



Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département De Génie Electrique

Filière : Electromécanique

---

## Matière : *Sûreté de Fonctionnement et Maintenance*



---

1<sup>er</sup> Année Master Electromécanique

2020\_2021

## Avant Propre

La matière a pour objectif d'informer le futur master sur mesurer la qualité de service délivré par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée ; la nature des accidents électriques, et Cette confiance justifiée s'obtient à travers une analyse qualitative et quantitative des différentes propriétés du service délivré par le système, mesurée par les grandeurs probabilistes associées : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité.

Dans ce contexte, on a traité les concepts de la sûreté de fonctionnement d'un système et les mesures des protections et de la sécurité des biens des personnes et les sites industriels.

### **Partie 1. La sûreté de fonctionnement**

### **Partie 2. Risques électriques et la Nature des accidents électrique et dangers du courant électrique.**

### **Partie 3. Maintenance**

## Partie 1. La sûreté de fonctionnement

### 1. INTRODUCTION

La sûreté de fonctionnement est apparue comme une nécessité au cours du XX<sup>ème</sup>, notamment avec la révolution industrielle. Le terme dependability est apparu dans une publicité sur des moteurs **Dodge Brothers** dans les années 1930. L'objectif de la sûreté de fonctionnement est d'atteindre le Graal de la conception de système : zéro accident, zéro arrêt, zéro défaut (et même zéro maintenance). Pour pouvoir y arriver, il faudrait tester toutes les utilisations possibles d'un produit pendant une grande période ce qui est impensable dans le contexte industriel voire même impossible à réaliser tout court. La sûreté de fonctionnement est un domaine d'activité qui propose des moyens pour augmenter la fiabilité et la sûreté des systèmes dans des délais et avec des coûts raisonnables.

### 2. QU'EST-CE QUE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

La sûreté de fonctionnement est souvent appelée la science des défaillances ; elle inclut leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maîtrise. Il s'agit d'un domaine transverse qui nécessite une connaissance globale du système comme les conditions d'utilisation, les risques extérieurs, les architectures fonctionnelle et matérielle, la structure et fatigue des matériaux. Beaucoup d'avancées sont le fruit du retour d'expérience et des rapports d'analyse d'accidents.

La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'un système à remplir une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données ; elle englobe principalement quatre composantes : la **fiabilité**, la **maintenabilité**, la **disponibilité** et la **sécurité**. La connaissance de cette aptitude à remplir une ou plusieurs fonctions permet aux utilisateurs du système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur assure. Par extension, la sûreté de fonctionnement désigne également l'étude de cette aptitude et peut ainsi être considérée comme la « science des défaillances et des pannes ».

### 3. QUELQUES DEFINITIONS PREALABLES

**Sûreté de fonctionnement:** ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent: fiabilité, maintenabilité et logistique de maintenance - la sécurité n'est pas incluse; S est une contrainte d'optimisation, FMD sont des objectifs.

**Surveillance:** activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d'observer l'état réel d'un bien – ce n'est pas l'inspection; elle est généralement effectuée sur un bien disponible, en continu; elle peut permettre la prévision d'une durée de vie résiduelle.

#### 4. LES FONDAMENTAUX DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

Selon Alain Villemeur, la sûreté de fonctionnement englobe principalement la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité (qui forment le sigle FDMS) mais aussi d'autres aptitudes telles que la durabilité, la testabilité... ou encore des combinaisons de ces aptitudes.

##### 4.1 LA FIABILITE

La *fiabilité* est l'aptitude d'un composant ou d'un système à fonctionner pendant un intervalle de temps.

Plus précisément, la *fiabilité* est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné. Le terme *fiabilité* est également utilisé pour désigner la valeur de la fiabilité et peut être défini comme une [probabilité](#). C'est alors la probabilité pour qu'une entité puisse accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné. La notion de *fiabilité* est associée à celle de [taux de défaillance](#).

