

AMDEC

1.1 — Définitions d'un mode de défaillance, d'une cause de défaillance et de l'effet de cette défaillance

Par *défaillance* on entend simplement qu'un produit, un composant ou un ensemble:

- ne fonctionne pas;
- ne fonctionne pas au moment prévu;
- ne s'arrête pas au moment prévu;
- fonctionne à un instant non désiré;
- fonctionne, mais les performances requise ne sont pas obtenues

Le *mode de défaillance* est la façon dont un produit, un composant, un ensemble, un processus ou une organisation manifeste une défaillance ou s'écarte des spécifications. Voici quelques exemples pour illustrer cette définition:

- déformation;
- vibration;
- coincement;
- desserrage;
- corrosion;
- fuite;
- perte de performance;
- court-circuit;
- flambage;
- ne s'arrête pas;
- ne démarre pas;
- dépasse la limite supérieure tolérée, etc.

Une *cause de défaillance* est évidemment ce qui conduit à une défaillance. On définit et on décrit les causes de chaque mode de défaillance considérée comme possible pour pouvoir en estimer la probabilité, en déceler les effets secondaires et prévoir des actions correctives pour la corriger. Les *effets d'une défaillance* sont les effets locaux sur l'élément étudié du système et les effets de la défaillance sur l'utilisateur final du produit ou du service.

1.2 — Deux aspects de la méthode: l'aspect qualitatif et quantitatif.

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.

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.

2. Les étapes de la méthode

La méthode s'inscrit dans une démarche en huit étapes (figure 1). Comme dans plusieurs démarches, il y a une phase préparatoire qui consiste en une collecte de données pour réaliser l'étude, la mise sur pied d'un groupe de travail et la préparation des dossiers, tableaux, logiciels.

2.1 — La constitution d'un groupe de travail

Il s'agit de constituer l'équipe multidisciplinaire qui aura à réaliser l'étude. Les personnes impliquées dans une étude AMDEC-processus, par exemple, représentent les services de recherche et développement, des achats, du marketing, de la maintenance, de la qualité, des méthodes et de la fabrication. La présence d'un animateur bien formé à des techniques spécifiques de la démarche et du travail en équipe est une condition de succès de l'application de la méthode.

