

1. LA COURBE EN BAIGNOIRE : $\lambda(t)$ (taux de défaillance)

Lambda de t : $\lambda(t)$ est un indicateur de la FIABILITE très explicite.

Forme générale: $\frac{\text{nombre de défaillances}}{\text{durée d'usage}}$, il s'exprime le plus fréquemment en « **pannes / heure** ».

Attention : utilisé en fiabilité, le taux de défaillance devra exclure les défaillances **extrinsèques** à l'ensemble analysé, telles que les pannes dues à des fautes de « conduite » (accidents, consignes non respectées) ou dues à une influence accidentelle du milieu extérieur (inondation, incendie, etc.).

Rappel sur la **classification** des défaillances :

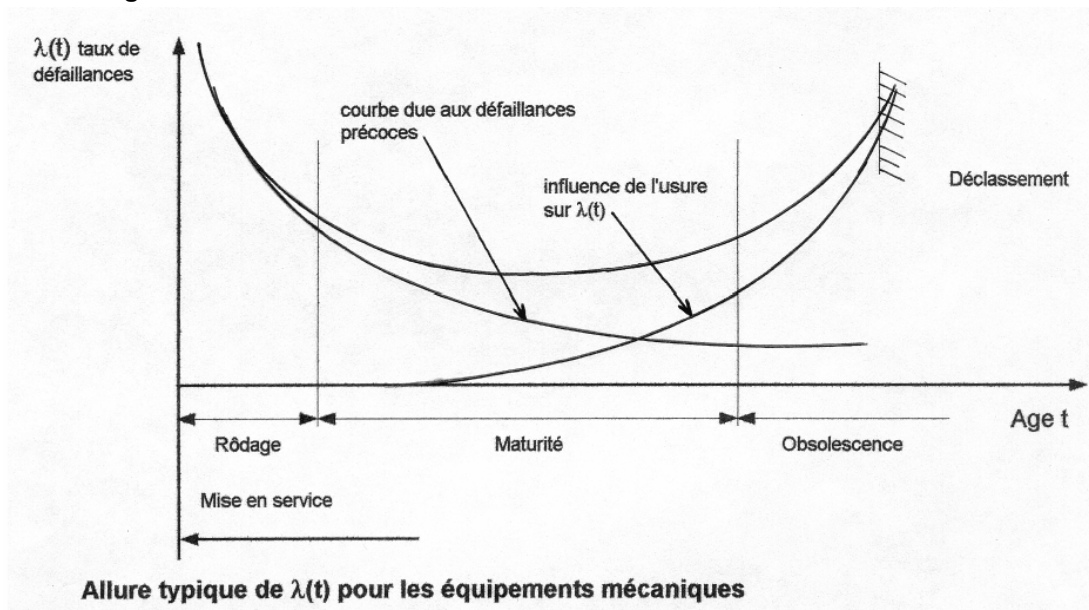
- **Défaillance catalectique** : elle est complète et soudaine (rupture d'une pièce, court-circuit). Il est très difficile d'observer la dégradation.
- **Défaillance par dérive** : on voit progresser la dégradation. Ce sont les usures en mécanique, l'augmentation du frottement, l'augmentation de la valeur des résistances, etc. Ce type de défaillance se prête bien à la maintenance conditionnelle.

Durée de vie d'un équipement : un équipement possède 3 périodes de vie :

- **Jeunesse** (mortalité infantile, défaillances précoces) : après la mise en service, période de rodage (pré usure), présélection des composants électroniques (déverminage). **Taux de défaillance décroissant**.
- **Maturité** (période vie utile, des défaillances aléatoires) : période de rendement optimal du matériel. Les défaillances apparaissent sans dégradations préalables visibles. **Taux de défaillance constant**.
- **Obsolescence** (vieillesse, usure). dégradation accélérée, **Taux de défaillance croissant**. Souvent on trouve une usure mécanique, de la fatigue, de la corrosion. A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est « mort ». Il est alors déclassé, puis rebuté ou parfois reconstruit.

L'évolution de la durée de vie d'un équipement peut être tracée selon une courbe appelée **courbe en baignoire**. Selon que l'équipement, soit de type électronique ou mécanique, les allures du taux de défaillance sont différentes.

Courbe en baignoire



2. ESTIMATION DU TAUX DE DEFAILLANCE : $\lambda(t)$

On peut estimer le **Taux de défaillance** de la manière suivante (souvent de façon expérimentale) :

$$\lambda(t) = \frac{\text{nombre de défaillants sur un intervalle de temps}}{\text{nombre de survivants au début de la période} \times \text{intervalle de temps}}$$

On défini :

- **N0** le nombre **initial** de dispositifs
- **Ns(t)** est le nombre de dispositifs **survivants** à l'instant **t**
- **Ns(t + Δt)** est le nombre de dispositifs **survivants** un peu plus tard, à l'instant **t + Δt**

Au niveau d'une situation expérimentale, 2 cas peuvent se produire :

Les défaillants sont remplacés : Ns(t) sera toujours égal à N0 :	$\lambda(t) = \frac{C(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}$	C(Δt) nombre de défaillants durant Δt.
Les défaillants ne sont pas remplacés (entre deux instants t):	$\lambda(t) = \frac{Ns(t) - Ns(t + \Delta t)}{Ns(t) \cdot \Delta t}$	C(Δt) = Nombre de survivants à t – Nombre de survivants en fin de période (t+ Δt.)