##### 4.2 LA MAINTENABILITE

La *maintenabilité* est l'aptitude d'un composant ou d'un système à être maintenu ou remis en état de fonctionnement. Plus précisément, la *maintenabilité* est, dans des conditions données d'utilisation, l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état où elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits (la prise en considération de l'aptitude du système de soutien à maintenir ou à remettre en état l'entité est du domaine du [soutien logistique intégré - SLI](#)).

Le terme *maintenabilité* est également utilisé pour désigner la valeur de la maintenabilité. C'est alors, pour une entité donnée, utilisée dans des conditions données d'utilisation, la [probabilité](#) pour qu'une opération de maintenance active puisse être effectuée pendant un intervalle de temps donné, lorsque la maintenance est assurée dans des conditions données et avec l'utilisation de procédures et des moyens prescrits.

##### 4.3 DISPONIBILITE

La *disponibilité* est l'aptitude d'un composant ou d'un système à être en état de marche à un instant donné. Plus précisément, la *disponibilité* est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné, en supposant que la fourniture des moyens nécessaires est assurée.

Le terme *disponibilité* est également utilisé pour désigner la valeur de la disponibilité et peut être défini comme une [probabilité](#). C'est alors la probabilité pour qu'une entité puisse accomplir une fonction requise, dans des conditions données, à un instant donné

#### 4.4 SECURITE

La *sécurité* est l'aptitude d'une entité à ne pas conduire à des accidents inacceptables.

Plus précisément, la *sécurité* est l'aptitude d'un produit à respecter, pendant toutes les phases de vie, un niveau acceptable de risques d'accident susceptible de causer une agression du personnel ou une dégradation majeure du produit ou de son environnement.

### 5. OBJECTIVE DE SDF

L'objectif de la SdF est d'atteindre l'idéal de la conception de système: zéro accident, zéro arrêt, zéro défaut (et même zéro maintenance). La SdF est un domaine d'activité qui propose des moyens pour augmenter la fiabilité et la sûreté des systèmes dans des délais et avec des coûts raisonnables.

#### 5.1 Le but de la sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement est une notion générique qui mesure la qualité de service délivré par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée. Cette confiance justifiée s'obtient à travers une analyse qualitative et quantitative des différentes propriétés du service délivré par le système, mesurée par les grandeurs probabilistes associées : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité

#### 5.2 Quelques indicateurs

Certains indicateurs vont caractériser le fonctionnement prévu du système, tels que le MTTF, le MDT et le MUT.

a) Le MTTF (Mean Time To [first] Failure) est l'estimation de la durée moyenne s'écoulant entre la mise en service du système et la survenance de la première panne.

b) Le MDT est le temps moyen séparant la survenance d'une panne et la remise en état opérationnel du système. Il se décompose en plusieurs phases :

- durée de détection de la panne (1) ;
- durée de diagnostic de la panne (2) ;
- durée d'intervention jusqu'au début de la réparation (3) ;
- durée de la réparation (4) ;
- durée de remise en service du système (5).

c) Le MUT est le temps moyen qui sépare une remise en service opérationnelle du système de la survenance de la panne suivante.

Ces deux derniers indicateurs ne sont pertinents que dans le cas de systèmes réparables. Leur somme  $MUT+MDT$  représente le temps moyen qui sépare deux pannes consécutives du système. On le note MTBF, comme Mean Time Between Failures

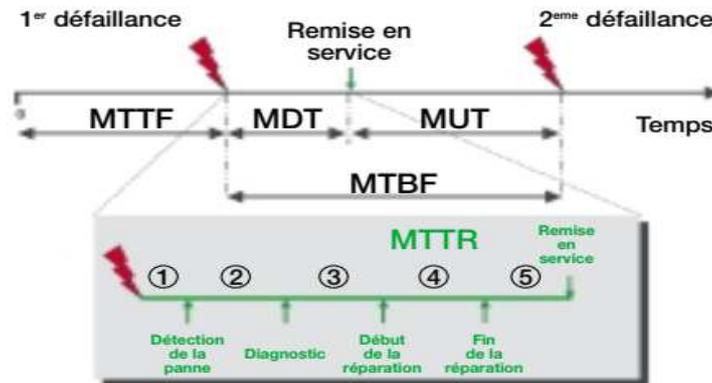


Figure 1 : inducteur de fonctionnement

## 5.2 Les études de sûreté de fonctionnement

Elles constituent un préalable indispensable à la conception d'un système voulu sûr, et permet d'aider à la décision en :