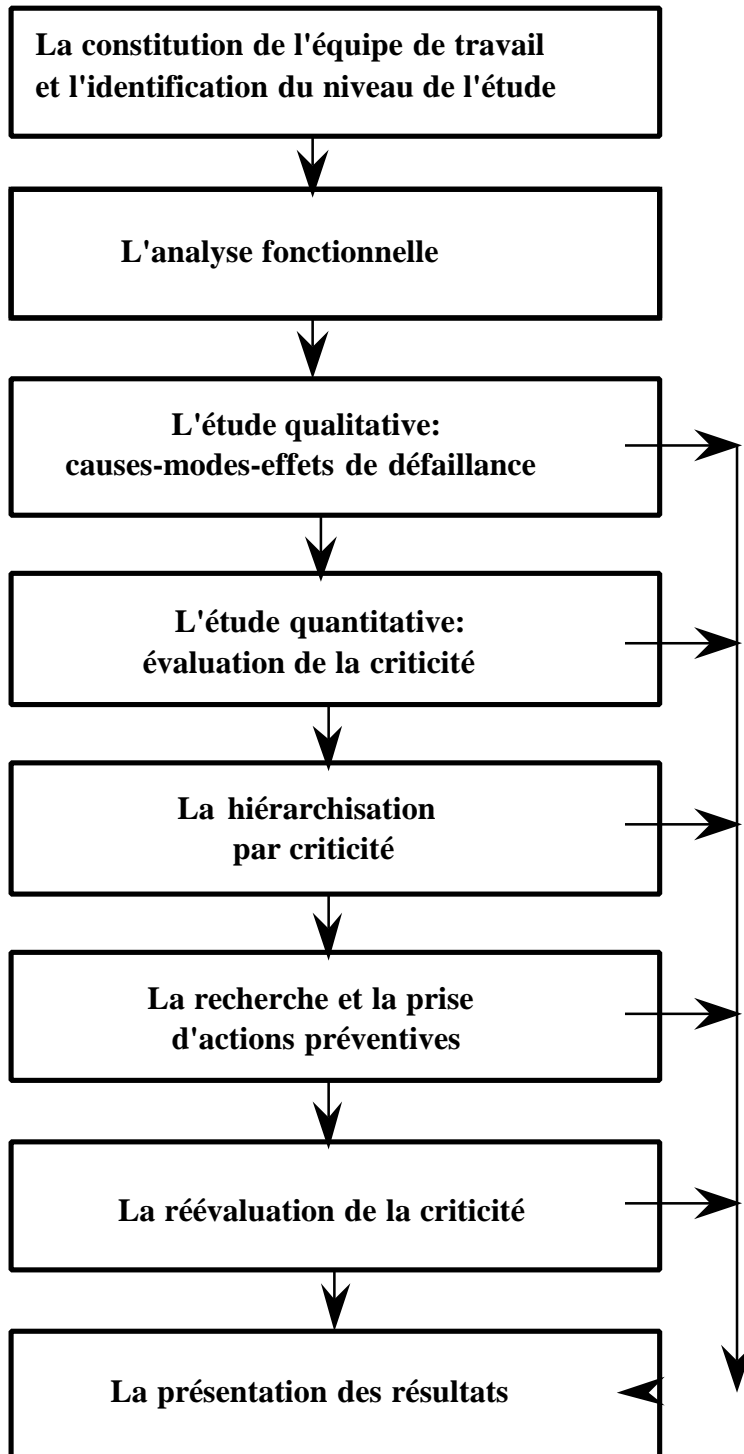


Figure 1 — La démarche AMDEC

L'ingénieur de fabrication est très influent au sein de l'équipe, particulièrement en ce qui concerne le développement de la conception et des procédés de fabrication.

Les concepteurs sont parfois amenés à participer aux réunions de l'équipe, afin de fournir plus de détails au niveau de la conception et du changement de la conception ou pour connaître l'historique du produit.

Cette configuration des membres de l'équipe est similaire à celle de l'AMDEC-processus et n'est en aucune façon définitive. Il est toutefois important de préciser que les grandes équipes (dont le nombre des participants est supérieur à sept) sont moins efficaces que les petites (entre quatre et six participants). La clé du succès de l'équipe AMDEC réside dans l'engagement total de ses membres et l'interaction entre eux-ci⁷.

Fonction du produit, ou opération du processus	Mode d'une défaillance potentielle	Effet de la défaillance	Causes possibles de la défaillance	Evaluation		Actions préventives		Résultats											
				Détection	Occurrence	Recommandées	Prises	Détection	Occurrence	Gravité	Nouvelle criticité								

Tableau 1

AMDEC produit/processus

Fonction du produit, ou opération du processus	Mode d'une défaillance potentielle	Effet de la défaillance	Causes possibles de la défaillance	Évaluation		Actions préventives		Résultats											
				Détection	Occurrence	Recommandées	Prises	Détection	Occurrence	Gravité	Nouvelle criticité								

2.2 — L'analyse fonctionnelle

Une défaillance est la disparition ou la dégradation d'une fonction. Donc pour trouver les défaillances potentielles il faut connaître les fonctions.

Le but de l'analyse fonctionnelle est de déterminer d'une manière assez complète les fonctions principales d'un produit, les fonctions contraintes et les fonctions élémentaires.

- Les fonctions principales sont les fonctions pour lesquelles le système a été conçu, donc pour satisfaire les besoins de l'utilisateur.
- Les fonctions contraintes répondent aux interrelations avec le milieu extérieur.
- Les fonctions élémentaires assurent les fonctions principales, ce sont les fonctions des différents composants élémentaires du système.

