



# Tour d'horizon des méthodes d'optimisation de maintenance

## La fonction Maintenance

\*

Jean-François BARBET

## Maintenance :

Ensemble des opérations permettant de maintenir ou de rétablir un équipement dans un état spécifié

Donc la **MAINTENANCE**

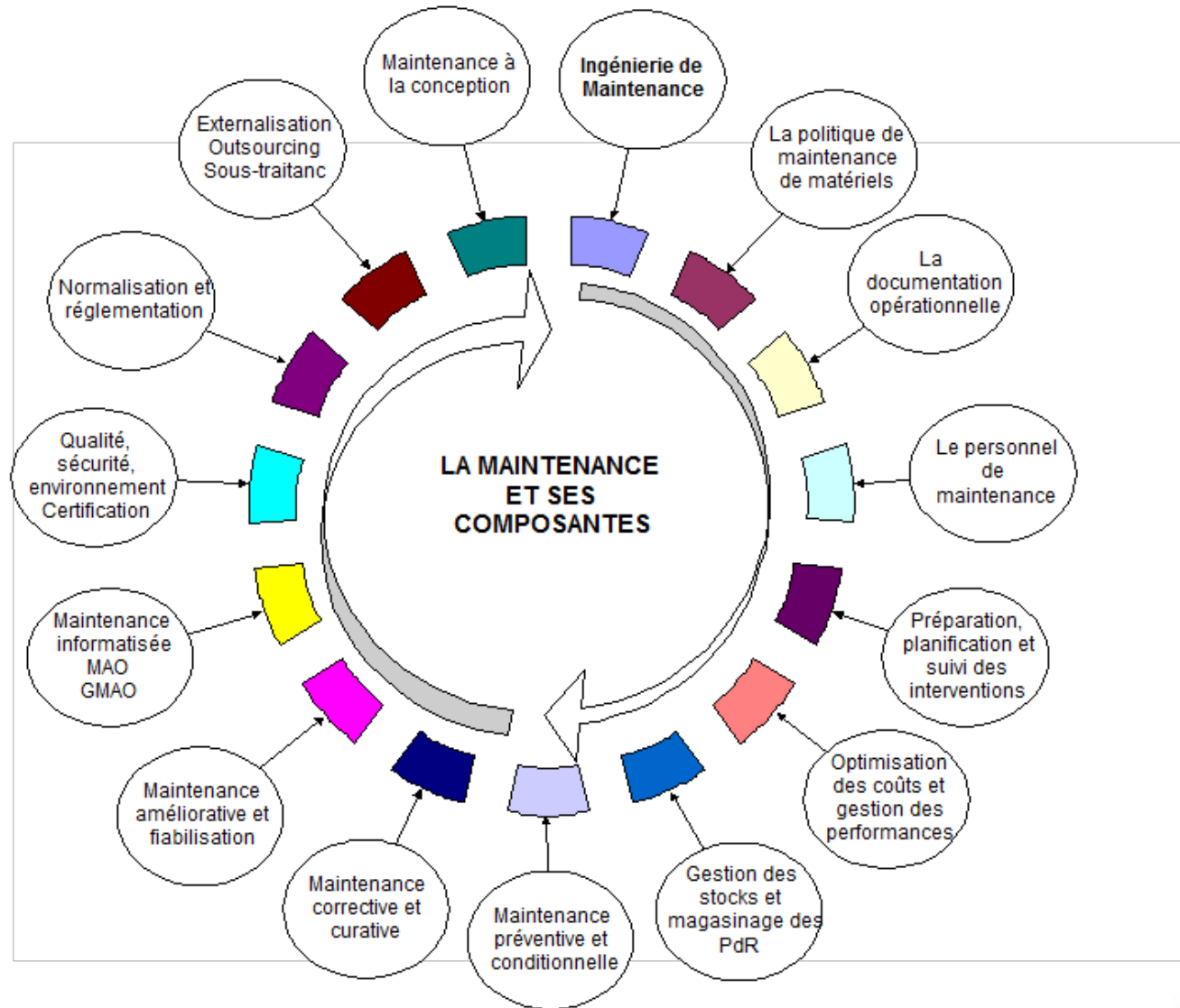
c'est avant tout

**LA FIABILITE**

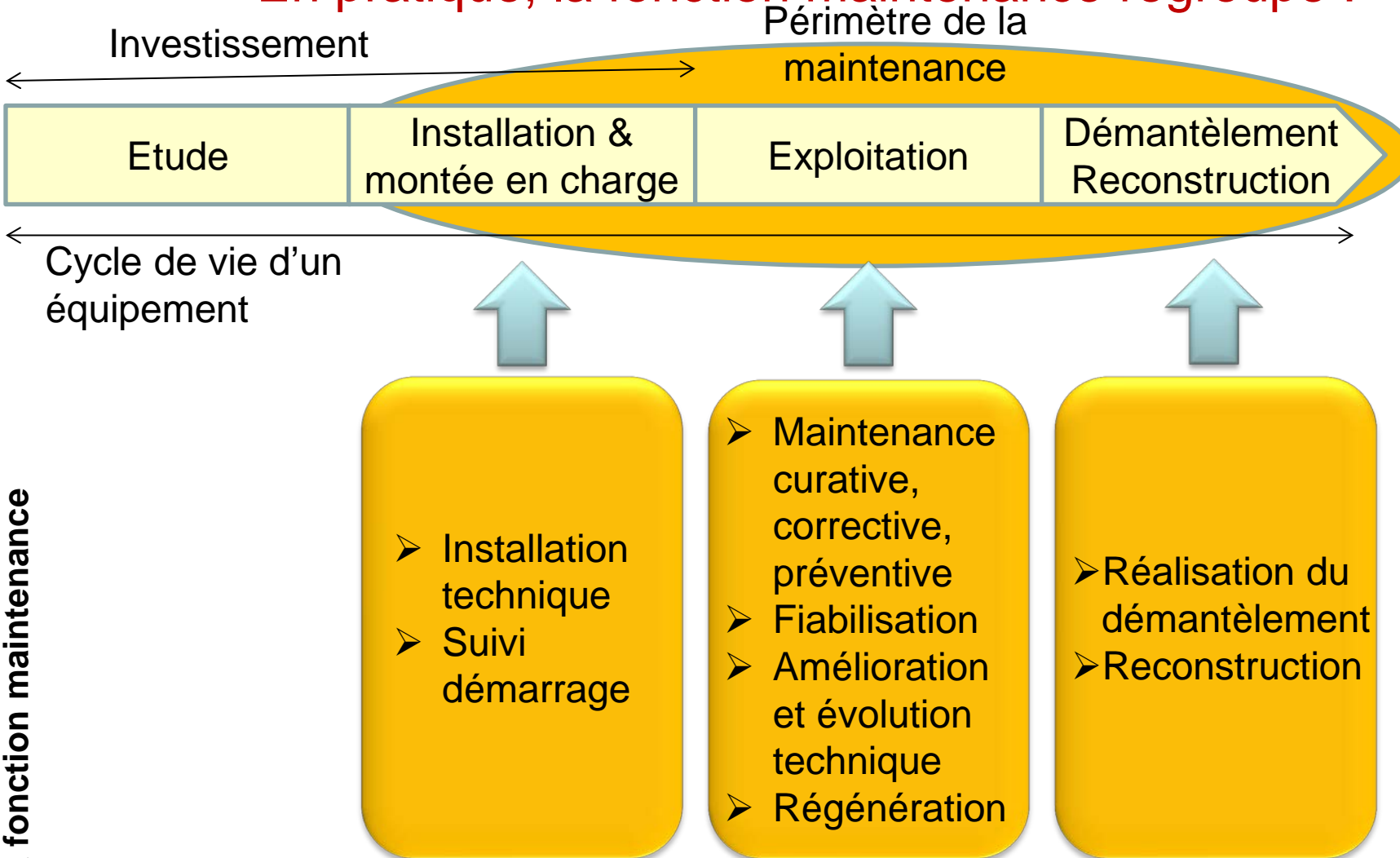
et pas que

**LA REPARATION**





En pratique, la fonction maintenance regroupe :



- La fonction maintenance cherche toujours à ...
  - ... promouvoir une maintenance moins dépen­sière et plus efficace.
- Pris dans le quotidien on pratique trop souvent
  - ... une gestion à court terme, le regard fixé sur les comptes de l'année en cours.
- Et dans une vision à court terme, ni la maintenance préventive, ni les investissements, ni le déploiement de projet innovant, ni l'amélioration de l'organisation ...
  - ... ne sont rentables et donc prioritaires.



- La plus grosse difficulté en maintenance est d'évaluer le retour sur investissement.

*La maintenance est comme une publicité !*



- On sait combien coûte un investissement, un plan de maintenance, une rénovation, une amélioration, etc.

***mais***

Les gains attendus sont très difficilement chiffrables !

## La maintenance, une fonction discrète

Les acteurs de maintenance ne sont généralement pas de grands communicants



Il en résulte 2 aspects principaux



## Les défis à relever par les responsables maintenance

- Comment définir objectivement une politique de maintenance (critères de décision maintenance corrective/préventive)
- Comment répondre aux attentes des différents acteurs de l'entreprise :
  - ⇒ la place de la maintenance dans l'entreprise
  - ⇒ le besoin d'un langage commun
- Comment traiter de façon adéquate les différents types de défaillances
- Comment s'assurer de l'efficacité technico-économique des décisions de maintenance
- Comment mettre à contribution l'ensemble de l'expertise nécessaire pour la pérennité de l'outil de production
- Comment rectifier les éventuelles erreurs du passé





- Manager de la fonction maintenance raisonne donc, en permanence, avec une **logique antagoniste** :

« Augmenter la disponibilité en réduisant les coûts ! »

« Acheter au meilleur prix mais s'assurer d'un coût global optimisé ! »

« Faire plus de préventif à moyens au moins équivalents ! »

➔ **Les 2 objectifs fondamentaux d'une fonction maintenance aujourd'hui :**

**1 / Optimisation des coûts**

**2 / Augmenter la disponibilité**



- Comment répondre aux deux objectifs fondamentaux ?
  1. Réorienter la maintenance et sortir du cercle vicieux de l'entretien « plus il y a de pannes, plus je cours ; plus je cours, plus il y a de pannes »,
  2. Utiliser des méthodes d'optimisation qui reposent sur un socle robuste et pérenne,
  3. Faire évoluer la culture d'entreprise



Le service Maintenance doit se concentrer sur la performance des équipements :

- S'assurer que les installations continuent de remplir la fonction attendue.
- Améliorer la performance des équipements pour répondre aux besoins du marché.
- Gérer ses coûts de manière efficace.

Une maintenance optimisée doit :

- Garantir réellement que le niveau de fiabilité intrinsèque des équipements est maintenu
- Rétablir la fiabilité à son niveau intrinsèque lorsqu'une détérioration se produit
- Identifier les équipements pour lesquels la fiabilité intrinsèque s'avère insuffisante
- Réaliser ces objectifs à un coût global minimum (y compris les coûts résiduels des défaillances)



## Intégrer l'amélioration continue en maintenance

La fonction maintenance

Si nous dépannons

C'est pour que la panne ne se reproduise pas.  
Le nombre de pannes diminue;  
La disponibilité augmente

Si nous faisons du préventif

C'est pour en faire moins souvent.  
Les coûts du préventif et du curatif diminuent:  
la fiabilité augmente

Si nous gérons des pièces de rechange

C'est pour ajuster la valeur stockée.  
Le stock diminue;  
la disponibilité et si possible la fiabilité augmentent

Si nous soustrairons des prestations

C'est pour diminuer le montant d'année en année. Le coût des contrats peut diminuer ou le contenu évoluer.