- Comprenant et identifiant les risques ;
- Optimisant l'architecture et comparant des solutions différentes ;
- Optimisant les moyens de soutien en comparant des solutions ;
- Justifiant les choix de façon rationnelle et démontrée ;

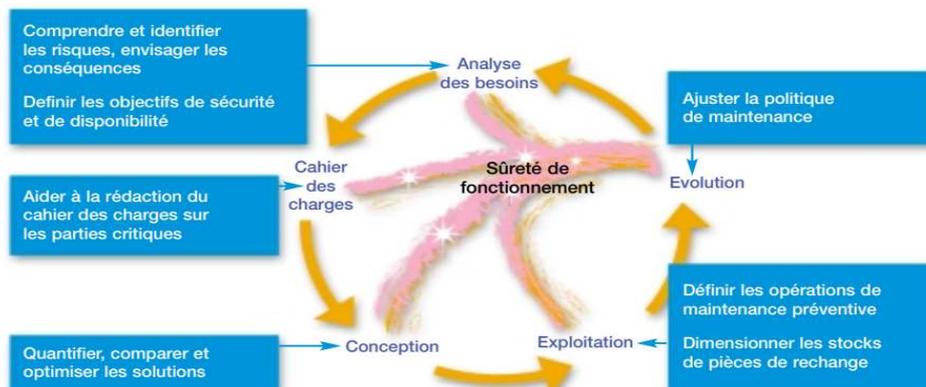


Figure 2 : le concept d'un système

- e) vérifiant la bonne atteinte des objectifs de sûreté de fonctionnement. Elles peuvent aussi aider à l'optimisation en :
  - f) diminuant le nombre de pannes qui seront observées durant la vie du système ;
  - g) optimisant économiquement la conception par le dimensionnement des équipements et des architectures au "juste nécessaire" ;
  - d) rendant la maintenance plus ciblée et plus efficace ;
  - e) dimensionnant au plus juste les moyens de soutien nécessaires (stocks de pièces de rechange)

### 5.3 En pratique

L'étude de sûreté de fonctionnement comporte deux volets complémentaires :

- 1) une analyse fonctionnelle, qui va détailler la manière dont le système va opérer dans toutes ses phases de vie ainsi que les autres systèmes avec lesquels il va pouvoir interagir ;
- 2) une analyse dysfonctionnelle, qui vise à imaginer l'ensemble des défaillances pouvant survenir n'importe où dans le système, seules ou combinées entre elles, et à analyser l'impact de ces pannes

