérarchisés. Cette typologie permet d'identifier les composants les plus critiques et de proposer alors les actions et les procédures " juste nécessaires " pour y remédier. Cette activité d'interprétation des résultats et de mise en place de recommandations constitue la dernière étape de l'AMDEC [06].

### 1.2.7. Avantages et Inconvénients

#### 1°. Avantage

- L'AMDEC favorise les échanges techniques entre les différentes équipes d'une entreprise, voire entre clients et fournisseurs.
- Elle permet l'évolution des connaissances et contribue même à la formation technique des participants.

#### 2°. Inconvénients

- L'AMDEC n'est pas un outil universel car elle ne permet pas de prendre en compte les combinaisons de plusieurs défaillances.
- Les conséquences des erreurs humaines sont mal prises en compte.
- L'AMDEC n'est pas adaptée à l'analyse des logiciels.

### **1.3. AMDEC MACHINE**

#### **1.3.1 Définition**

C'est une technique d'analyse qui a pour but d'évaluer et de garantir la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité des machines pour la maîtrise des défaillances. Elle a pour objectif final l'obtention au moindre des coûts, d'un rendement global maximum des machines de production et équipements industriels. Son rôle n'est pas de remettre en cause les fonctions de la machine mais plutôt d'analyser dans quelle mesure ces fonctions peuvent ne pas être assurées correctement [04].

#### **1.3.2 Rôle et objectifs [04]**

Le rôle l'AMDEC machine est d'analyser dans quelle mesure les fonctions de la machine ne peuvent plus être assurées correctement et cela sans les remettre en cause. L'AMDEC machine a pour objectif final l'obtention, au meilleur coût, du rendement global maximum des machines de production et équipements industriels. L'étude de l'AMDEC machine vise à :