## Des messages forts pour l'amélioration



**Ne plus  
accepter les  
opérations  
« pompiers »  
qui peuvent  
être évitées**

**Analysons plus  
pour faire  
moins !**



**Améliorons  
notre  
organisation et  
méthodes de  
travail pour  
plus  
d'efficience !**

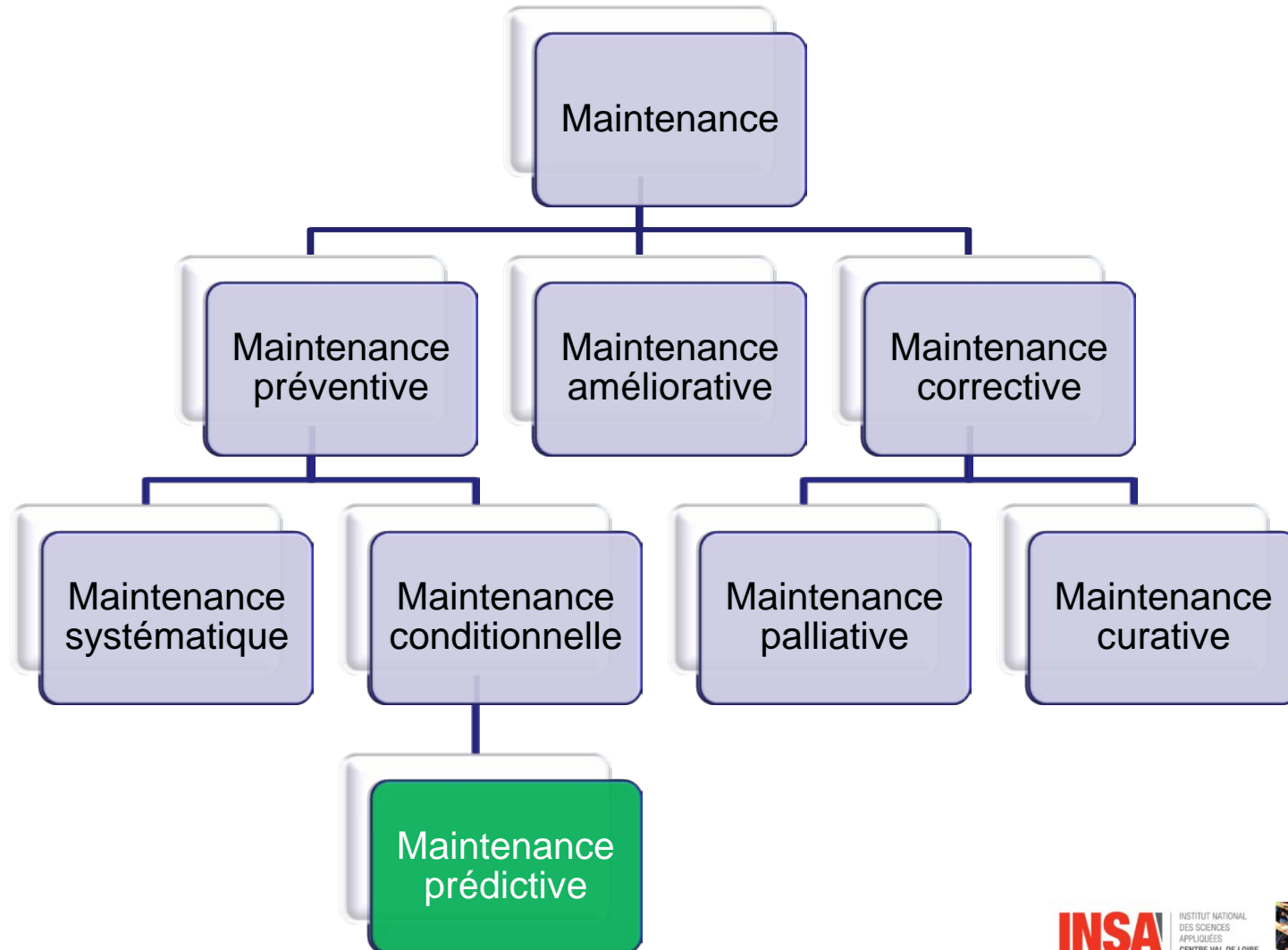
**Mesurons nos  
progrès pour  
les afficher,  
s'encourager  
et être  
vertueux !**





# Tour d'horizon des méthodes d'optimisation de maintenance

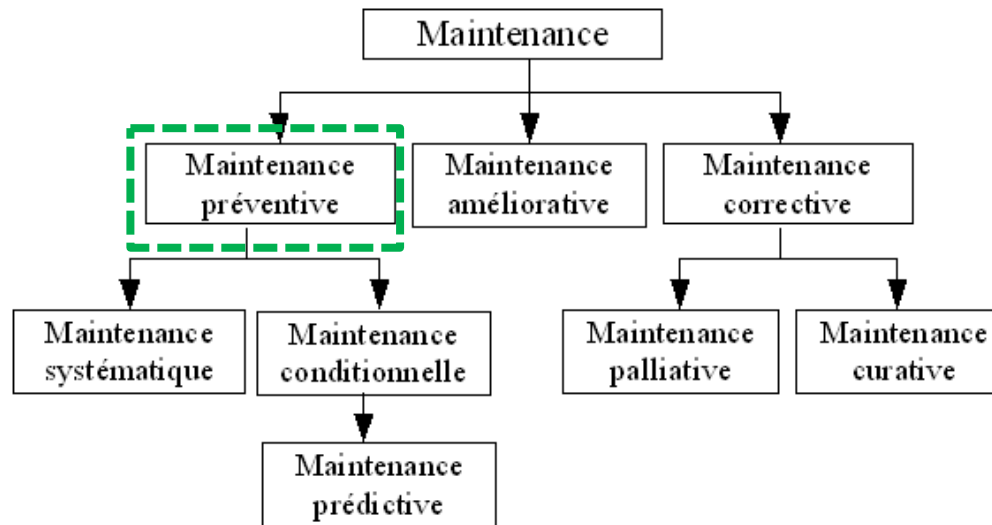
## Typologie de Maintenances





## ■ Maintenance préventive :

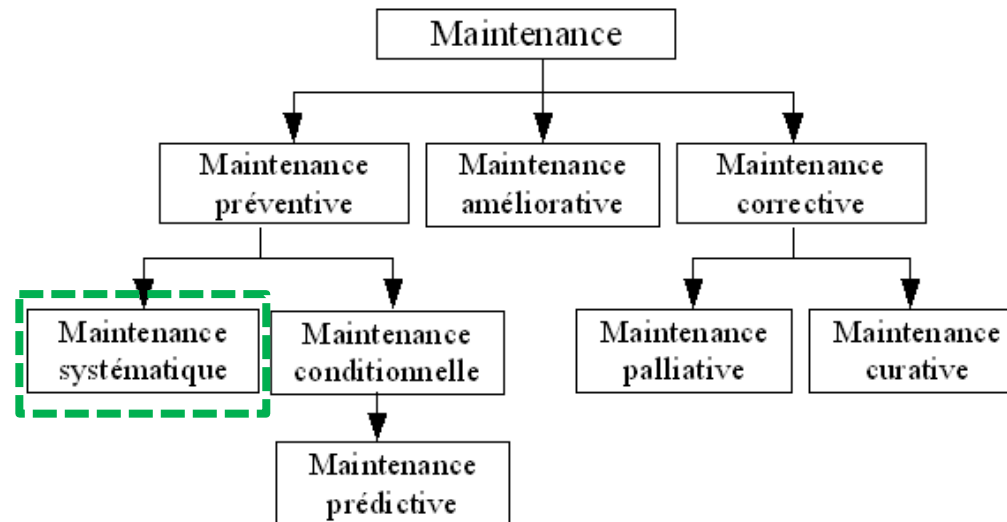
Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien, elle est subdivisée en : maintenance systématique et conditionnelle.



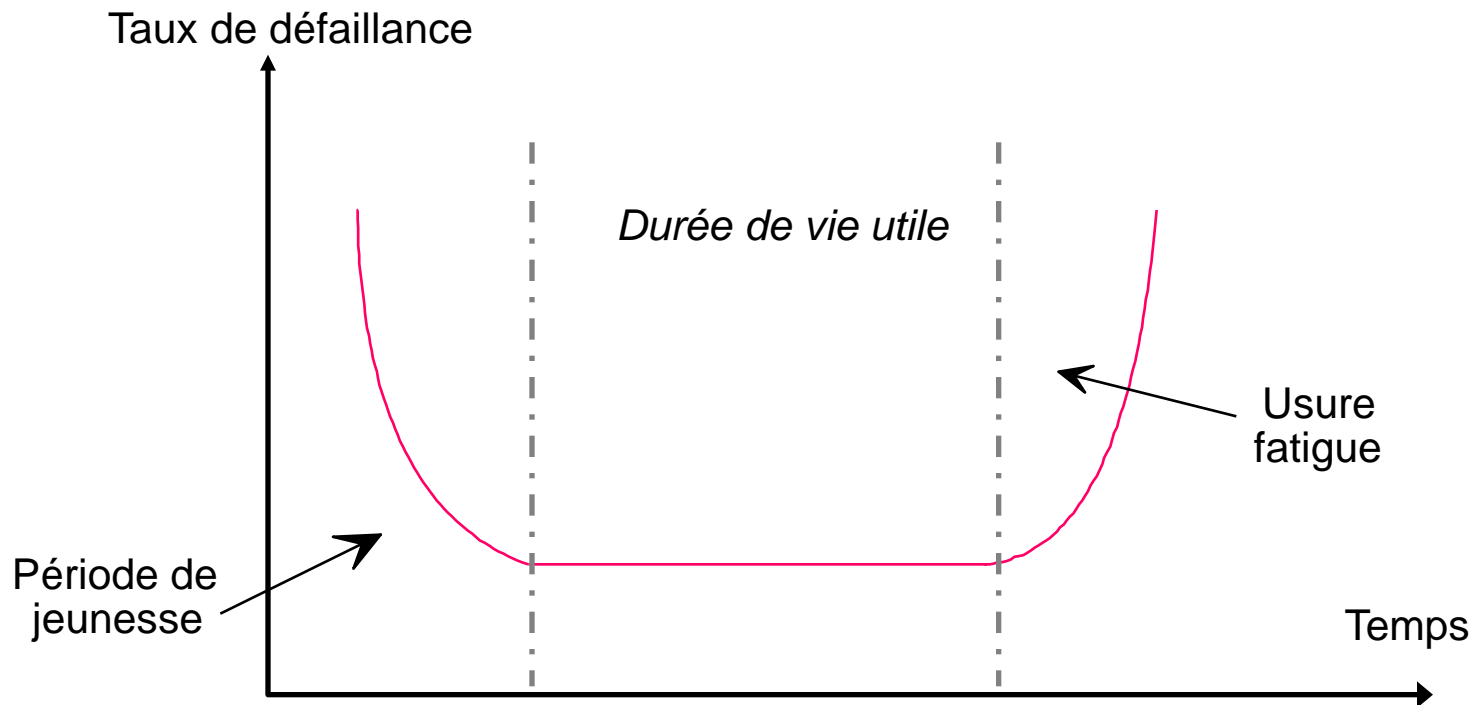
■ Maintenance préventive *systematique* :

Exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

| cycle | gregorien |       |       | lustre | gregorien |       |       | lustre | gregorien |       |       | lustre |          |    |  |
|-------|-----------|-------|-------|--------|-----------|-------|-------|--------|-----------|-------|-------|--------|----------|----|--|
|       | mois      | année | année |        | mois      | année | année |        | mois      | année | année |        |          |    |  |
| 101   | 26/10/54  | 12    | 1     | 1      | 31/10/59  | 12    | 1     | 2      | 04/11/64  | 12    | 1     | 3      | 09/11/69 | 12 |  |
|       | 15/10/55  | 12    | 2     |        | 20/10/60  | 12    | 2     |        | 24/10/65  | 12    | 2     |        | 30/10/70 | 12 |  |
|       | 04/10/56  | 13    | 3     |        | 09/10/61  | 13    | 3     |        | 14/10/66  | 13    | 3     |        | 19/10/71 | 13 |  |
|       | 23/10/57  | 12    | 4     |        | 28/10/62  | 12    | 4     |        | 02/11/67  | 12    | 4     |        | 06/11/72 | 12 |  |
|       | 12/10/58  | 13    | 5     |        | 17/10/63  | 13    | 5     |        | 21/10/68  | 13    | 5     |        | 26/10/73 | 13 |  |
| 102   | 24/10/84  | 12    | 1     | 1      | 29/10/89  | 12    | 1     | 2      | 03/11/94  | 12    | 1     | 3      | 08/11/99 | 12 |  |
|       | 14/10/85  | 12    | 2     |        | 18/10/90  | 12    | 2     |        | 24/10/95  | 12    | 2     |        | 27/10/00 | 12 |  |
|       | 03/10/86  | 13    | 3     |        | 07/10/91  | 13    | 3     |        | 12/10/96  | 13    | 3     |        | 16/10/01 | 13 |  |
|       | 22/10/87  | 12    | 4     |        | 25/10/92  | 12    | 4     |        | 31/10/97  | 12    | 4     |        | 04/11/02 | 12 |  |
|       | 10/10/88  | 13    | 5     |        | 15/10/93  | 13    | 5     |        | 20/10/98  | 13    | 5     |        | 25/10/03 | 13 |  |
| 103   | 23/10/14  | 12    | 1     | 1      | 29/10/19  | 12    | 1     | 2      | 03/11/24  | 12    | 1     | 3      | 08/11/29 | 12 |  |
|       | 13/10/15  | 12    | 2     |        | 18/10/20  | 12    | 2     |        | 24/10/25  | 12    | 2     |        | 27/10/30 | 12 |  |
|       | 01/10/16  | 13    | 3     |        | 07/10/21  | 13    | 3     |        | 12/10/26  | 13    | 3     |        | 16/10/31 | 13 |  |
|       | 19/10/17  | 12    | 4     |        | 25/10/22  | 12    | 4     |        | 31/10/27  | 12    | 4     |        | 04/11/32 | 12 |  |
|       | 09/10/18  | 13    | 5     |        | 15/10/23  | 13    | 5     |        | 20/10/28  | 13    | 5     |        | 25/10/33 | 13 |  |



■ La courbe (théorique) en baignoire :



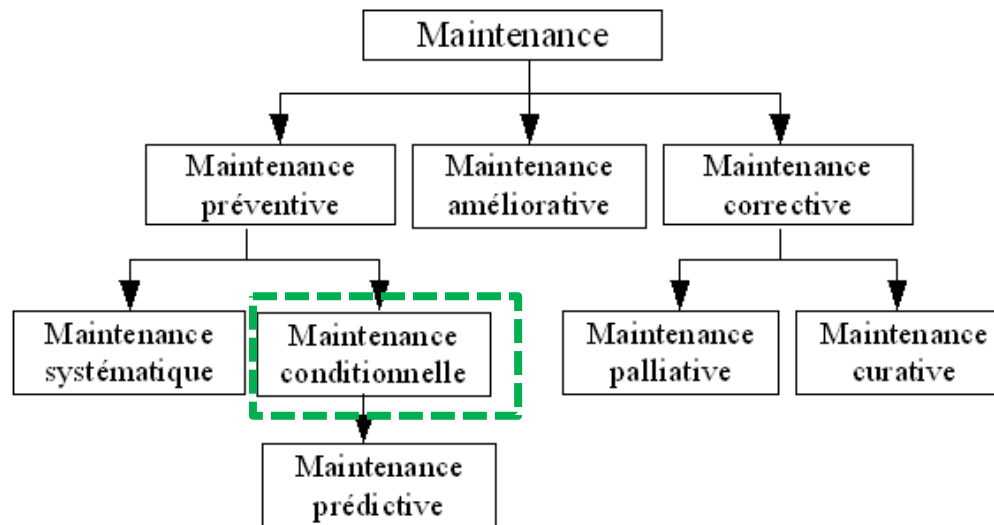
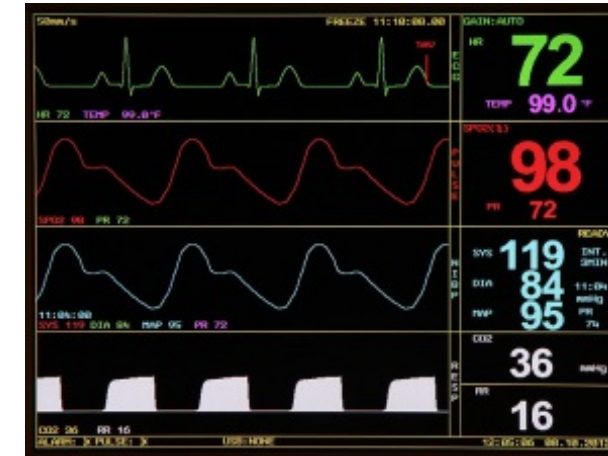
**Durée de vie utile :** Point à partir duquel une augmentation rapide de la probabilité de défaillance est constatée



■ Maintenance préventive **conditionnelle** :

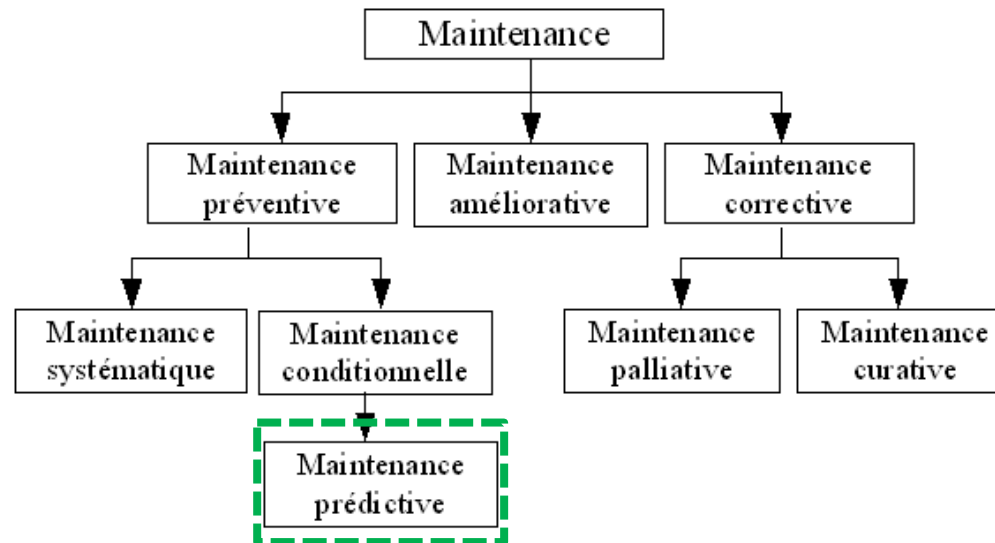
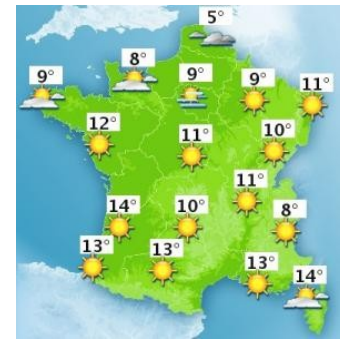
Basée sur une surveillance\* du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.

\* La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue.



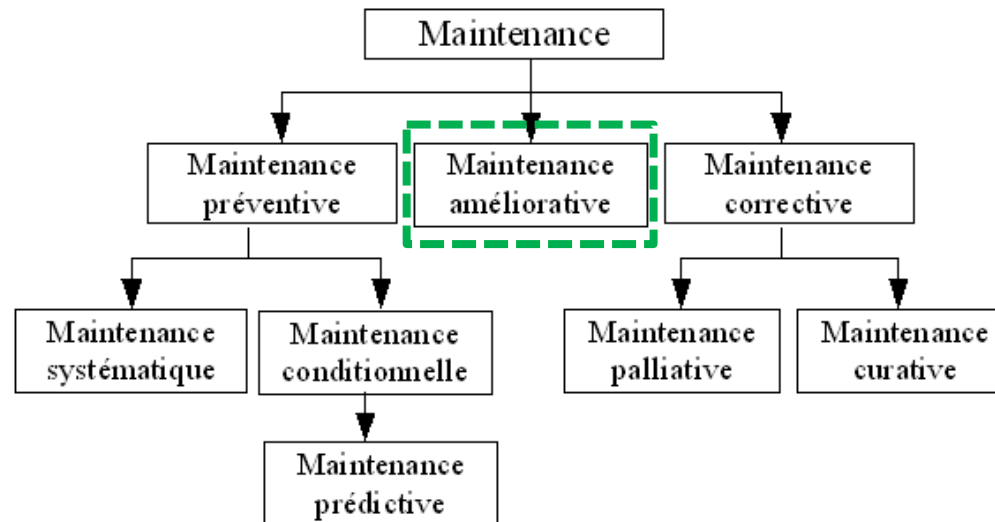
■ Maintenance préventive *prédictive* ou *prévisionnelle* :

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.



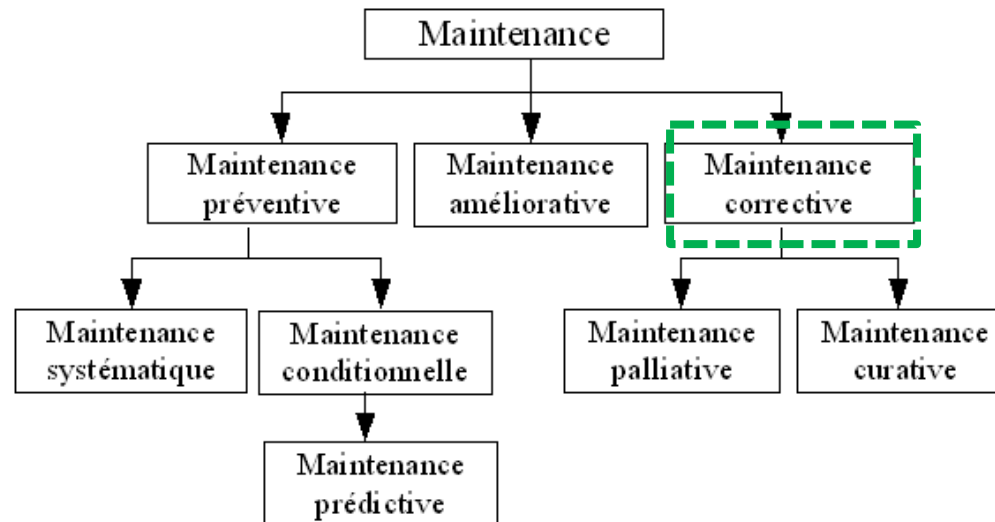
■ Maintenance *améliorative* :

Mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.