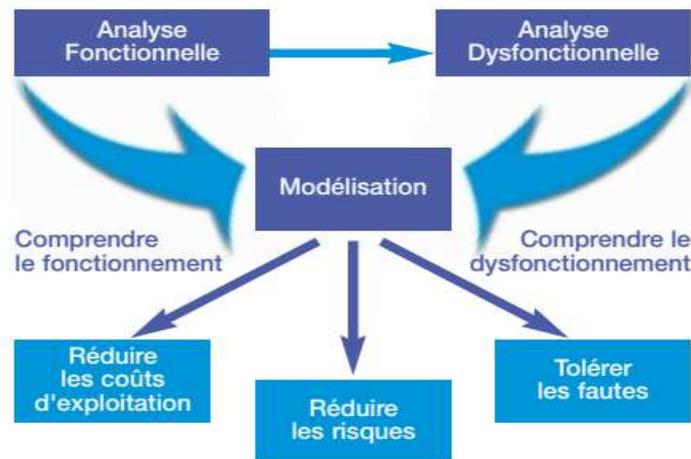


Figure 3 : L'étude de sûreté de fonctionnement

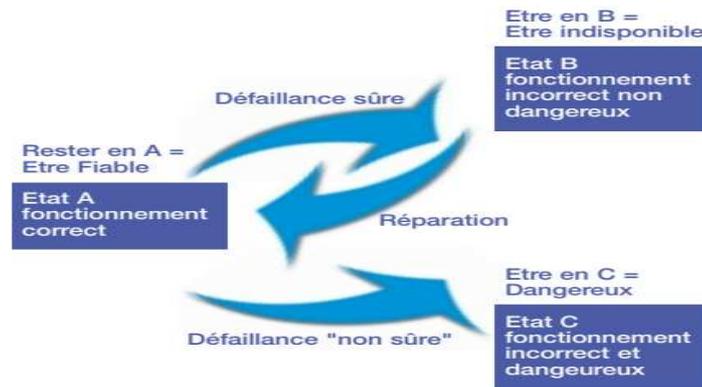


Figure 4 : Les composants critiques

En étudiant cette modélisation, il devient alors possible de valider ou invalider une solution technique, optimiser des choix architecturaux, remplacer des composants critiques, ceci dans le but de :

- réduire au maximum les risques ;
- réduire au maximum les coûts d'exploitation ;
- tolérer, dans la mesure du possible, certaines fautes en autorisant un fonctionnement en mode dégradé sous certaines conditions.

La sûreté de fonctionnement manipule un certain nombre de concepts que nous précisons dans cette partie en donnant des définitions précises. La sûreté de fonctionnement peut être vue comme étant composée des trois éléments suivants :

**Attributs** : points de vue pour évaluer la sûreté de fonctionnement ;

**Entraves** : événements qui peuvent affecter la sûreté de fonctionnement du système ;

**Moyens** : moyens pour améliorer la sûreté de fonctionnement.

Ces notions sont résumées dans la figure suivante.



Figure 5 : Arbre de la sûreté de fonctionnement

## 6. Qu'est-ce qu'un système ?

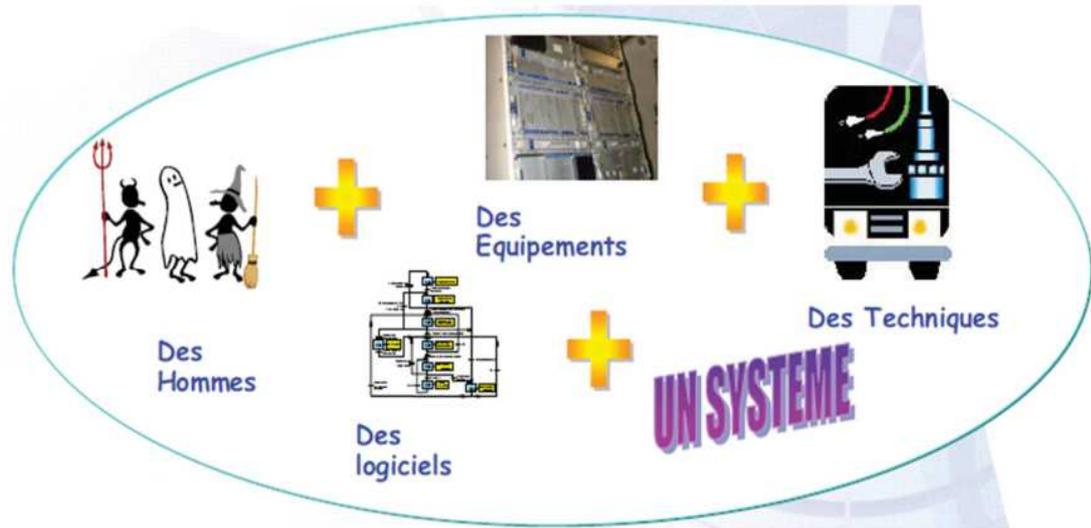


Figure 6 : Le système

Ensemble complexe de matériels, logiciels, personnels et processus d'utilisation, organisés de manière à satisfaire les besoins et à remplir les services attendus, dans un environnement donné.