1. Réduire le nombre de défaillances.
2. Réduire le temps d'indisponibilité après défaillance.
3. Améliorer la sécurité.

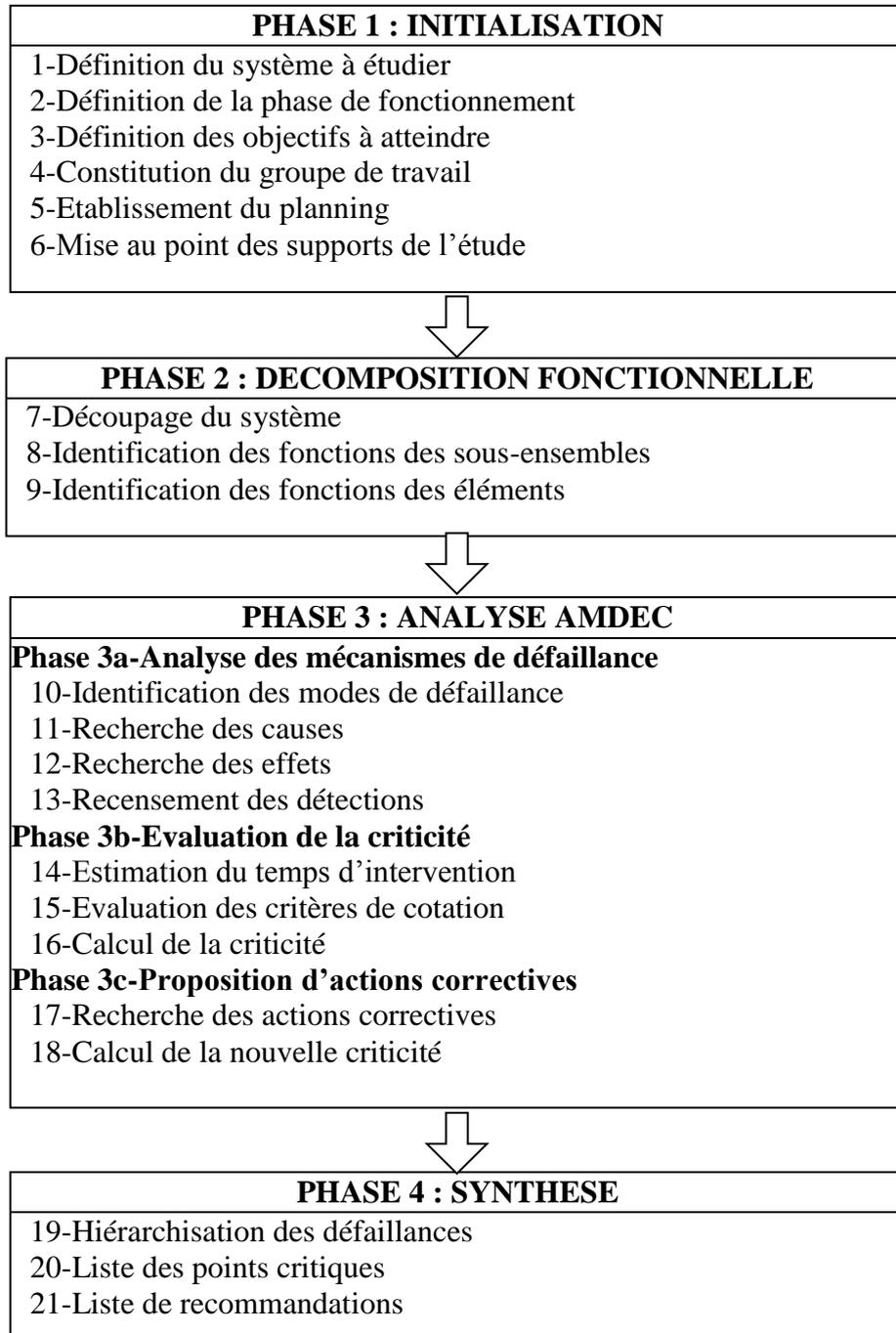
#### **1.3.3. Principe de base**

Il s'agit d'une analyse critique consistant à identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines puis à en rechercher les origines et leurs conséquences. Elle permet de mettre en évidence les points critiques et de proposer des actions correctives adaptées. Ces actions peuvent concerner aussi bien la conception des machines étudiées que leur fabrication, leur utilisation ou leur maintenance. C'est essentiellement une méthode préventive.

L'AMDEC est une méthode participative. Fondée sur la mise en commun des expériences diverses et des connaissances de chaque participant, elle trouve toute son efficacité dans sa pratique en groupe de travail pluridisciplinaire. La composition du groupe de travail entre d'ailleurs pour une large part dans le succès d'une étude AMDEC. Cette réflexion en commun est source de créativité. Elle favorise les échanges techniques entre les différentes équipes d'une entreprise. Elle permet l'évolution des connaissances et contribue même à la formation technique des participants [03].

### 1.3.4. Démarche AMDEC machine

Un processus est un enchaînement de tâches incluant les moyens correspondant (machines, main d'œuvre, milieu, méthodes et matière), nécessaire à l'élaboration d'un produit. La méthode AMDEC comporte 4 étapes successives pour un total de 21 opérations. Elle peut être prolongée par des travaux complémentaires tels que les calculs de fiabilité et de disponibilité, l'élaboration de plans de maintenance et des aides au diagnostic, la démarche est la suivante [03] :



**Fig. 1.1** : Déroulement de l'étude AMDEC

### 1.3.4.1. Initialisation

#### 1° But

L'initialisation de l'AMDEC machine est une étape préliminaire à ne pas négliger. Elle consiste à poser clairement le problème, à définir le contenu et les limites de l'étude à mener et à réunir tous les documents et informations nécessaires à son bon déroulement.

#### 2° Démarche

1. Définir le système à étudier et ses limites matérielles. Dans cette opération, la documentation technique disponible sur le système doit être réunie. Il s'agit de regrouper, selon le cas, les plans d'ensemble, les plans détaillés et la nomenclature des composants, le descriptif du processus de fabrication, les notices techniques de fonctionnement, ainsi que les procédures d'utilisation et de maintenance.
2. Définir la phase de fonctionnement pour laquelle l'étude sera menée. Cette phase se caractérise en particulier par une mission à accomplir.
3. Définir les objectifs à atteindre qui peuvent être exprimés en termes d'amélioration de fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité ou maintenance du système. Les limites techniques de remise en question du système étudié peuvent être imposées ainsi que le champ possible des interventions à proposer.
4. Constituer un groupe de travail, de 5 à 8 personnes, qui doit être pluridisciplinaire, motivé et compétant.
5. Etablir le planning et la durée des réunions qui doit être limitée à 2 ou 3 heures pour une meilleure efficacité.
6. Mettre au point les supports de l'étude : les grilles et la méthode de cotation de la criticité, les tableaux de saisie AMDEC machine et les feuilles de synthèse [03].