Exemples de détermination du taux de défaillance :

Cas N°1 : les défectueux sont remplacés (ici ils sont réparés). Une étude a été menée sur 70 véhicules pendant une période allant de 80000km à 90000km. 41 défaillances ont été réparées. Déterminer le taux de défaillance pour cette période.

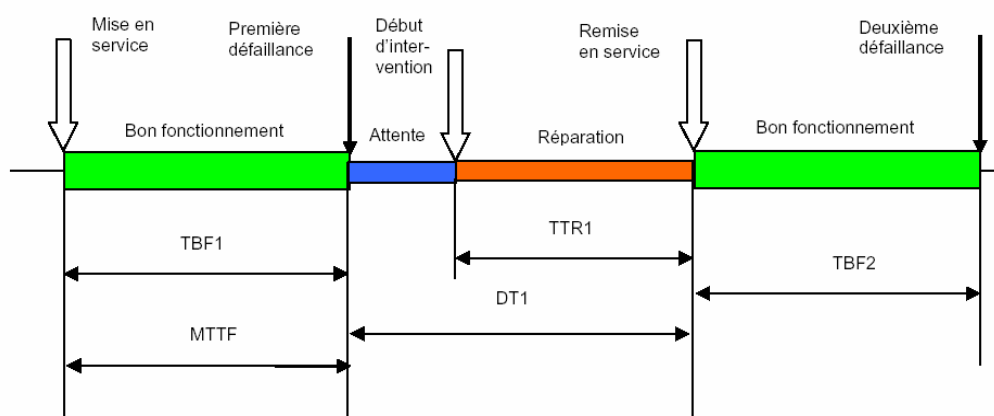
$$\lambda(t) = \frac{C(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t} = \frac{41}{70 \cdot (90000 - 80000)} = 0,585 \cdot 10^{-4} \text{ pannes / km} \quad \Rightarrow \quad 0.585 \text{ panne / 10 000 km}$$

Cas N°2 : les défectueux ne sont pas remplacés. On teste un lot de 50 électrovannes soumises en continu à 8 impulsions par minute. A la 50^{ème} heure, il en reste 33. A la 60^{ème} heure, il en reste 27. Déterminer le taux de défaillance sur cette classe, par heure et par impulsion.

$$\lambda(t) = \frac{Ns(t) - Ns(t + \Delta t)}{Ns(t) \cdot \Delta t} = \frac{33 - 27}{33 \cdot 10} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ def / heure} = 3,79 \cdot 10^{-5} \text{ def / imp. (480 imp/heure)}$$

3. Rappel : PERFORMANCES D'UN EQUIPEMENT : Up Time - Down Time

Durant sa période d'utilisation, le système connaît une alternance de période de **disponibilité** et d'**arrêt**:



Notion de **MTTF** (Mean Time To (first) Failure) Temps moyen avant la 1ère défaillance

Up Time - Temps de Bon Fonctionnement représente les périodes sans intervention de maintenance. Le service production (exploitant) gère l'équipement.

Down Time – Temps d'indisponibilité ou **temps d'Arrêt maintenance TAM**

Les **TTR** représentent les **temps techniques de réparation** durant lesquels le service maintenance effectue le dépannage ou la réparation de l'équipement.

4. TEMPS MOYEN ENTRE DEFAILLANCES :

MTBF : Mean Time Between Failures (ou **Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement**)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Somme des temps de bon fonctionnement entre les } n \text{ défaillances}}{\text{Nombre de défaillances}}$$

On démontre que si λ est constant $\text{MTBF} = 1/\lambda$

Exemple : Une pompe industrielle a fonctionné pendant 10000 heures en service continu avec 7 pannes dont les durées respectives sont : 4 – 2.5 – 6 – 12 – 1.5 – 36 – 3.5 heures.

Calculer sa MTBF et son Taux de défaillances :

$$\text{MTBF} = 10000 - (4 + 2.5 + 6 + 12 + 1.5 + 36 + 3.5) / 7 = 9934.5 / 7 = 1419.2 \text{ heures}$$

$$\text{Taux de défaillances} : \lambda = 7 / 9934.5 = 1 / \text{MTBF} = 0.0007 \text{ défaillance par heure}$$

5. DEFINITION DE LA FIABILITE : $F(t) + R(t) = 1$:

Définition selon la NF X 06 – 501 : la **Fiabilité** est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la « probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée »

1. **Probabilité** : On notera **R(t)** la **Probabilité de fonctionnement** à l'instant t. Le symbole R provient de l'anglais **Reliability** (ou **Fiabilité** en Français).

On notera **F(t)** la **probabilité de défaillance** à l'instant t. Définie par **F(t) = 1 - R(t)**. C'est la probabilité complémentaire.