### 6.1 SYSTEME = ENSEMBLE DE COMPOSANTS

La sûreté de fonctionnement porte sur l'ensemble du cycle de vie d'un système. Les études prévisionnelles de sûreté de fonctionnement regroupent les activités d'évaluation de la fiabilité, de la maintenabilité, de la disponibilité et de la sécurité d'une organisation, d'un système ou d'un produit en cours de développement. Ces évaluations permettent, par comparaison aux objectifs ou dans l'absolu, d'identifier les actions de construction (ou d'amélioration) de la sûreté de fonctionnement de l'entité. Les études de sûreté de fonctionnement peuvent être utilisées pour le soutien logistique intégré et peuvent contribuer à l'évaluation du coût du cycle de vie d'un produit.

Les études opérationnelles de sûreté de fonctionnement concernent le suivi des performances d'un système en exploitation. Elles permettent de s'assurer que les performances annoncées sont tenues pendant l'ensemble de la vie opérationnelle du système et de détecter d'éventuels phénomènes de vieillissement susceptibles de les dégrader.

Les études de sûreté de fonctionnement utilisent un ensemble d'outils et de méthodes qui permettent, dans toutes les phases de vie d'une entité, de s'assurer que celle-ci va accomplir ou accomplit les missions pour lesquelles elle a été conçue, et ce dans des conditions de fiabilité, de maintenabilité, de

disponibilité et de sécurité prédéfinies. Ces études consistent généralement à analyser les effets des pannes, dysfonctionnements, erreurs d'utilisation ou agressions de l'entité étudiée.

## 7. ASSURER LES FONCTIONS

Tout système se définit par une ou plusieurs fonctions (ou missions) qu'il doit accomplir dans des conditions et dans un environnement donnés. L'objet d'étude de la sûreté de fonctionnement est la *fonction*. Une fonction peut être définie comme l'action d'une entité ou de l'un de ses composants exprimée en termes de finalité. Il convient de distinguer les fonctions et la structure (ou encore architecture matérielle support).

- fonction principale : raison d'être d'un système (pour un téléphone portable, la fonction principale est la communication entre 2 entités) ;
- fonctions secondaires : fonctions assurées en plus de la fonction principale (sms, horloge, réveil, jeux . . . ) ;
- fonctions de protection : moyens pour assurer la sécurité des biens, des personnes et environnement ;
- fonctions redondantes : plusieurs composants assurent la même fonction.

Une description fonctionnelle peut généralement se faire soit par niveau soit pour un niveau donné. Une description par niveau est une arborescence hiérarchisée. On donne l'exemple d'une description fonctionnelle d'une machine à laver dans la figure 3.