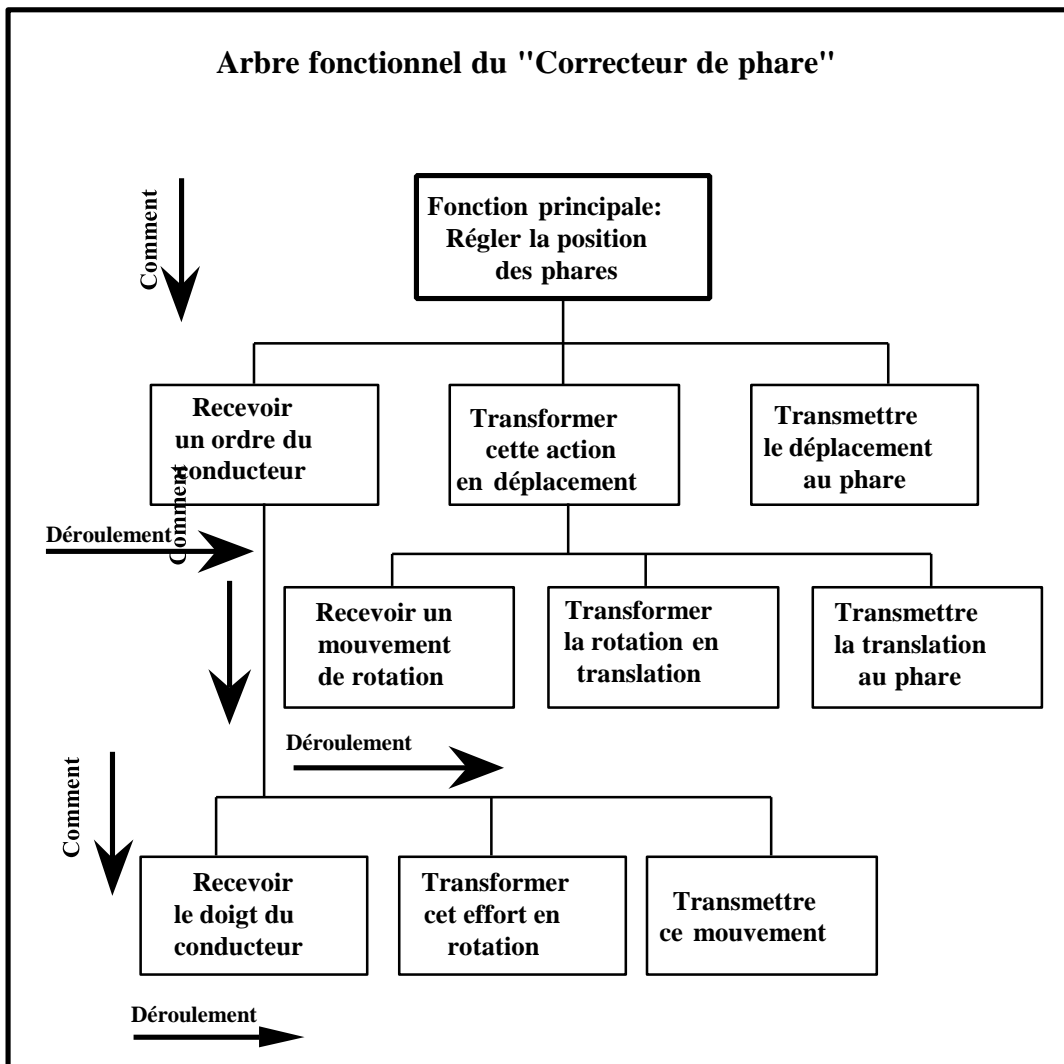
Pour réaliser correctement l'analyse fonctionnelle il faut effectuer trois étapes principales :

- 1- Définir le besoin à satisfaire. Le principe consiste à décrire le besoin et la façon dont il est satisfait et comment il risque de ne pas être satisfait.

2- Définir les fonctions qui correspondent au besoin. Chaque fonction répond à la question **à quoi sa sert?** Le réponse doit comprendre **un sujet et un verbe** (ex: un rasoir rase, un couteau coupe). On peut alors déterminer la défaillance potentielle (le rasoir ne rase pas, le couteau ne coupe pas toujours).

3- Établir l'arbre fonctionnel afin de visualiser l'analyse fonctionnelle. Très souvent les fonctions principales comportent des sous-fonctions ou résultent d'un ensemble des fonctions élémentaires. D'où le besoin de l'arbre fonctionnel.

Celui-ci est une représentation sous forme de bloc-diagramme, construit en définissant les fonctions de niveau A - les fonctions principales jusqu'au niveau Z - les fonctions élémentaires des composants. On retrouve à tous les niveaux la logique: *recevoir* une fonction - *transformer* la fonction - *transmettre* une nouvelle fonction (voir la figure 2) ⁸.



Tiré de «Méthodes et outils de la qualité totale», de P. Lyonnet,
Édition Technique et Documentation, 2e édition, page 74

Figure 2

D'après la norme militaire américaine pour l'AMDEC, un système (produit complexe) peut être décomposé en trois niveaux : système, sous-systèmes, composant. Ces appellations s'appliquent à la fois, à une décomposition matérielle et fonctionnelle⁹. En résumé, on décompose le système en plusieurs niveaux d'arborescence. Le niveau au sommet est le système, le niveau de base est le composant. C'est grâce à l'analyse fonctionnelle que l'on pourra établir la meilleure arborescence

possible pour un système. L'AMDEC sera alors conduite à partir du niveau composant puis remontera aux divers étages de l'arborescence (approche *bottom-up*)¹⁰.

Pour un processus, la décomposition fonctionnelle se fait en procédés. Pour un procédé, la décomposition se fait en opérations ou activités et pour les opérations la décomposition se fait en tâches. Un excellent moyen pour réaliser la décomposition fonctionnelle est l'ordinogramme du processus. La figure 3 illustre une ordinogramme (flow chart) du processus d'une distributrice de café. Ce processus est un ensemble d'opérations élémentaires qui se déroulent à partir du besoin à satisfaire jusqu'à la consommation du café. Une fois les fonctions identifiées, on passe à l'étape de l'analyse ou l'étude qualitative.