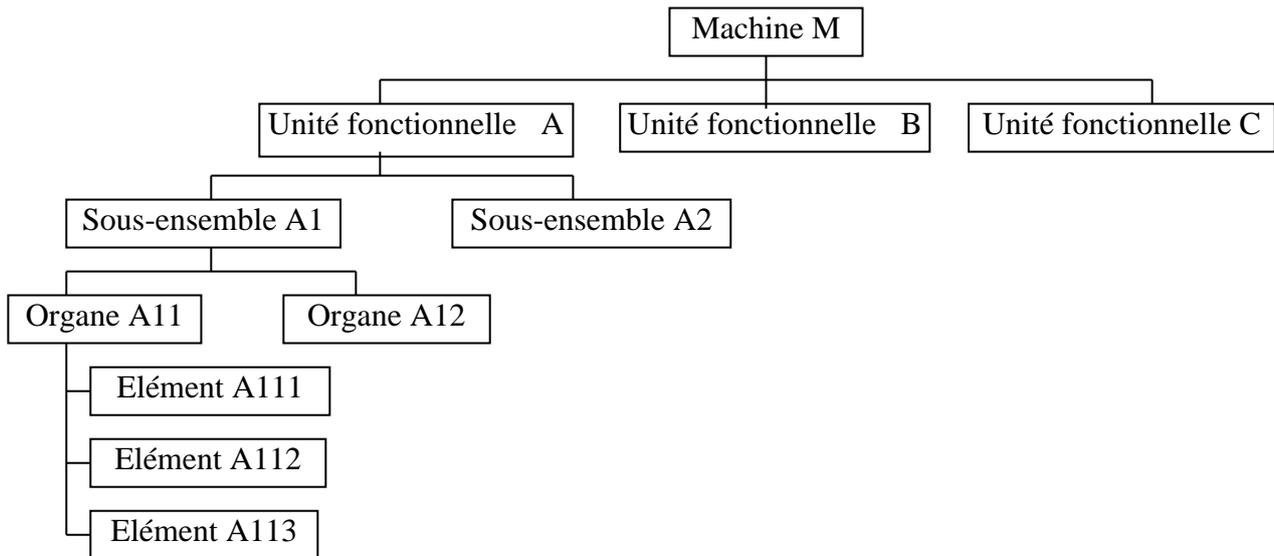
### 1.3.4.2. Décomposition fonctionnelle

#### 1° but

Il s'agit dans cette étape d'identifier clairement les éléments à étudier et les fonctions à assurer. C'est une étape indispensable, car il est nécessaire de bien connaître les fonctions de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement.

#### 2° Démarche

1. Découper le système en blocs fonctionnels, sous une forme arborescente (**Figure 1.2** découpage du système à étudier), selon autant de niveaux que nécessaire. Puis définir le niveau de l'étude et les éléments à traiter correspondants.



**Fig. 1.2 :** *Découpage du système à étudier*

2. Faire l'inventaire des milieux environnants des sous-ensembles auxquels appartiennent les éléments étudiés, dans la phase de fonctionnement retenue, pour identifier les fonctions principales et de contrainte. Le résultat de cette opération peut être présenté sous forme d'un digramme de contexte.
3. Identifier les fonctions de chaque élément du sous-ensemble dans la phase de fonctionnement retenue. Là encore, on peut s'appuyer sur des représentations graphiques, comme les diagrammes fonctionnels [03].

### 1.3.4.3 Analyse AMDEC

L'analyse AMDEC a pour finalité d'identifier les dysfonctionnements potentiels ou déjà constatés de la machine, à mettre en évidence les points critiques et à proposer des actions correctives pour y remédier. Cette étape doit être menée élément par élément, au niveau de détail choisi. C'est le travail essentiel de l'étude où la synergie de groupe doit jouer à fond. Cette analyse comporte 3 phases successives :

#### 1°. Analyse des mécanismes de défaillances

Cette phase consiste à examiner comment et pourquoi les fonctions de la machine risquent de ne pas être assurées correctement. Il s'agit d'une étude purement qualitative. On identifie les mécanismes de défaillances des éléments de la machine de manière exhaustive, pour la phase de fonctionnement considérée et au niveau d'analyse choisi. L'analyse des mécanismes de défaillance se base sur l'état actuel ou prévu de la machine au moment de l'étude. Cette analyse consiste à

1. Identifier les modes de défaillance de l'élément en relation avec les fonctions à assurer, dans la phase de fonctionnement retenue.