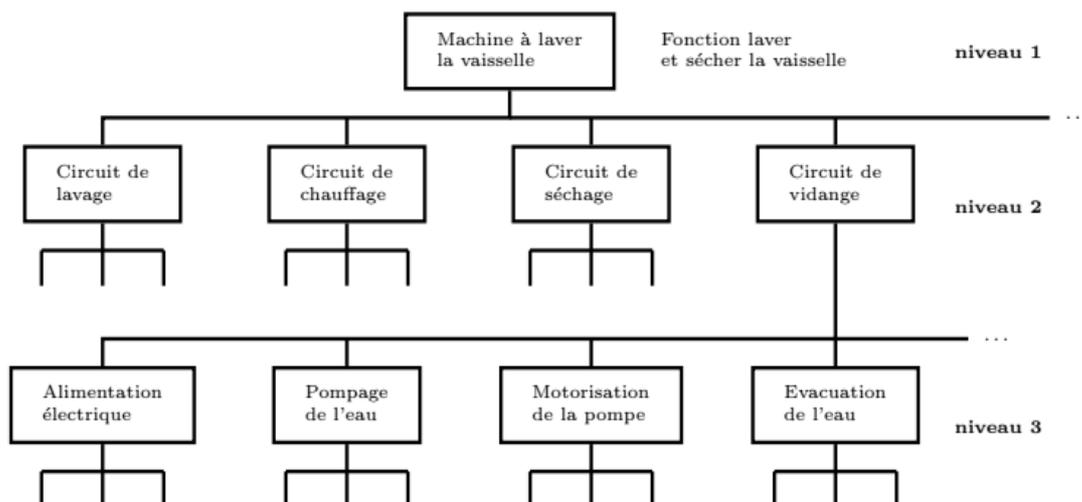


Figure 7 : Description fonctionnelle d'une machine à laver la vaisselle

## 8. LA DEFAILLANCE

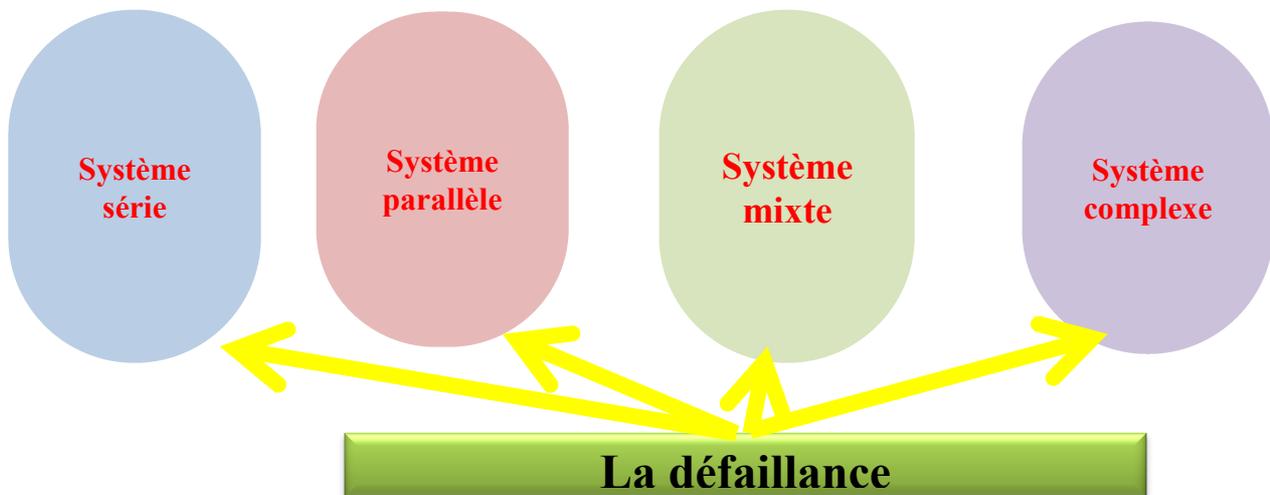


Figure 8 / : La défaillance

## 8.1 Définition de la défaillance fonctionnelle

C'est la cessation de l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Une défaillance est « l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonction(s) requise(s) avec les performances définies dans les spécifications techniques».

L'ensemble est indisponible suite à la défaillance. La cessation de l'aptitude conduit l'entité à être dans un état appelé panne.

Un ensemble est défaillant si ses capacités fonctionnelles sont interrompues (panne ou arrêt volontaire par action d'un système interne de protection ou une procédure manuelle équivalente). Dans le cas d'une dégradation sans perte totale de la fonction, on considère qu'il s'agit d'une défaillance si sa performance tombe au-dessous d'un seuil défini, lorsqu'un tel seuil minimal est contenu dans les spécifications fonctionnelles du matériel.

Il s'ensuit qu'un ensemble est défaillant s'il est considéré ou déclaré incapable d'assurer les fonctions requises par l'exploitant utilisant des critères fonctionnels simples. Toute étude de fiabilité implique l'acceptation de deux états totalement exclusifs : le fonctionnement normal et le fonctionnement défaillant. Les passages d'un état de fonctionnement normal à un état défaillant pouvant se manifester en fonction du temps de manière progressive, soudaine ou de façon aléatoire, la fiabilité ne connaît pas la notion de défaillance partielle ou progressive. La figure 1 représente trois cas conduisant tous à une défaillance.