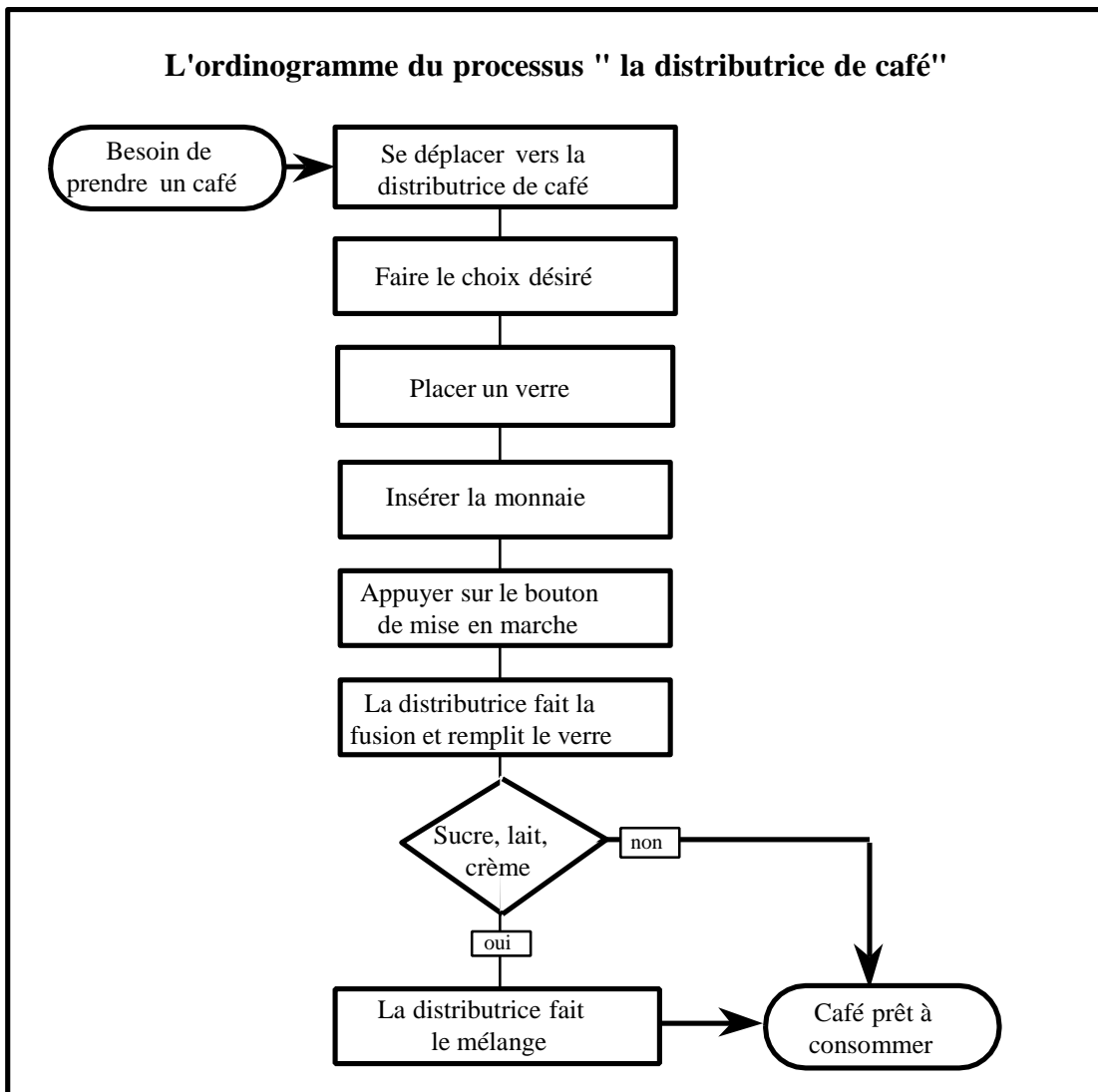


Figure 3

2.3 — L'étude qualitative des défaillances

Celle-ci consiste à identifier toutes les défaillances possibles, à déterminer les modes de défaillance, à identifier les effets relatifs à chaque mode de défaillance, à analyser et à trouver les causes possibles et les causes les plus probables des défaillances potentielles. Pour réaliser cet objectif, on s'appuie sur l'analyse fonctionnelle. À partir des fonctions définies on cherche directement les défaillances potentielles (voir le tableau 2.1). Ainsi l'analyse fonctionnelle aide à trouver en amont les *causes* et en aval les *effets* de chaque mode de défaillance.