**Tab 1.2 : Modes de défaillances**

<b>Origines des défaillances</b>	<b>Exemples des causes de défaillance</b>
<b>Conception</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sous-dimensionnement, coefficient de sécurité trop faible</li> <li>▪ Constituant non fiable</li> <li>▪ Technologie non adaptée</li> <li>▪ Mauvais choix de forme, matière.</li> </ul>
<b>Fabrication et réalisation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Défaut interne matière</li> <li>▪ Opération mal réalisée</li> <li>▪ Installation défectueuse</li> </ul>
<b>Milieu ambiant lors de l'exploitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Température</li> <li>▪ Humidité</li> <li>▪ Vibrations, chocs, coups de bélier.</li> <li>▪ Pollution.</li> <li>▪ Outils, produit traité</li> <li>▪ Fixation, implantation, assises</li> </ul>
<b>Exploitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réglage, contrôle défectueux</li> <li>▪ Utilisation non conforme, sur charge</li> <li>▪ Défaut de maintenance</li> <li>▪ Usure naturelle ou accélérée, fatigue</li> <li>▪ Contraintes mécaniques</li> </ul>

2. Rechercher les causes possibles de défaillance, pour chaque mode de défaillance identifié.
3. Rechercher les effets sur le système et sur l'utilisateur, pour chaque combinaison (cause, mode) de défaillance.

**Tab. 1.3 : Effets de défaillance**

<b>Effets des défaillances</b>	<b>Exemples d'effets de défaillance</b>
<b>Effet sur le fonctionnement et l'état matériel du système</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Défaut de fonctionnement</li> <li>• Pertes de performance</li> <li>• Dégâts matériels, avaries</li> <li>• Pannes, arrêts</li> </ul>
<b>Effets sur la disponibilité et la capabilité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durée d'arrêt du flux de production</li> <li>• Ralentissement de cadence</li> <li>• allongement du cycle</li> <li>• non-conformité du produit fabriqué</li> </ul>
<b>Effets sur la maintenance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• frais de réparation</li> <li>• coûts directs de maintenance</li> </ul>
<b>Effets sur la sécurité des utilisateurs et sur l'environnement du système</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dommages corporels</li> <li>• pollution contamination</li> </ul>

<b>Effets sur les opérations suivantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• perturbation du flux</li> <li>• arrêt de production</li> <li>• rebuts, retouches</li> <li>• dégradation du processus</li> <li>• sécurité des opérateurs</li> <li>• environnement</li> </ul>
--	--

4. Rechercher les mécanismes de détection possibles, pour chaque combinaison (cause, mode) de défaillance. On définit les mécanismes de détection comme étant les moyens ou les méthodes avec les quels une défaillance peut être découverte par l'opérateur pendant le fonctionnement normal ou qui peut être détectée par l'équipe de maintenance avec des systèmes appropriés de diagnostic.

## 2°. Évaluation de la criticité

Cette phase consiste à évaluer la criticité des défaillances de chaque élément, à partir de plusieurs critères de cotation indépendants (voir Figure 7- Principe d'évaluation de la criticité). Pour chaque critère de cotation, on attribue un niveau (une note ou un indice.). Un niveau de criticité en est ensuite déduit, ce qui permet de hiérarchiser les défaillances et d'identifier les points critiques. Cette évaluation consiste à :

1. Déterminer ou estimer le temps d'arrêt et les coûts des interventions correctives (coût main d'œuvre direct, coût pièce de rechange, coût sous-traitance), pour chaque combinaison (cause, mode, effet).
2. Evaluer le niveau atteint par les critères de fréquence, de gravité et probabilité de non détection, pour chaque combinaison (cause, mode, effet).
3. Calculer le niveau de criticité, pour chaque combinaison (cause, mode, effet). Ce niveau est le produit des niveaux atteints par les critères de cotation indiqués dans l'opération précédente.