Cette définition inclut de façon très explicite la perte de la fonction d'une entité et, pour cette raison, elle porte souvent à des interprétations différentes suivant les intervenants. Certains secteurs industriels, pour lever cette ambiguïté, ont dressé des listes standardisées de défaillances fonctionnelles.

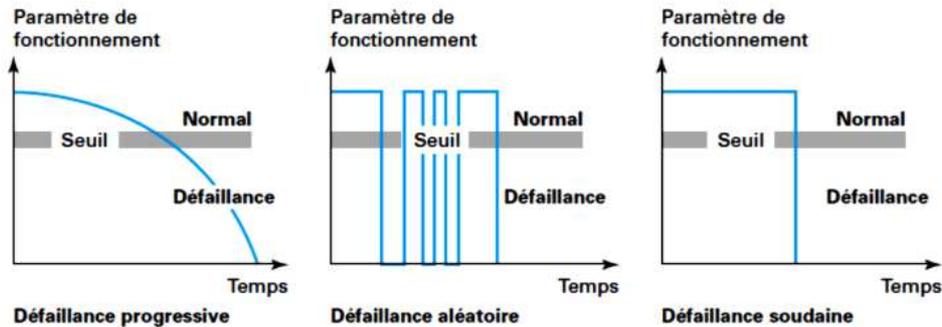


Figure 9 : les Etapes de défaillance

### Exemple :

Si l'on considère un moteur électrique dont la fonction principale est de convertir une énergie électrique en énergie mécanique, le refus de démarrage est une défaillance fonctionnelle du moteur. Dans d'autres secteurs industriels, en adoptant une approche matérielle de la défaillance, une perte de l'isolement du stator sera considérée comme une défaillance.

On utilise généralement une échelle de gravité des effets et on considère traditionnellement 4 catégories de défaillances. Ces catégories sont représentées dans le tableau 1.

|   |  |
|---|--|
| Défaillance mineure (minor)               | Défaillance qui nuit au bon fonctionnement d'un système en causant un dommage négligeable au système ou à son environnement sans présenter de risque pour l'homme  |
| Défaillance significative (major)         | Défaillance qui nuit au bon fonctionnement sans causer de dommage notable ni présenter de risque important pour l'homme  |
| Défaillance critique (hazardous)          | Défaillance qui entraîne la perte d'une (ou des) fonction(s) essentielle(s) du système et cause des dommages importants au système en ne présentant qu'un risque négligeable de mort ou de blessure.           |
| Défaillance catastrophique (catastrophic) | Défaillance qui occasionne la perte d'une (ou des) fonction(s) essentielle(s) du système en causant des dommages importants au système ou à son environnement et/ou entraîne la mort ou des dommages corporels |

Tableau 2 : Classification des défaillances en fonction des effets

La défaillance d'une entité résulte de causes de défaillance ; celles-ci sont définies comme des circonstances liées à la conception, la fabrication ou l'emploi et qui ont entraîné une défaillance. Ces causes sont le résultat d'activation d'erreur suite à des fautes.

- **Définition Erreur / Defect** : La cause de la défaillance est une erreur affectant une partie de l'état du système (par exemple, une variable erronée)
- **Définition Faute / Fault** : La cause de l'erreur est une faute (par exemple un court-circuit sur un composant, une perturbation électromagnétique ou une faute de développement logiciel)
- **Définition Panne** : La panne est l'inaptitude d'une entité à accomplir une mission. Une panne résulte toujours d'une défaillance