Prenons dans le processus de la distributrice de café l'opération "la distributrice remplit le verre". L'opération est effectuée correctement si le verre est rempli d'un café qui correspond à une qualité et à un volume désirés. Un mode de défaillance est que la distributrice ne remplit pas le verre. Un deuxième mode de défaillance est que la distributrice remplit le verre avec de l'eau seulement. Un troisième mode de défaillance est que la concentration de café est très faible dans le verre. À partir de ces trois modes de défaillance on analyse quel est l'effet potentiel (sans doute négatif) pour le client. L'étude est complète si on identifie quelles sont les causes possibles.

Pour chaque mode on peut avoir une ou plusieurs causes. Pour le deuxième mode de défaillance une cause possible est que la machine manque de café. Une deuxième cause possible est qu'il y a un blocage dans le circuit interne de la machine qui empêche la fusion entre l'eau chaude et le café (voir le tableau 2.2).

Le but de l'AMDEC est de faire ressortir les points critiques afin de les éliminer, de prévoir un mode de prévention. La mise en évidence de ces points se fait selon certains critères dans une analyse quantitative.

2.4 — L'étude quantitative

Il s'agit d'une estimation de l'*indice de criticité* du trio *cause-mode-effet* de la défaillance potentielle étudiée selon certains critères. Plusieurs critères peuvent être utilisés pour déterminer cet indice. Souvent dans la pratique on considère qu'une défaillance est d'autant plus importante si:

- ses conséquences sont graves;
- elle se produit souvent;
- elle se produit et on risque de ne pas la détecter.

Dans la pratique on attribue trois notes — chacune sur une échelle de 1 à 10 — pour chaque trio cause-mode-effet:

- La note **G** - *gravité de l'effet* - les conséquences sur le client/utilisateur
- La note **O** - *la probabilité d'occurrence* - la fréquence d'apparition
- La note **D** - *la probabilité de non-détection* - le risque de non-détection

L'indice de criticité (**C**) s'obtient en multipliant ces trois notes précédentes soit celle de la gravité, de la probabilité d'occurrence et de la probabilité de non-détection :

$$C = G \times O \times D$$

Le tableau 3 illustre une estimation de l'indice de criticité des modes-causes-effets des défaillances dans le processus «distributrice de café». Si celle-ci remplit le verre seulement avec de l'eau chaude, le client sera très insatisfait. On estime donc pour la gravité une note de 10. La cause «manque de café dans la distributrice» peut arriver souvent; on estime donc pour la probabilité d'occurrence la note 5. La détection est faite par l'agent d'entretien lorsqu'il vient remplir la machine de café moulu; donc pour la probabilité de non-détection on estime aussi la note 5. Les trois notes multipliées nous donnent l'indice de criticité qui, dans ce cas, est égal à 250. Le mot criticité correspond au terme anglais *risk priority number*¹¹.

2.5 — La hiérarchisation

La difficulté essentielle d'une étude qui veut anticiper les problèmes et rechercher les solutions préventives provient de la très grande variété des problèmes potentiels à envisager. D'où le besoin d'une hiérarchisation, qui permet de classer les modes de défaillances et d'organiser leur traitement par ordre d'importance.

AMDEC-processus

Opération du processus	Mode de défaillance potentielle	Effet de défaillance	Cause possible de défaillance	Evaluation				Actions préventives		Résultats			
				détection	occurrence	gravité	criticité	recommandées	prises	détection	occurrence	gravité	nouvelle criticité
La distributrice de café remplit le verre	La distributrice de café ne remplit pas le verre et ne prend pas la monnaie	Client insatisfait	La distributrice est en panne	2	5	6	60						
			Manque d'eau	7	0	6	0						
	La distributrice remplit le verre avec d'eau et ne rend pas la monnaie	Client très insatisfait	Manque de café dans la distributrice	5	5	10	250						
			Blockage dans la distributrice	10	1	10	100						
	La concentration du café est faible	Client insatisfait	Manque de café	7	1	8	56						
			• Qualité du café	1	10	8	80						

BT01021993

Tableau 3

La hiérarchisation suivant l'échelle de criticité permet de décider des actions prioritaires. En effet, c'est une liste d'articles ou de processus critiques. Le classement est fait par ordre décroissant généralement en quatre catégories ($C > 100$; $100 > C > 50$; $50 > C > 20$; $20 > C$). Ce classement permet de moduler les actions préventives, leur priorité variant en fonction de la catégorie. Très souvent les entreprises utilisent pour l'AMDEC-produit/processus un *seuil de criticité* de 100¹² et pour l'AMDEC-moyen un seuil de 16¹³.