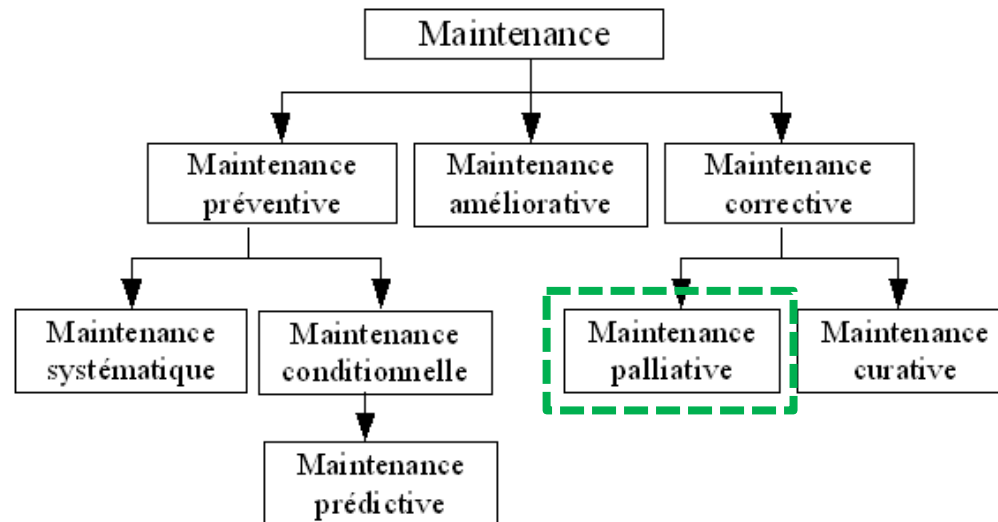
■ Maintenance **corrective** :

Exécutée **après détection d'une panne** et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.



■ Maintenance corrective *palliative* :

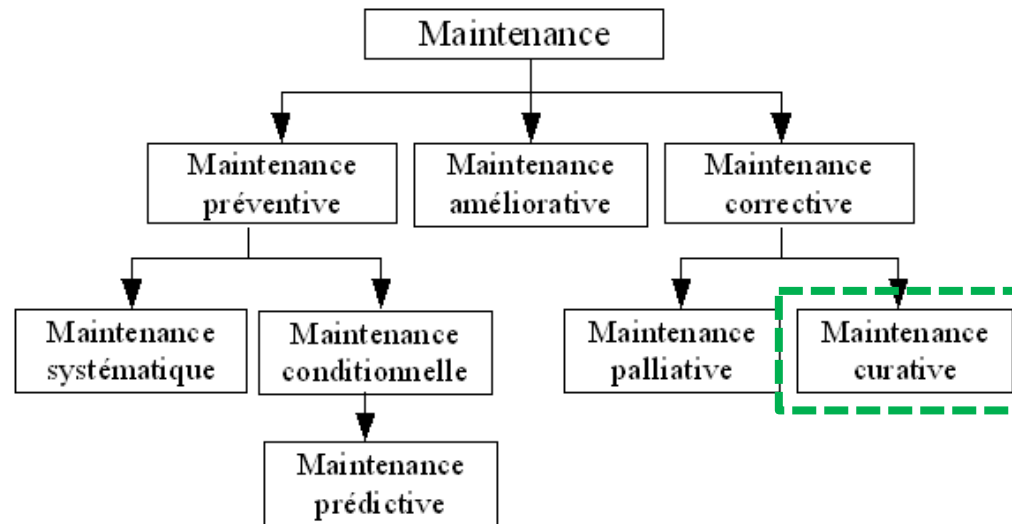
Destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelée couramment « dépannage », elle doit être suivie d'une action curative.



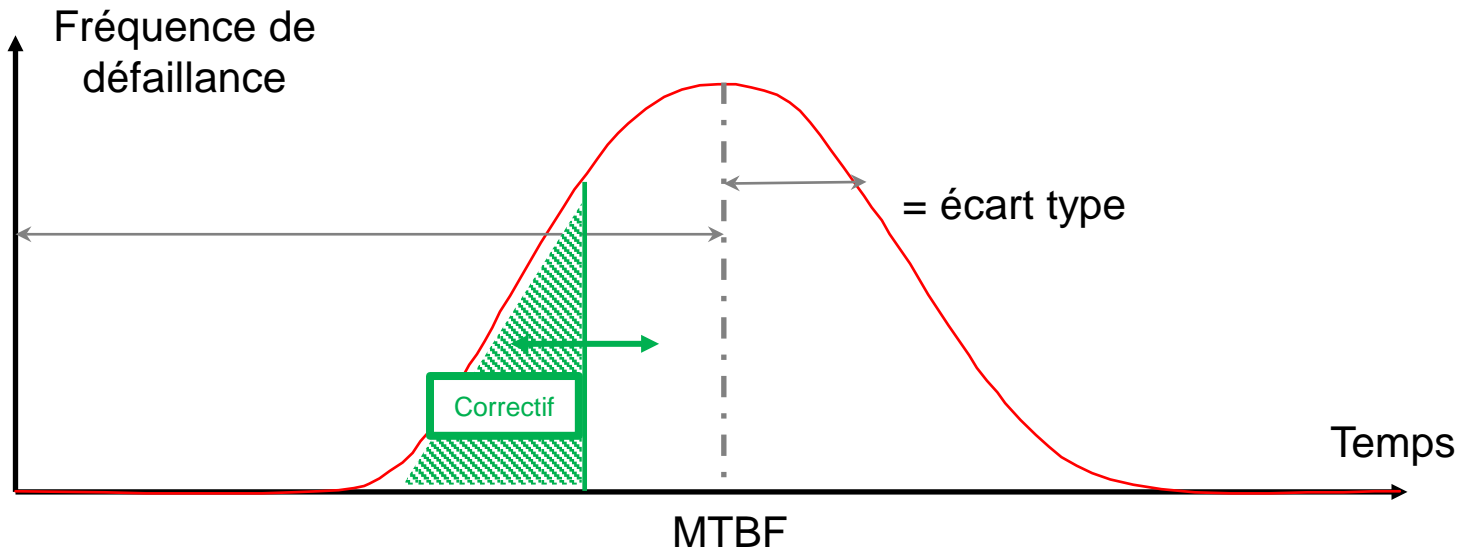


■ Maintenance corrective *curative* :

Destinée à permettre à un bien d'accomplir « définitivement » sa fonction requise. Elle intervient soit après une intervention palliative ou directement lors de l'opération de maintenance.



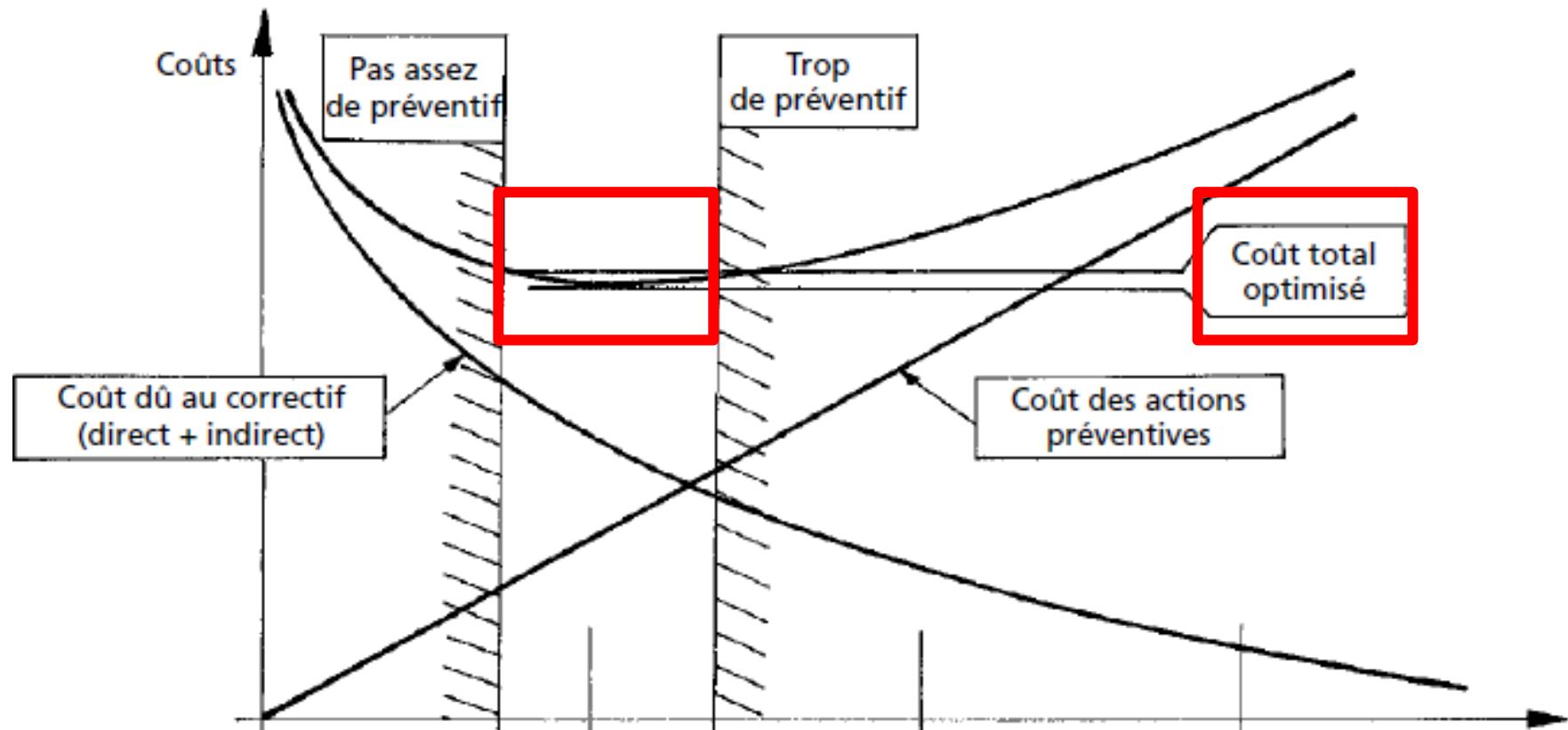
■ La loi normale :



**MTBF(/MTTF) :** Durée moyenne calculée à partir des défaillances des composantes constitutives d'un échantillon



- Trouver l'équilibre dans la politique de maintenance pour tendre vers un coût optimisé :





# Tour d'horizon des méthodes d'optimisation de maintenance

Méthodes d'optimisation des plans de  
maintenance

**OMF/MBF - Généralités**

## *Pourquoi optimiser ?*

Pour définir ou recentrer vis-à-vis des enjeux prédéterminés :

- Sécurité : Personnes et biens (environnement)
- Disponibilité : Manque à gagner
- Coûts : Coûts directs de maintenance  
Coûts indirects



# Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité

## Maintenance Basée sur la Fiabilité

RCM: Reliability  
Centered  
Maintenance

Méthode visant à :

- **définir** le programme initial de maintenance
  - ➔ ou
  - **recentrer** un programme de maintenance existant
- le plus pertinent vis-à-vis des enjeux liés aux conséquences des défaillances des systèmes et des équipements.