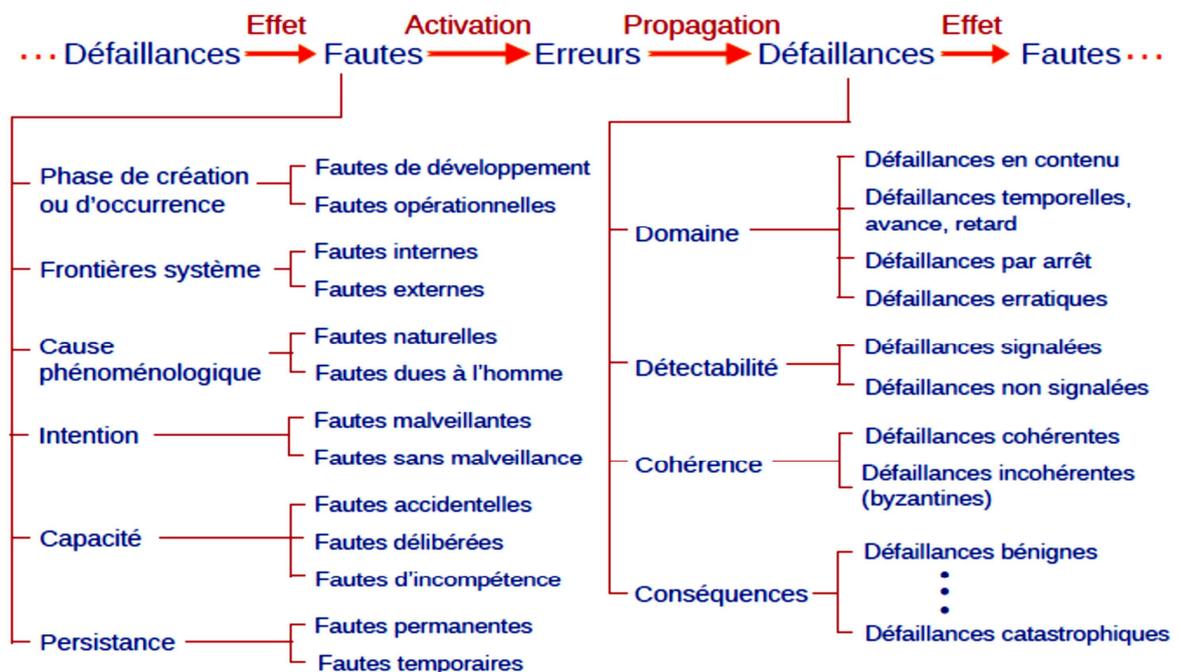


Figure 10 : Enchaînement et propagation des erreurs

## Conclusion

Les mots sûreté et sécurité ont en fait la même racine étymologique (latin securus : sûr). Le terme sûreté est plutôt utilisé par les techniciens pour la conception ou l'exploitation de biens et de services pour qualifier la fiabilité et la disponibilité du fonctionnement des installations. La Sûreté de fonctionnement s'est développée principalement au cours du 20e siècle pour être actuellement un domaine incontournable pour les industries à risques mais aussi, de plus en plus, pour toute l'industrie, en raison de sa corrélation avec la notion de qualité, les problèmes ergonomiques (relation homme-machine) et l'impact sur l'environnement.

| <b>Sûreté de Fonctionnement</b>   |  |  |                                    |
|---|--|--|------------------------------------|
| Aptitude à assurer un service spécifié  |  |  |                                    |
| <b>Sécurité</b>   | <b>Disponibilité</b>   |  |                                    |
| Aptitude à ne présenter aucun danger pour les personnes, les biens et l'environnement | Aptitude à être en état de marche à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné |  |                                    |
|   | <b>Fiabilité</b>   | <b>Maintenabilité</b>                                  | <b>Logistique de maintenance</b>   |
|   | Aptitude à ne pas présenter des défaillances dans une durée déterminée                       | Aptitude à être remis en service dans une durée donnée | Politique et moyens de maintenance |

### Termes Anglais

- 
- Sûreté de fonctionnement se traduit par **dependability** ;
- Fiabilité se traduit par **reliability** ;
- Maintenabilité est le calque de **maintainability** ;
- Disponibilité se traduit par **availability** ;
- Sécurité se traduit par **safety** ;
- FMDS (sigle de fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité) est le calque de RAMS (**reliability, availability, maintainability and safety**) (inversion en français de l'ordre de maintenabilité et disponibilité).