

BEA
Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

Les modes de défaillance des systèmes

www.bea.aero



Emmanuel DELBARRE
Enquêteur BEA (ret.)

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

AMDEC est la traduction de l'anglais **FMEA** (*Failure Modes, Effects and Analysis*)»

L'AMDEC est une méthode d'analyse proactive visant à **identifier, évaluer et atténuer** les **défaillances potentielles** avant qu'elles ne conduisent à **des conséquences catastrophiques**.

Face à la complexité croissante des systèmes aéronautiques, les organisations s'appuient sur les outils d'évaluation des risques AMDEC aéronautiques pour rationaliser l'identification des risques et améliorer la prise de décision.

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

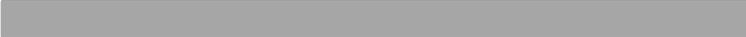
Les étapes clés de la méthode AMDEC

 **Définir le système et les objectifs de l'analyse** : Clarifier quel composant ou système (ex. : avionique, structure de l'aéronef, moteurs) sera analysé. Définir les objectifs (réduire les pannes en vol, améliorer la maintenance prédictive, etc.).

 **Identifier les modes de défaillance** : Recenser toutes les défaillances potentielles du système. **Par exemple**, pour un moteur d'avion, cela pourrait inclure un défaut d'allumage, une usure prématurée des aubes de turbine, ou une fuite de carburant.

 **Analyser les effets et causes des défaillances** : Déterminer les effets possibles de chaque défaillance et identifier leurs causes probables (erreurs humaines, défauts de matériaux, conditions environnementales extrêmes, etc.).

 **Évaluer la criticité** : Chaque défaillance est évaluée selon trois critères : Gravité (G), Occurrence (O), Détectabilité (D). Le NPR (Nombre de Priorité de Risque) est calculé pour prioriser les défaillances nécessitant une intervention immédiate (explication plus loin). **Ce score permet de classer les problèmes du plus urgent au moins critique.**



L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

Les étapes clés de la méthode AMDEC

 **Proposer des actions correctives** : Définir des mesures pour minimiser les risques, comme améliorer les matériaux, modifier les processus de fabrication, ou renforcer les contrôles qualité.

 **Suivre et valider l'efficacité des actions** : Mettre en œuvre un plan de test pour vérifier l'efficacité des actions correctives, puis ajuster les mesures en fonction des résultats.

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

 **Exemple d'application** de l'AMDEC dans l'industrie aérospatiale :
Le système de train d'atterrissage

Définir le système et les objectifs : Le système de train d'atterrissage est à analyser avec l'objectif de garantir une fiabilité maximale lors des phases de décollage et d'atterrissage.

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

Identifier les modes de défaillance :

Défaillance possible : Non-déploiement du train d'atterrissage.

Autre défaillance possible : Rupture de la jambe du train sous contrainte.

Analyser les effets et causes :

Non-déploiement du train d'atterrissage - Effet : Atterrissage forcé, endommagement de l'avion, risque élevé pour les passagers. Causes : Problème hydraulique, défaillance du capteur de déploiement, fatigue des matériaux.

Rupture de la jambe du train - Effet : Effondrement de l'avion lors de l'atterrissage, risque de sortie de piste. Causes : Défaut de matériau, surcharges non prévues, corrosion non détectée.

“Pour évaluer la criticité le numéro de Priorité de Risque (NPR ou RPN en anglais) est un outil clé dans l’analyse AMDEC. Il permet d’évaluer et de prioriser les risques associés à chaque mode de défaillance. Le calcul du NPR est très simple. Il suffit de multiplier trois facteurs pour obtenir un indice qui prend en compte les aspects suivants :

- fréquence (*occurrence*) F ;
- gravité (*severity*) G ;
- détectabilité (*detection*) D

Chaque paramètre reçoit une note, généralement comprise entre 1 et 10.

C (criticité) = $F \times G \times D$. Plus C est grand, plus le mode de défaillance est critique.

Evaluer la criticité :

Pour le non-déploiement du train d’atterrissage : F = 3 (peu fréquent), G = 10 (catastrophique), D = 5 (détection modérée). NPR = $10 \times 3 \times 5 = 150$.

Pour la rupture de la jambe du train : F = 4 (probable), G = 9 (très grave), D = 6 (difficile à détecter).
IPR = $9 \times 4 \times 6 = 216$.

 La rupture de la jambe du train, ayant un NPR plus élevé, sera prioritaire pour les actions correctives.

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

Proposer des actions correctives :

Pour le non-déploiement du train d'atterrissage : Installer un double système hydraulique redondant, améliorer les capteurs de détection, renforcer les contrôles de qualité des matériaux.

Pour la rupture de la jambe du train : Utiliser des matériaux composites renforcés, effectuer des tests de contrainte plus rigoureux, appliquer des traitements anticorrosion et mettre en place des inspections régulières par ultrasons.

 **Suivre et valider** : Effectuer des tests en conditions réelles et simuler différents scénarios de défaillance pour vérifier l'efficacité des améliorations. Réviser l'AMDEC après chaque série de tests pour assurer que les NPR ont été réduits.



Autre exemple



Défaut de soudure dans une pièce critique d'un système aéronautique :

- Gravité (impact crash avion) : 8
- Occurrence (fréquence observée sur 10 000 pièces produites) : 5
- Détectabilité (difficulté à repérer visuellement) : 7

| Paramètre | Description | Note associée (exemple) |
|-------------------|--|-------------------------|
| Gravité (G) | Impact potentiel sur la sécurité ou la qualité | 8 |
| Occurrence (O) | Fréquence estimée de survenue | 5 |
| Détectabilité (D) | Probabilité de non-détection avant livraison/usage | 7 |

Le calcul donne : **IPR = 8 x 5 x 7 = 280**. Ce score, placé dans le tableau des priorités, oriente immédiatement les efforts vers ce scénario.

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

CONCLUSION

L'application de la méthode AMDEC dans l'industrie aéronautique permet de garantir des niveaux de sécurité et de fiabilité très élevés, en **anticipant les défaillances potentielles et en prenant des mesures pour les éviter.**



BEA