- ❑ **Programme de maintenance :**
  - Document qui établit la nature, le contenu et la périodicité des actions de maintenance
  
- ❑ **Pertinence :**
  - Définir ou recentrer les programmes de maintenance de façon à éviter la sur-qualité et la sous-qualité
  
- ❑ **Enjeux :**
  - Dimensionner l'effort de maintenance en fonction des conséquences des défaillances (approche système) et non pas en fonction des défaillances elles-mêmes (approche objet)

## ■ Un programme ou plan de maintenance préventive (PMP) c'est quoi ?

- ➔ Un PMP conduit à préciser l'ensemble des conditions dans lesquelles sera maintenu un ouvrage.
- ➔ Il conduit à apporter des réponses détaillées à un grand nombre de questions :
  - Quelle est la nature de chaque opération ?
  - Quelle en sera la périodicité ?
  - Suivant quelle gamme sera-t-elle réalisée ?
  - Avec quel outillage ?
  - Quel moyen de diagnostic ?
  - Quelle est la compétence nécessaire ?



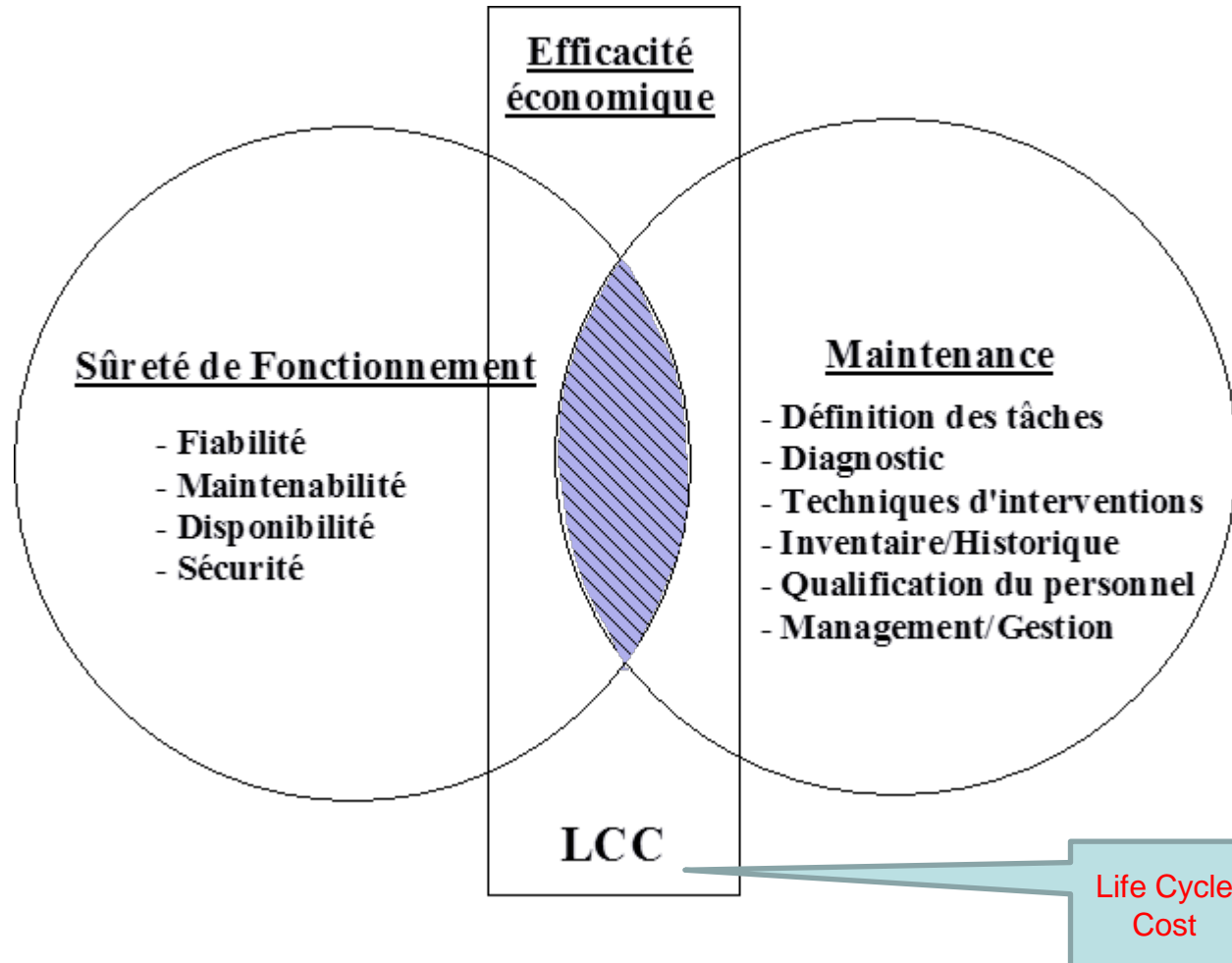


## *Pourquoi fiabilité ?*

Appel à des concepts et méthodes de la discipline traitant les dysfonctionnements (Sûreté de Fonctionnement) :

- Analyse Fonctionnelle
- Analyse des Risques
- AMDE, AMDEC, HAZOP,...
- Analyse Statistique des Défaillances

## Une interaction directe avec la SDF



### Années 60 :

Genèse du concept dans l'industrie aéronautique (USA)  
(Boeing 747, Douglas DC-10, MD-11, Airbus A-300)

### Années 70 :

US Navy, US Force + US Army

### Années 80 :

Réglementaire au niveau de l'homologation des avions  
EPRI (Electric Power Research Institute) : Introduction de l'approche  
RCM dans les centrales nucléaires US

### Années 90 :

EDF - première expérience en France : Redéfinition et mise en œuvre  
de l'OMF dans les centrales nucléaires  
Premières expériences RCM sur les plates-formes en mer du Nord

### Années 2000 :

“Démocratisation” de l'OMF (automobile, ferroviaire, chimie,...)



- ***Aéronautique***
- ***Nucléaire***
- ***Pétrole***
- ***Chimie***
- ***Alimentaire***
- ***Pharmacie***
- ***Traitement de l'eau***
- ***Papier***
- ***Minier***
- ***Ferroviaire***
- ***Sidérurgie***
- ***Automobile***
- ***...***



- Méthode STRUCTUREE
- Méthode MODULAIRE
- Méthode PLURIDISCIPLINAIRE
- Outil de COMMUNICATION

## ■ METHODE STRUCTUREE

- Articulation autour des 3 aspects clés :
  - enjeux,
  - performances,
  - maintenance
- Déroulement par réductions successives du volume de l'étude
- Traçabilité des réponses (justification des décisions)
- Ajustement au cours du cycle de vie (outil vivant)
- Normalisation internationale

## ■ METHODE MODULAIRE

- ◆ **Applicable au niveau :**
  - équipements,
  - sous-systèmes,
  - systèmes,
  - installations, ...
  
- ◆ **Pour des configurations :**
  - en série,
  - en parallèle,
  - ...



## ■ DEMARCHE PLURIDISCIPLINAIRE

La démarche OMF intègre :

- différents métiers techniques
- une logique économique
- le comportement des acteurs concernés
- . . .





## ■ OUTIL DE COMMUNICATION

- La démarche OMF permet un :
  - rapprochement des mondes de la maintenance, de l'exploitation et de la conception
  - langage commun entre responsables / Directions

- ◆ **Réduction significative des actions de maintenance :**
  - **Centrale Nucléaire US de Callaway Unit (Missouri),  
réduction du nombre d'interventions (entre 1987 et 1992) :**
    - en préventif : de 4728 à 1853
    - en correctif : de 2570 à 1960
  
  - **McDonnell DOUGLAS :**
    - DC8 : plan de maintenance sur 339 matériels
    - DC10 : plan de maintenance sur 7 systèmes (après étude RCM)

- Résultats EDF :

- ◆ **Maîtrise des coûts :**

- ⇒ Réduction de volume d'environ 15 à 20 % en moyenne

- ⇒ 210 MF économisés en 1997, 500 MF attendus horizon 2000 après optimisation complète de tous les plans de maintenance.

- Boeing 747 : dilemme de la maintenance à la conception
- Précisions sur la définition de la maintenance
- Le principe du «maintenir une fonction», pas un objet
- On n'achètera plus un équipement mais plutôt une fonction, une performance, une production, un service
- L'apparition des clauses contractuelles (les appels d'offres internationaux / nationaux)
- L'évolution de la sous-traitance (co-traitance/location)





# Tour d'horizon des méthodes d'optimisation de maintenance

Méthodes d'optimisation des plans de  
maintenance

Démarche méthodologique

## ■ 3 aspects clés

### 1. Analyse du fonctionnement

- ➔ Comment le système fonctionne ?
- ➔ **Identification des Groupements Fonctionnels (GF)**

### 2. Analyse des dysfonctionnements :

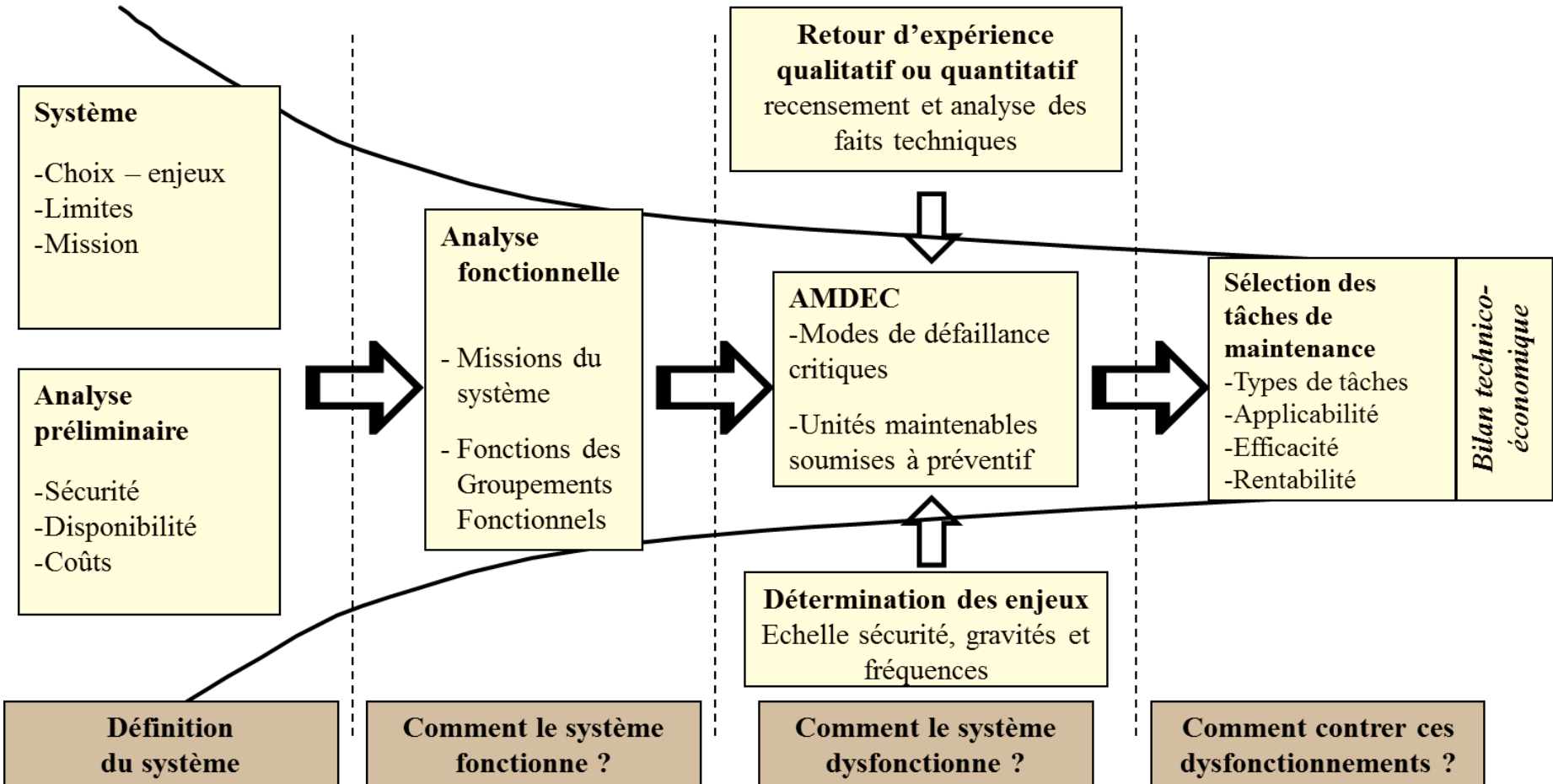
- ➔ Comment le système dysfonctionne ?
- ➔ Analyse des modes de défaillances