2. **Fonction requise dans des Conditions d'utilisation** : définition des conditions d'usage, c'est à dire l'environnement et ses variations, les contraintes mécaniques, chimiques, physiques, etc. **Le même matériel placé dans 2 contextes de fonctionnement différents n'aura pas la même fiabilité.**
3. **Période de temps** : définition de la durée de mission **T** en unités d'usage. Ex : on se fixe un minimum **R(Tm) = 0,9** pour une durée de mission **Tm = 8000 heures**

Ex : moteur de voiture préparé pour les 24 heures du Mans :

- **Probabilité** : c'est celle de terminer ; 0,98
- **Fonction requise** : 200 km/h de moyenne (seuil minimal), **Conditions d'utilisation** : de jour, de nuit, avec de la pluie, et ravitaillements, etc.
- **Période de temps** : au bout de 24 heures (durée de la mission)

FIABILITE R(t). Principe de calcul

On cherche à établir une **relation entre le temps t et la valeur de la fiabilité R(t)**.

A titre d'exemple $R(75 \text{ h}) = 0.86$ signifie que l'on a 86% de chance que le système étudié fonctionne encore à $t=75 \text{ h}$ (après 75 heures de fonctionnement). L'intérêt est de pouvoir, si la loi de fiabilité est connue, prévoir le comportement du matériel dans l'avenir.

a- **Période de maturité** : λ **constant**, on peut utiliser la **loi exponentielle** $R(t) = e^{-\lambda t}$

b - Pour travailler sur les 3 périodes (jeunesse, maturité, vieillesse), on peut utiliser la loi de Weibull à 3 paramètres.

La détermination des paramètres β, γ, η (béta, gamma, éta) est faite à partir d'essais en laboratoire (voir cours de maths)

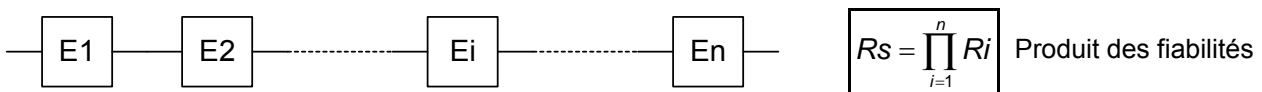
$$R(t) = \frac{e^{-(t-\gamma)^\beta}}{\eta}$$

FIABILITE DES SYSTEMES COMPLEXES **Rs**, Hypothèses de départ :

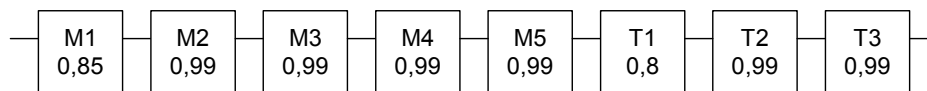
1. Les défaillances sont indépendantes les unes des autres
2. La fiabilité de chaque sous-système ou de chaque élément a été déterminée

- Fiabilité d'un système constitué de plusieurs **composants montés en série** :

On dit qu'un système est un **système série** d'un point de vue fiabilité si le système tombe en panne lorsqu'un seul de ses éléments est en panne.



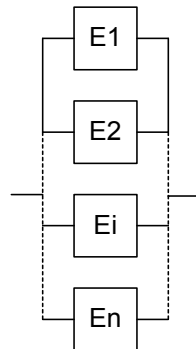
Exemple :



La **fiabilité** du système entier est le produit de toutes les fiabilités élémentaires : **R.syst. = 0,64**

- Fiabilité d'un système constitué de plusieurs **composants montés en parallèle** :

On dit qu'un système est un **système en parallèle** d'un point de vue fiabilité si, lorsqu'un ou plusieurs de ses éléments tombent en panne, le système ne tombe pas en panne.

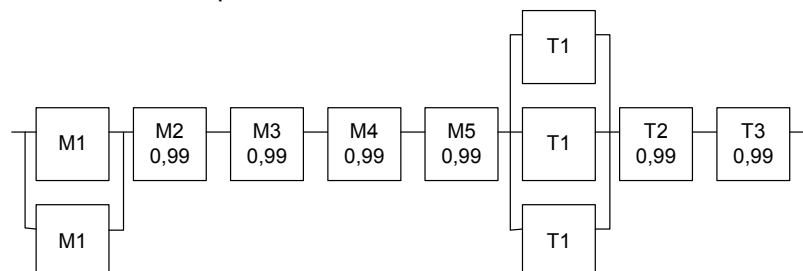


Formule complexe :
$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

Exemple avec M1

$$R_s (M1) = 1 - (1-0,85) \cdot (1-0,85) = 0,97 > 0,85$$

Exemple : Pour améliorer cette fiabilité, on peut appliquer des redondances sur les systèmes les moins fiables : M1 et T1. Une des solutions peut consister à utiliser 3 T1 et 2 M1.



$$R_s = [1 - (1 - 0,85)^2] \times 0,99^4 \times [1 - (1 - 0,8)^3] \times 0,99^2 = 0,91 \rightarrow \text{Résultat satisfaisant.}$$

Economiquement, il va de soi que cette solution risque de coûter trop cher.