2.6 — La recherche des actions préventives/correctives

Après le classement des différents modes de défaillances potentielles d'après les indices de criticité, le groupe désigne les responsables de la recherche des actions préventives ou correctives. Les outils tels que le diagramme causes-effet, l'analyse de Pareto, le brainstorming, le travail en équipe, doivent être appliqués pour une recherche efficace. En pratique, le groupe de travail s'attache à réduire l'indice de criticité par des actions qui visent:

- la réduction de la probabilité d'occurrence (exemple: par la modification de la conception du produit ou du processus)
- la réduction de la probabilité de non-détection (exemple: par la modification de la conception du processus ou par la modification du système de contrôle)
- la réduction de la gravité de l'effet de défaillance (exemple: par la modification de la conception)

2.7 — Le suivi des actions prises et la réévaluation de criticité

C'est le moment de vérité pour la méthode. Un nouvel indice de criticité est calculé de la même façon que lors de la première évaluation, en prenant en compte les actions prises. Cette valeur du nouvel indice de criticité est parfois appelée *risque résiduel* et peut être illustrée sous forme du diagramme Pareto (figure 4).

L'objectif de cette réévaluation est de déterminer l'impact et l'efficacité des actions prises. Le nouvel indice de criticité doit donc être inférieur au seuil de criticité. Le tableau 4 illustre une telle réévaluation qui nous montre que grâce aux actions prises, les nouveaux indices de criticité sont inférieurs à un seuil de criticité égal à 50.

2.8 — La présentation des résultats

Pour pouvoir effectuer et appliquer l'AMDEC, les entreprises utilisent des tableaux conçus spécialement pour le système étudié et préparés en fonction des objectifs recherchés. Ces tableaux sont habituellement disposés en forme de colonnes et contiennent, en général, les informations

nécessaires pour réaliser l'étude. Les tableaux 1 à 4 illustrent la réalisation d'un AMDEC-processus.

3. L'AMDEC et les autres outils de la qualité totale.

3.1 — L'AMDEC et l'Arbre des causes (FTA)

L'AMDEC est un outil qui permet d'étudier les conséquences de défaillance *potentielle*, chacune prise individuellement, ce qui est une logique inductive.

La méthode dite de l'Analyse des défaillances par l'arbre de causes ¹⁴, est une méthode qui, à partir d'un événement donné, a pour but d'identifier par ordre d'importance l'ensemble de ses causes, des causes principales aux causes les plus élémentaires. C'est une représentation graphique d'une démarche analytique, suivant une logique déductive. Bref, le point de départ est la défaillance *constatée* et on s'attache à en trouver les causes. Contrairement à l'AMDEC, il s'agit de correction. Les deux méthodes se complètent parfaitement. Dans le développement d'un nouveau

produit, une analyse des défaillances par arbre de causes, effectuée sur un ancien produit, peut être très utile.