### 3. Ingénierie de maintenance

- ➔ Comment contrer des défaillances avec des tâches de maintenance ?
- ➔ Analyse et sélection des tâches de maintenance



# DEMARCHE METHODOLOGIQUE



Démarche



## ■ Descriptions matérielle et fonctionnelle du système

- Description du système
- Définition des limites fonctionnelles du système
- Identification des Fonctions Principales du système
- Définition des Groupements Fonctionnels



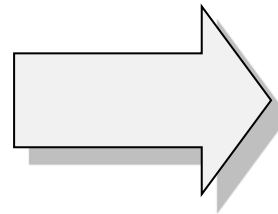


## ■ LE PRINCIPE DE LA MAINTENANCE FONCTIONNELLE

### ~~Approche « équipement »~~

« Je maintiens les équipements pour qu'ils fonctionnent bien »

« Chaque équipement identique possède rigoureusement le même plan de maintenance préventive »



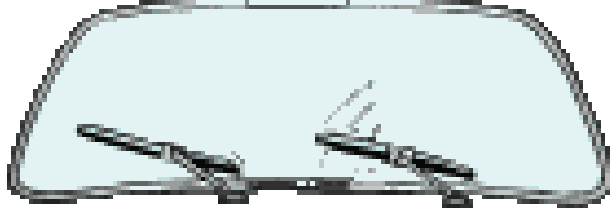
### Approche « fonction »

« Je maintiens les équipements pour qu'ils répondent correctement à leur fonction »

« Le plan de maintenance préventive est adapté à l'enjeu de l'équipement »

1 – ANALYSE DU  
FONCTIONNEMENT

## ■ Illustration :



Essuie-glaces avant et arrière d'une voiture

**Approche « équipement »**

Ce sont les mêmes pièces



On remplace tous les balais d'essuie-glaces en même temps

**Approche « fonction »**

Les fonctions des essuie-glaces sont différentes



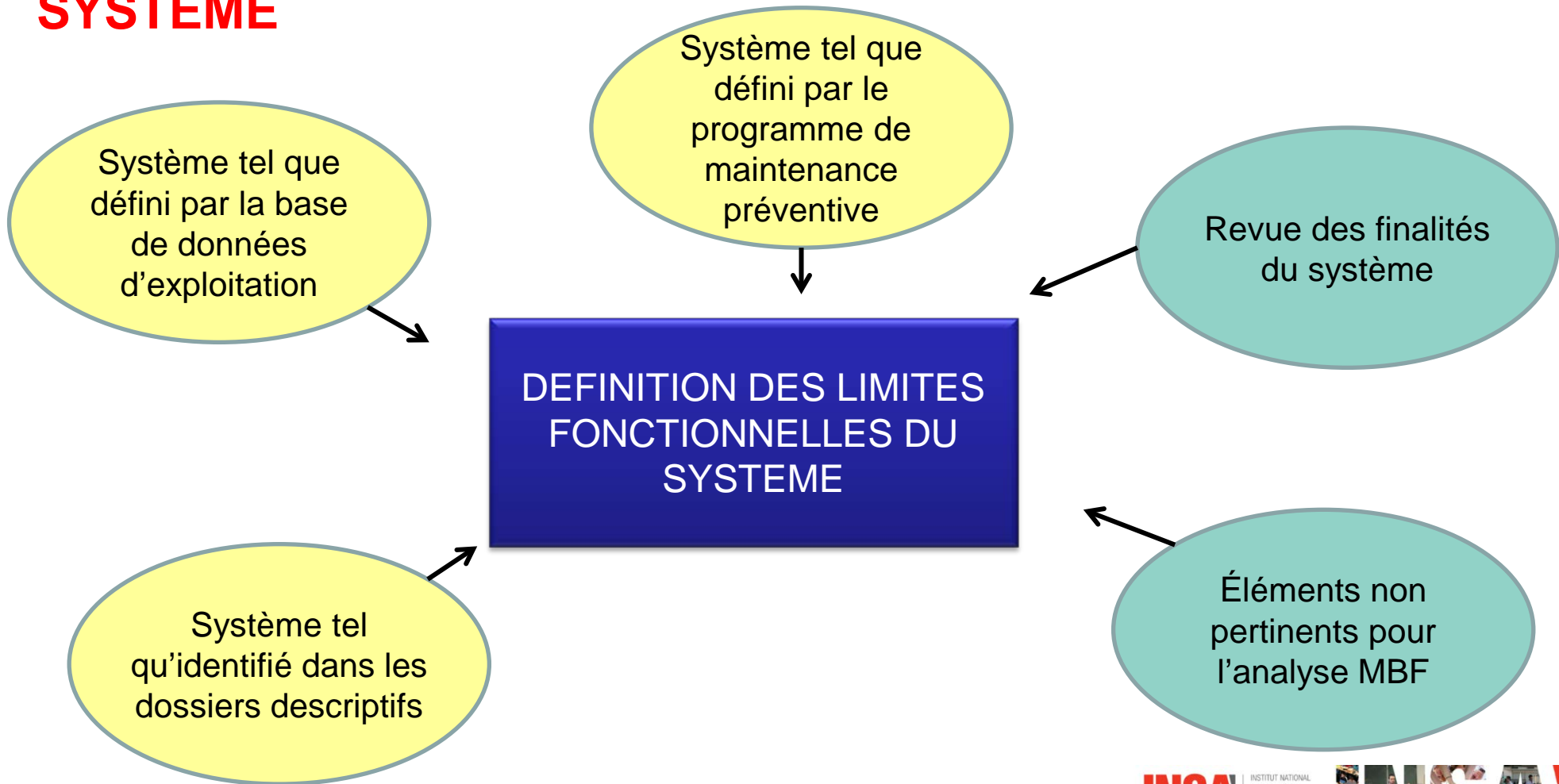
On remplace les balais d'essuie-glaces à une périodicité différente

***Mais, pour aller plus loin de nombreux paramètres sont à prendre en compte :***

- La sollicitation,
- Les conditions d'utilisation,
- L'approvisionnement des pièces de rechange,
- Le coût de la maintenance, ...



# DEFINITION DES LIMITES FONCTIONNELLES DU SYSTEME



Démarche

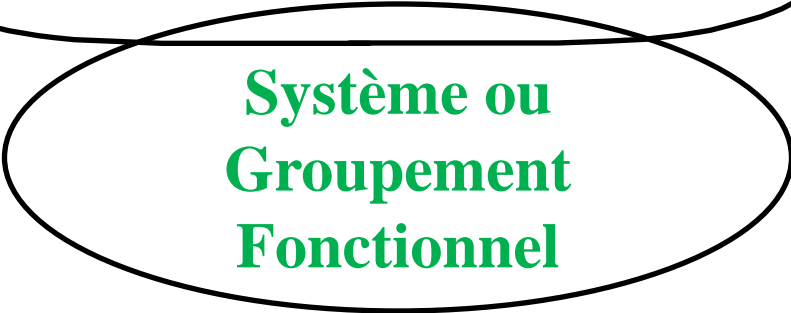
1 – ANALYSE DU FONCTIONNEMENT

**METHODE “ DE LA BETE A CORNE ”**

Exemple de méthode d'Analyse Fonctionnelle

*Sur quoi agit-il ?*

*A qui rend-il service ?*



*Dans quel but ?*

**Expression de la :** - Mission du système ou  
- Fonctions du Groupement Fonctionnel

|                       |                           |             |                                |
|-----------------------|---------------------------|-------------|--------------------------------|
| <b>Verbe d'action</b> | <b>Sur quoi agit-il ?</b> | <b>pour</b> | <b>A qui rend-il service ?</b> |
|-----------------------|---------------------------|-------------|--------------------------------|

## ■ IDENTIFICATION DES FONCTIONS PRINCIPALES

□ Recensement de l'ensemble des fonctions du systèmes

□ Caractérisation des fonctions :

- Type (principale, secondaire,...)
- Phase d'utilisation (au démarrage, à l'arrêt,...)
- Performances (débit, pression, temps,...)
- Configuration de fonctionnement (redondance active, passive, ...)
- Schéma synoptique

□ Sélection des fonctions dimensionnantes pour la maintenance ou fonctions principales

## ■ DEFINITION DES GROUPEMENTS FONCTIONNELS

1. **Identification des groupements fonctionnels : raisons d'être des matériels.**
2. **Définition des fonctions des G.F. par une approche système et non objet.**