La gravité des conséquences d'une défaillance se mesure par la prise en compte de la fréquence d'apparition des défaillances caractérisé par un taux de défaillance, de la probabilité de non détection des causes de défaillances et enfin de la gravité des effets de la défaillance par rapport à la sécurité des personnes et des biens, ou par rapport à l'importance des couts de défaillance. La valeur relative des criticités des différentes défaillances permet de planifier les recherches d'amélioration en commençant par celles qui ont la criticité la plus élevée. Un moyen simple pour mesurer la criticité d'un événement, est d'effectuer le calcul suivant :

$$C = G \times F \times D$$

**Avec :**

**C :** Criticité

**G** : la Gravité (Gravité des effets de la défaillance sur le système ou l'utilisateur)

**F** : la Fréquence (Fréquence (occurrence ou probabilité) d'apparition d'une défaillance due à une cause particulière)

**D** : la détectabilité

Pour effectuer cette évaluation, on utilise des grilles de cotation (ou barèmes) définies selon 3 ou plus fréquemment 4 ou même 5 niveaux (**tableau 1.4**). On s'appuie sur :

- Les connaissances des membres du groupe sur les dysfonctionnements.
- Les banques de données de fiabilité, historiques d'avaries, retours d'expérience, etc.

**Tab. 1.4** : Grille de cotation

	Valeur	Condition	Niveau
<b>Fréquence F</b>	1	1 défaillance maxi par an	Fréquence très faible
	2	1 défaillance maxi par trimestre	Fréquence faible
	3	1 défaillance maxi par mois	Fréquence moyenne
	4	1 défaillance maxi par semaine	Fréquence forte
<b>Détection D</b>	1	Visible par l'opérateur	Détection évidente
	2	Détection aisée par un agent de maintenance	Détection possible
	3	Détection difficile	Détection improbable
	4	Indécelable	Détection impossible
<b>Gravité G</b>	1	Pas d'arrêt de production	Gravité mineure
	2	Arrêt =1 heure	Gravité significative
	3	1 heure < arrêt <1jour	Gravité moyenne
	4	Arrêt >1 jour	Gravité majeure

### 3°. Proposition d'actions correctives

Cette phase consiste à proposer des actions ou mesures amélioratives destinées à faire chuter la criticité des défaillances, en agissant sur un ou plusieurs des critères de fréquence, de gravité et probabilité de non détection. Ces actions peuvent concerner selon le cas le constructeur ou l'utilisateur de la machine. Cette étape consiste à :

1. Rechercher des actions correctives, pour chaque combinaison (cause, mode, effet). Ces actions correctives sont des moyens, dispositifs, procédures ou documents permettant la diminution de la valeur de la criticité. Elles sont de 3 types :
  - Actions de prévention des défaillances,
  - Actions de détection préventive des défaillances,
  - Action de réduction des effets.

Plusieurs possibilités existent dans la recherche des actions selon les objectifs de l'étude :

- On ne s'intéresse qu'aux défaillances critiques.

- On s'intéresse à toutes les défaillances systématiques.
  - On oriente l'action à engager selon le niveau de criticité obtenu.
2. Après la proposition et l'analyse des mesures à engager, le groupe peut évaluer la nouvelle criticité pour juger de manière prévisionnelle de leur impact.

En effet, la mise en place des actions correctives préconisées doit logiquement entraîner la réduction de la criticité de la défaillance étudiée. Le mécanisme de défaillance s'en trouve modifié, voire éliminé, par la mise en place des actions. Cependant, il convient de prendre garde au fait qu'une modification de la machine peut engendrer des nouveaux dysfonctionnements qu'il est nécessaire d'analyser [03].

#### **1.3.4.4. Synthèse**

Cette étape consiste à effectuer un bilan de l'étude et à fournir les éléments permettant de définir et lancer, en toute connaissance de cause, les actions à effectuer. Ce bilan est essentiel pour tirer vraiment parti de l'analyse. Cette dernière étape consiste à :

1. Hiérarchiser les défaillances selon les niveaux atteints par les critères de criticité, avant et après actions correctives. On peut classer les défaillances entre elles, selon leurs niveaux respectifs de fréquence de gravité de probabilité de non détection ou encore selon leurs niveaux de criticité. On peut utiliser des représentations graphiques (histogrammes, des courbes ABC, etc.).
2. Effectuer la liste des points critiques de la machine. Cette liste permet de recenser les points faibles de la machine et les éléments les plus critiques pour le bon fonctionnement du système.
3. Etablir la liste ordonnée des actions proposées. Cette liste permet de recenser, voire de classer par ordre de priorité, les actions préconisées [03].