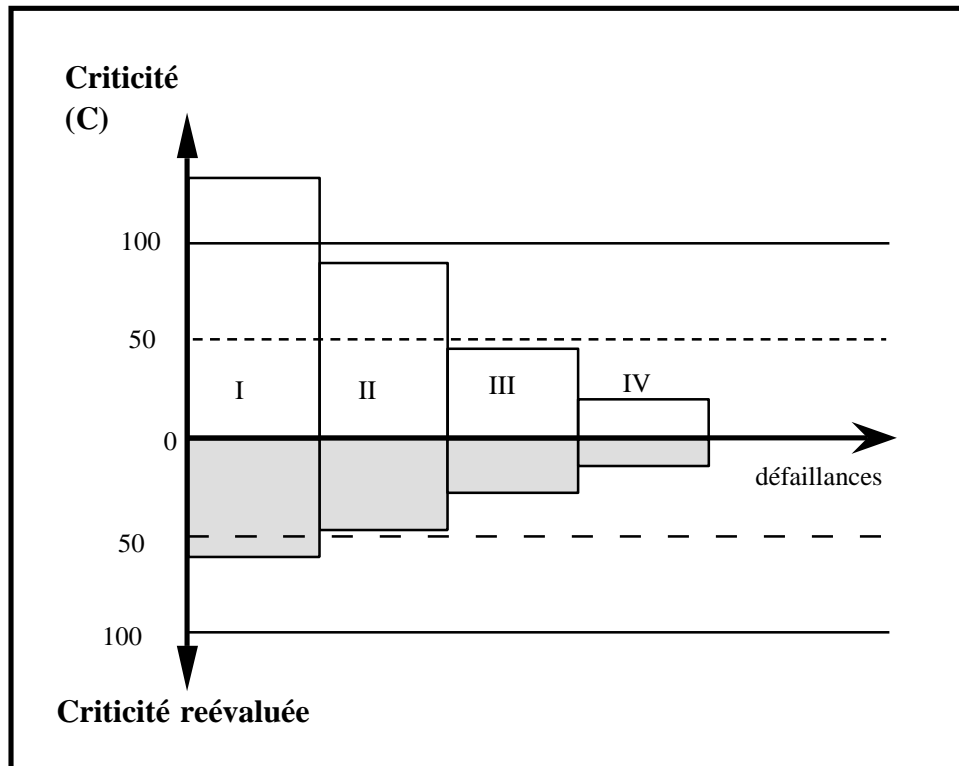


Figure 4

3.2 — L'AMDEC et le Déploiement de la Fonction Qualité

Le Déploiement de la fonction qualité (DFQ) consiste à déployer en cascade les exigences des clients pendant toutes les phases de développement d'un nouveau produit. L'AMDEC peut parfaitement s'intégrer à l'approche DFQ. Dès la conception, les caractéristiques identifiées comme critiques par l'AMDEC, sont suivies pendant toutes les phases de développement et d'industrialisation jusqu'à l'expédition. Cette approche est utilisée avec succès dans les usines de Toyota, à la société Komatsu au Japon et est parfois appelée le déploiement de la fiabilité¹⁵. En Amérique du Nord c'est FORD qui utilise la même démarche.

3.3 — L'AMDEC et le Contrôle statistique des procédés (CSP)

L'AMDEC aide à déterminer les caractéristiques à suivre avec les méthodes statistiques. S'il est impossible de verrouiller les causes probables des défaillances qui peuvent survenir, on

procède à la mise en place du contrôle statistique des procédés. Plusieurs entreprises dans le domaine de l'automobile ont mis en place le CSP suite à l'AMDEC-*processus* pour les caractéristiques ayant une criticité supérieure à 100 et pour les caractéristiques ayant une note de gravité supérieure à 7 (échelle de 1 à 10).

Cette approche est un excellent exemple pour la constitution d'un ensemble préventif AMDEC—CSP, qui permettrait la mise sous contrôle du processus. En outre, le calcul préliminaire de la capacité opérationnelle du procédé est utilisé comme critère pour déterminer la note de probabilité de non-détection. Les techniques statistiques sont donc des sources très utiles pour la réalisation de l'étude.

Opération du processus	mode de défaillance potentielle	effet de défaillance	cause possible de défaillance	Évaluation			Actions préventives		Résultats				
				détection	occurrence	gravité	critère	recommandées	prises	détection	occurrence	gravité	nouvelle criticité
La distributrice de café remplit le verre	la distributrice de café ne remplit pas le verre et ne prend pas la monnaie	client insatisfait	• la distributrice est en panne	2	5	6	60	• suivi statistique des pannes • vérification mensuelle de l'état de la distributrice • inscrire le numéro de téléphone de l'entretien sur la distributrice	• vérification + • inscrire le numéro de téléphone de l'agence de l'entretien	1	3	5	15
			• manque d'eau	7	0	6	0						
	la distributrice de café remplit le verre avec de l'eau et ne rend pas la monnaie	client très insatisfait	• manque de café dans la distributrice	5	5	10	250	• chaque matin remplir la distributrice de café	• chaque matin remplir la distributrice de café	2	2	10	40
			• blockage dans la distributrice	5	2	10	100	• faire régulièrement entretien préventif	• un entretien préventif mensuel	1	1	10	20
	la concentration du café est faible	client insatisfait	• manque de café	7	1	8	56	• une vérification par jour	• 1 vérification par jour	1	1	5	5
			• la qualité du café	1	10	8	80	• sélectionner les marques, identifier le délai de conservation	• marque et délai de conservation	1	1	8	8

Tableau 4

3.4 — L'AMDEC et le Système anti-erreur (Poka-Yoké)

Selon certains spécialistes japonais, quelques soient les méthodes statistiques, celles-ci ne peuvent empêcher l'apparition d'un défaut dans un système personne-machine. Shingo propose les systèmes Poka-Yoké (qui signifie en japonais système anti-erreur)¹⁶. Il y a deux types de systèmes anti-erreur dépendant des fonctions régulatrices, soit les fonctions d'asservissement et les fonctions d'alerte.

Les fonctions d'asservissement sont des fonctions qui, à l'apparition des anomalies, arrêtent les machines ou déclenchent des systèmes de blocage, évitant l'apparition de défauts en série.

Les fonctions d'alerte attirent l'attention des ouvriers sur les anomalies en déclenchant un signal sonore ou des lampes clignotantes. La mise en place de telles fonctions peut résulter d'une étude AMDEC. Après la hiérarchisation des défaillances potentielles, des actions prioritaires doivent être prises pour diminuer ou éviter tout risque éventuel.