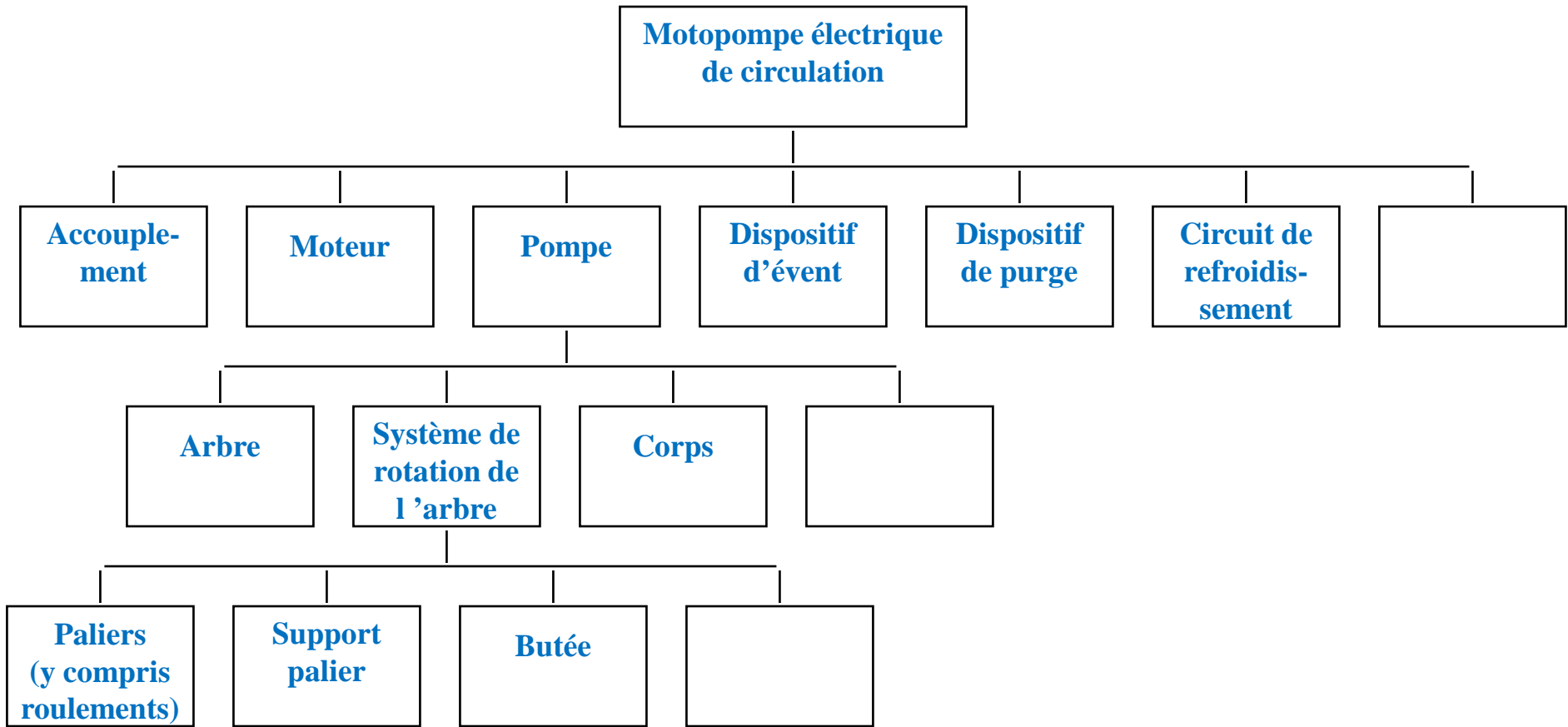
C'est à l'échelle des GF que sera appliquée l'étape suivante concernant l'analyse des dysfonctionnements

Un GF est généralement un sous-système ou un organe

Niveau assez haut pour éviter les analyses inutiles

Niveau assez bas pour être analysé correctement (toutes les fonctions, défaillances et causes sont couvertes)

## ■ DEFINITION DES GROUPEMENTS FONCTIONNELS



Démarche



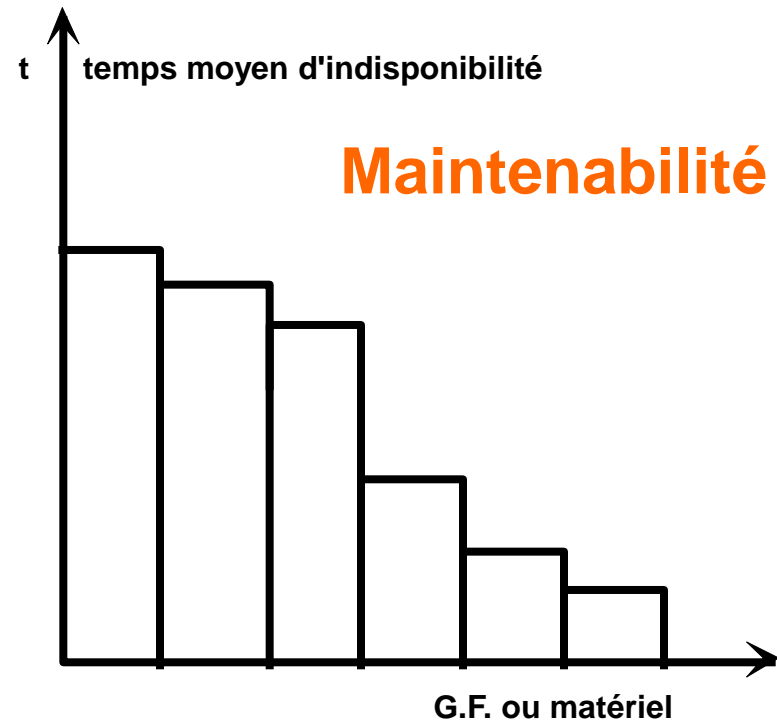
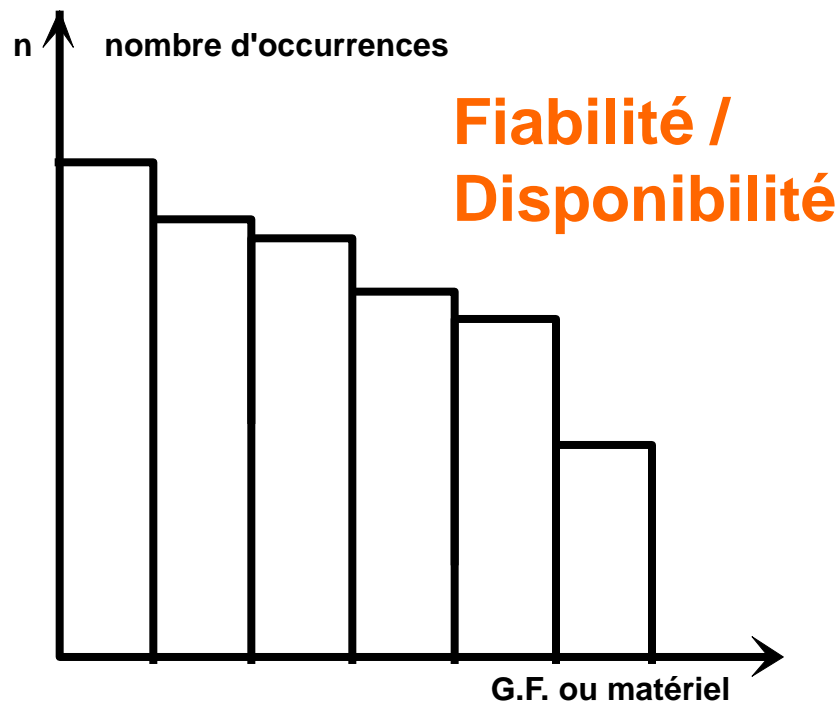
## ■ DETERMINATION DES GROUPEMENTS FONCTIONNELS A ETUDIER

- Identification des matériels à forts enjeux (Sécurité, Environnement, Coûts, ...)
- Identification des matériels générant des indisponibilités de production (perte partielle ou totale)
- Identification des matériels générant des défauts de qualité (production non conforme)
- Identification des matériels à coûts de maintenance élevés (préventif, correctif, pièces de rechange,...)





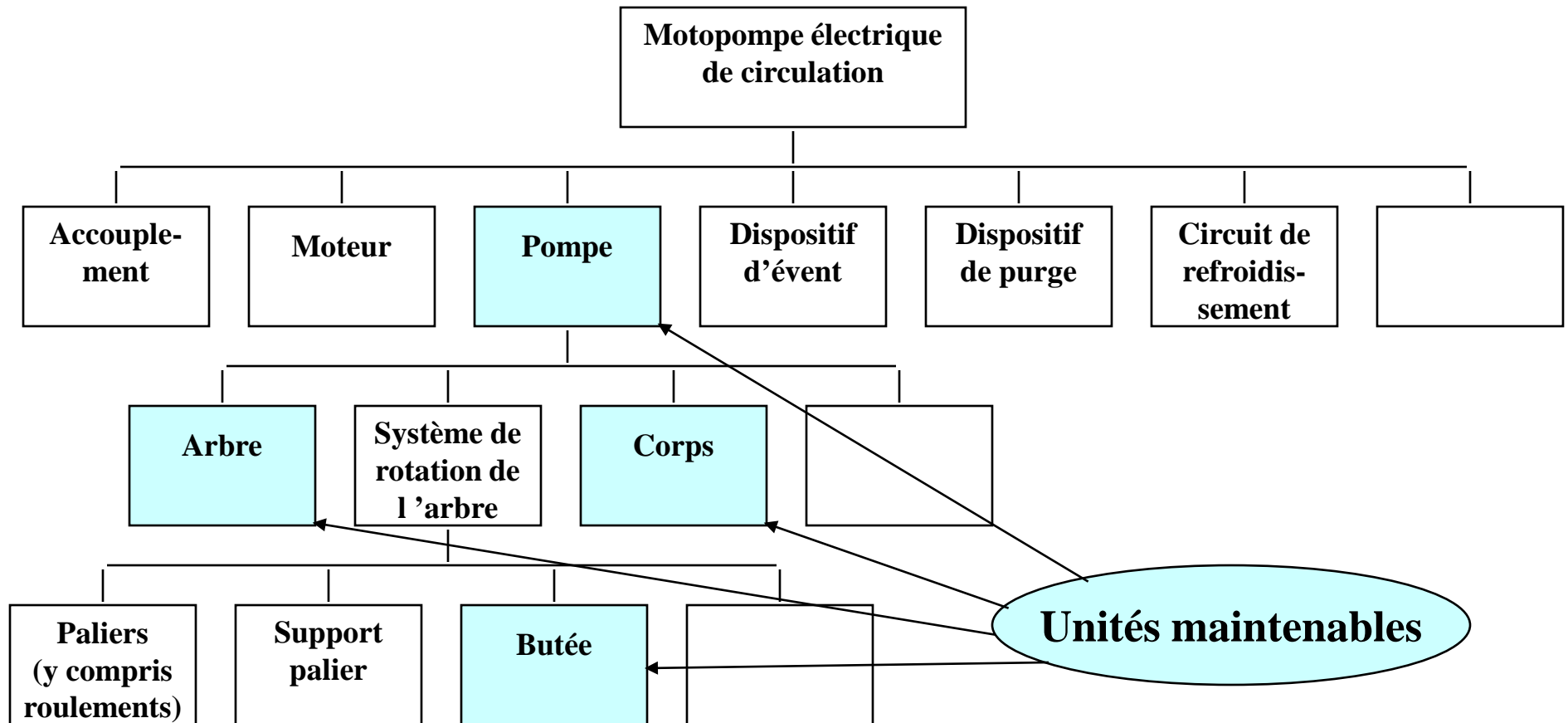
## ■ DIAGRAMMES DE PARETO : Méthode de sélection



Démarche



## IDENTIFICATION DES UNITES MAINTENABLES

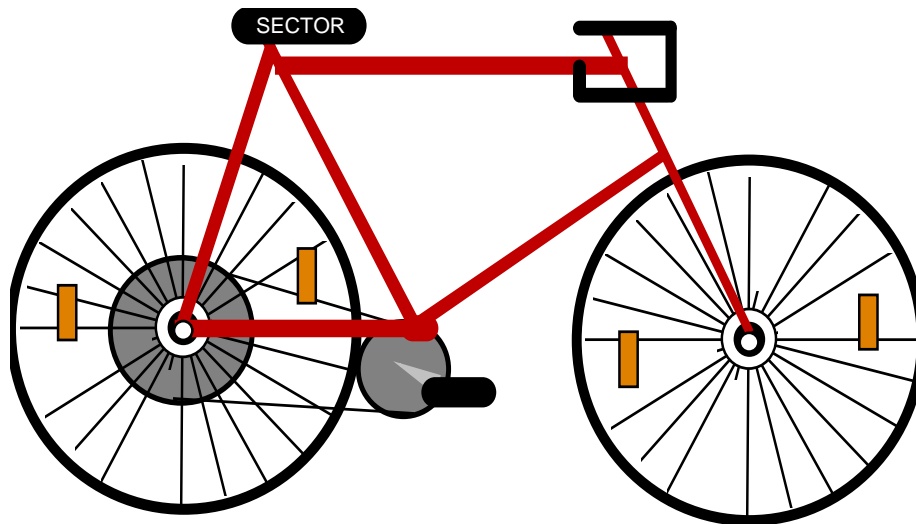


Démarche



## ■ EXEMPLE D'APPLICATION (VELO) : ANALYSE FONCTIONNELLE

Le vélo à vocation professionnelle :



- Nombre de vélos : 4,
- Distance de la course : 2500 km / vélo,
- Les coureurs doivent en effectuer la maintenance,
- La sécurité est la contrainte principale,
- Ambiance course cycliste : la perte de temps est un facteur pénalisant.