En effet, une fonction d'alerte comme le repérage ou une fonction d'asservissement comme le verrouillage sont d'excellents exemples d'actions préventives dans le cadre d'une étude inductive AMDEC. Pour illustrer ces propos, prenons l'exemple d'une intersection avec feux de signalisation. La pire défaillance qui puisse arriver est que les feux soient verts dans les deux directions de l'intersection. L'effet potentiel de cette défaillance est catastrophique et peut coûter une ou plusieurs vies humaines. La solution qui élimine complètement ce risque est la mise en place d'un système anti-erreur qui exclut une telle situation. Si une défaillance se produit, ce système doit immédiatement déclencher des feux jaunes clignotants pour avertir les voitures et les piétons que les feux de signalisation ne fonctionnent pas.

3.5 — L'AMDEC et l'ingénierie simultanée

L'ingénierie simultanée consiste à intégrer dans la phase de conception d'un produit, à la fois les exigences des clients en terme de qualité, de fiabilité et de coûts d'une part, et les exigences des achats, de conception de processus, d'industrialisation du produit, de maintenance et des finances d'autre part.¹⁷ Cette logique nécessite la participation active des services marketing, ingénierie, production, finances, achats, service après vente, etc, dans le but d'éliminer le plus en amont possible les défaillances, de réduire les coûts de développement ainsi que le délai de mise en marché des produits.

La simulation simultanée de plusieurs exigences, des spécifications, des conditions, des options et leur traduction en terme de coûts, de délais et de risques est possible grâce à toute une gamme des nouveaux logiciels de type DFMA¹⁸. Ces logiciels s'appuient sur un certain nombre de modules spécifiques:

- CFAO - conception et fabrication assistée par ordinateur - qui aide à augmenter la symétrie des pièces, et à diminuer les coûts de fabrication par la simplification des procédés d'assemblage;
- PCM - (Predictive Cost Modeling) permettant d'effectuer des analyses comparatives des coûts globaux et des coûts en cours de chaque phase de développement du produit;
- modules d'évaluation de la rentabilité des investissements;
- modules d'application AMDEC, pour améliorer la fiabilité et la maintenabilité des produits, pour identifier les processus critiques;
- modules des systèmes experts permettant d'optimiser l'utilisation des multiples ressources et processus;
- modules de synthèse générale permettant d'identifier et de proposer des stratégies d'utilisation optimale.

La méthode AMDEC s'intègre parfaitement dans la méthodologie de l'ingénierie simultanée. Avec les autres modules, l'application de l'AMDEC assure à un nouveau produit

l'efficacité de fonctionnement, la rentabilité, la rapidité de développement et la meilleure performance des processus en production.

Il existe d'autres outils de prévention spécifiques aux différents secteurs de l'industrie. La plupart d'entre eux sont proches de l'AMDEC ou viennent la compléter.

3.6 — L'AMDEC et les normes ISO 9000

Devant la mondialisation des marchés, de l'économie et de la concurrence, parmi d'autres outils de la qualité totale se trouve la célèbre série des normes internationales ISO 9000. Plus de 60 pays ont adopté à ce jour ces normes. Les normes prescrivent des *éléments des systèmes qualité*, qu'on doit maîtriser et assurer. Il existe plusieurs modèles dans la série de ces normes et pour leur mise en place les entreprises utilisent différentes méthodes.

L'AMDEC-produit aide à l'implantation de l'ISO 9001 dans la partie de la maîtrise de la conception. L'AMDEC-processus aide l'implantation des modèles ISO 9001 et ISO 9002 dans la partie maîtrise des procédés. L'AMDEC-moyen peut être utilisé dans la partie maîtrise des équipements de mesure et d'essai. L'AMDEC-service aide à l'implantation de la norme ISO 9004-2 pour les services dans le processus de conception du service. L'utilisation de l'AMDEC est recommandée par la norme ISO 9004 pour les activités de la qualification et de la validation de la conception¹⁹.

4. Conclusion

L'AMDEC est une méthode de prévention qui peut s'appliquer à une organisation, un processus, un moyen, un composant ou un produit dans le but d'éliminer, le plus en amont possible, les causes des défauts potentiels. C'est là un moyen de se prémunir contre certaines défaillances et d'étudier leurs causes et leurs conséquences. La méthode permet de classer et de hiérarchiser les défaillances selon certains critères (occurrence, détection, gravité). Les résultats de cette analyse sont les actions prioritaires propres à diminuer significativement les risques de défaillances potentielles.

Du point de vue pratique, cette méthode doit faire partie d'une approche globale. À quoi ça sert par exemple le *zéro défaut* en production si le produit n'est pas rentable, si le produit ne répond pas aux besoins des clients, si nous faisons des erreurs de facturation, si nous ne répondons pas aux appels téléphoniques de nos clients ou si nous ne respectons pas les délais ou le lieu de livraison fixés par les clients? Il est évident que pour un succès significatif de cette approche, elle doit être intégrée *aux* autres méthodes *dans* le concept de la qualité totale.