## ■ EXEMPLE D'APPLICATION (VELO) : ANALYSE FONCTIONNELLE

## Méthode dite "de la bête à corne"

Verbe - "sur quoi agit-il" - pour - "à qui rend-il service"

- **route** (notion de "vitesse": tenue de route, puissance...)
- **environnement** (notion de "sécurité": signalisation, protection...)
- **cycliste** (notion de "confort": stabilité, position de route....)

à l'équipe de coureurs.

➔ "Déplacer en sécurité le cycliste le plus rapidement possible pour que l'équipe gagne la course."

■ **EXEMPLE D'APPLICATION (VELO) : DECOMPOSITION FONCTIONNELLE**

|             |                       |   |
|-------------|-----------------------|---|
| <b>GF 1</b> | <b>Transmission:</b>  | Transmettre à la roue arrière l'effort fourni par le cycliste   |
| <b>GF 2</b> | <b>Direction:</b>     | Orienter la roue avant suivant la direction à prendre           |
| <b>GF 3</b> | <b>Freinage:</b>      | Freiner le mouvement des roues afin de ralentir ou de s'arrêter |
| <b>GF 4</b> | <b>Signalisation:</b> | Réfléchir et émettre de la lumière pour signaler la position    |
| <b>GF 5</b> | <b>Roues:</b>         | Assurer le déplacement sur le sol                               |
| <b>GF 6</b> | <b>Support:</b>       | Supporter les éléments et le cycliste                           |





# Tour d'horizon des méthodes d'optimisation de maintenance

Méthodes d'optimisation des plans de  
maintenance

**Traitement des faits techniques  
et le retour d'expérience**

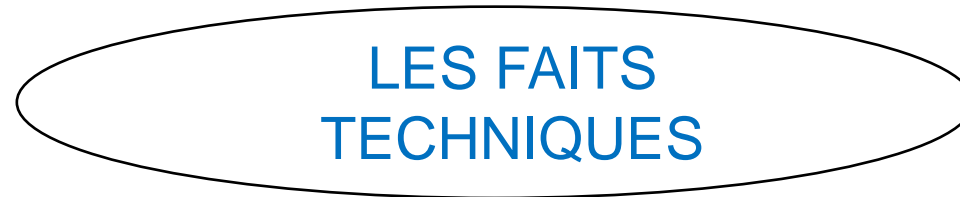
## ANALYSE DU RETOUR D'EXPERIENCE : DANS QUEL BUT ?

- L'analyse des faits techniques permet de mesurer la fréquence des défaillances et des dégradations (en entretien ou non) au niveau des fonctions des GF
- La mesure de la fréquence des défaillances permet de vérifier ou non la pertinence des tâches de maintenance (contenu et/ou périodicité) effectuées sur les GF ou dans le cas contraire de les optimiser

REX = PRE-REQUIS bénéfique aux étapes suivantes d'analyse dysfonctionnelle et de sélection des tâches de maintenance



# COLLECTER + MEMORISER + ANALYSER + COMMUNIQUER



- BUT :**
- Conserver
  - Transmettre
  - Améliorer

les connaissances  
ou le savoir faire

↳ Mémoire  
du futur

REX





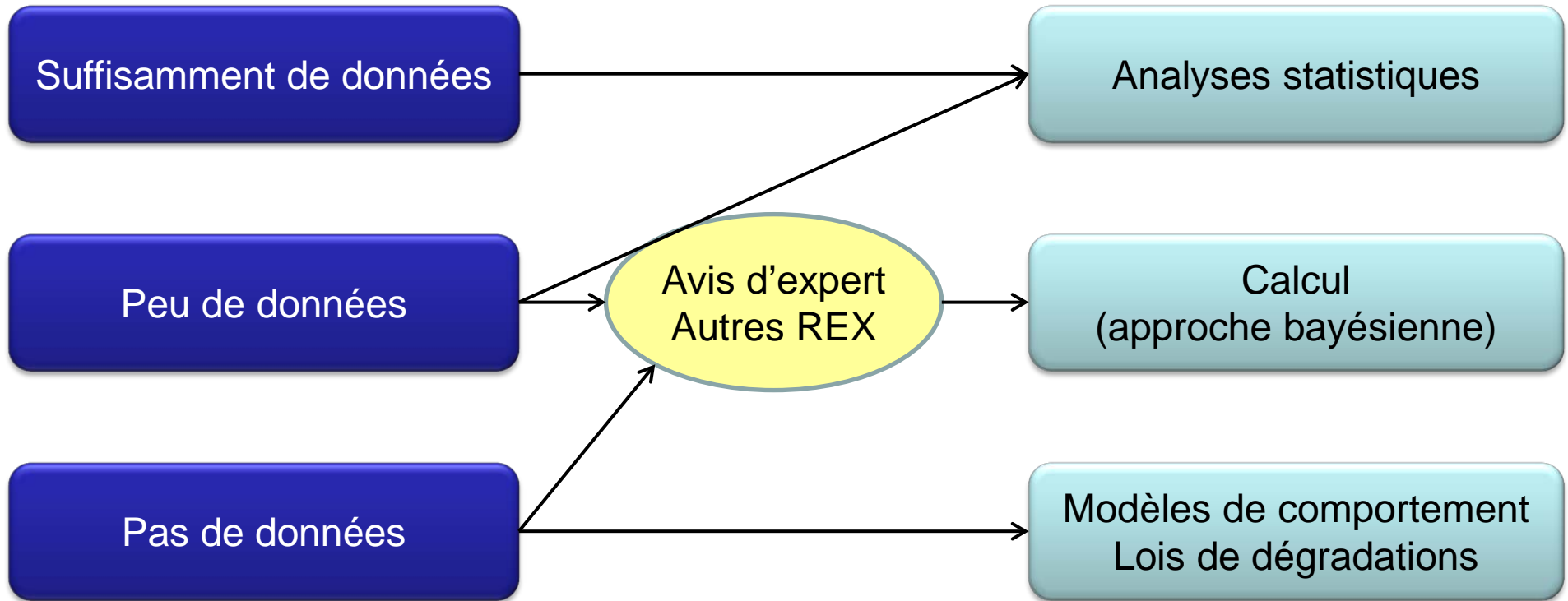
## INFORMATIONS MINIMALES D'UNE BASE DE DONNEES DE MAINTENANCE

- Description des matériels
- Historiques des faits techniques
- Données d'exploitation du matériel

## REUSSITE D'UNE BASE DE DONNEES

- Le niveau de confiance accordé à une base de données reste associé à la qualité de :
  - la structure des informations
  - la collecte des informations
  - l'accès délivré
  - la validation des informations
  - le traitement des informations
  
- La validation des données brutes et la sensibilisation de tous les acteurs conditionnent la réussite et la pérennisation de l'outil de traitement





## ■ Analyse Statistique (ou fréquentielle) :

- on calcule des moyennes de taux de défaillance
- on ignore la dispersion

↪ Risque d'aberrations dans le calcul final en cas de REX faible

↪ Risque d'être mathématiquement incorrect



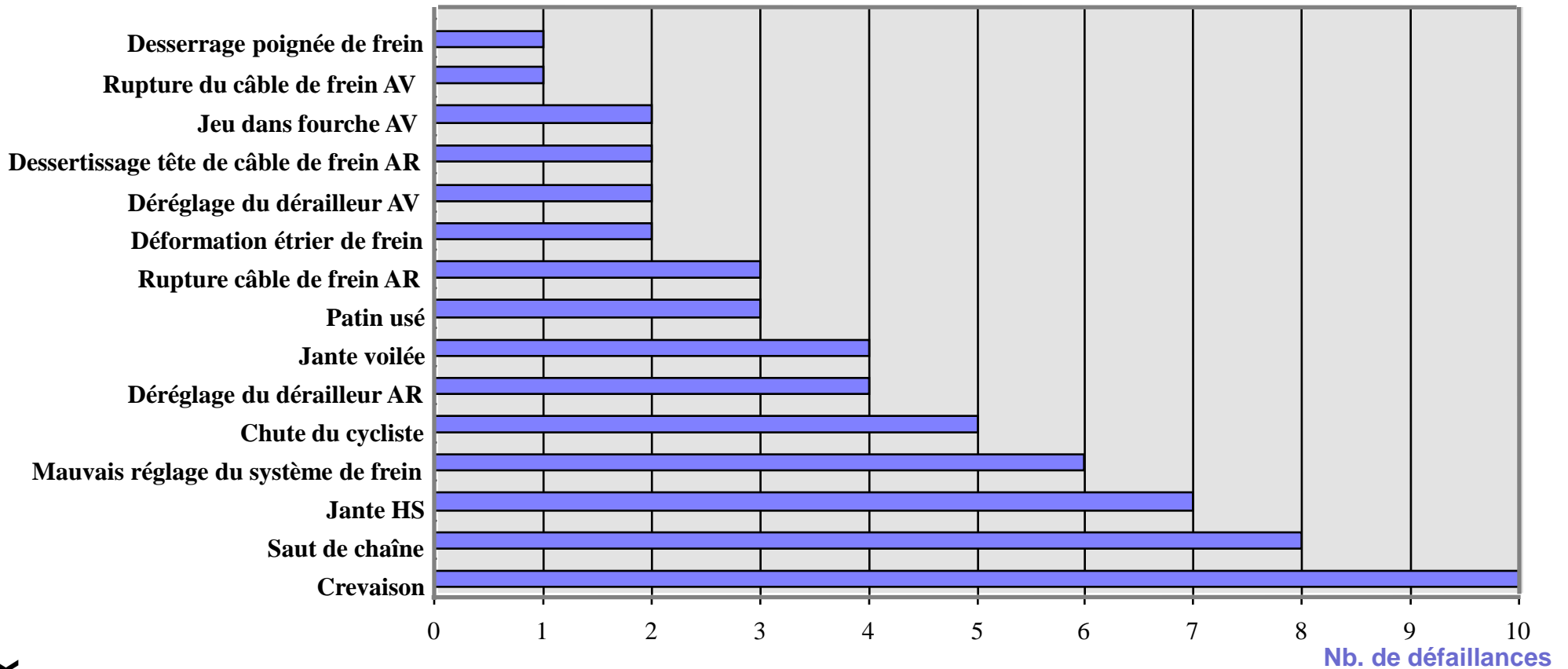
## ■ La démarche bayésienne est intéressante lorsque :

- les données de Retour d'EXpérience (REX) sont rares
- les données de REX sont “ perturbées ” par des modifications de conception, d'exploitation ou par la maintenance
- l'on souhaite réactualiser des estimations précédentes



## ■ EXEMPLE D'APPLICATION (VELO) : ANALYSE DU REX

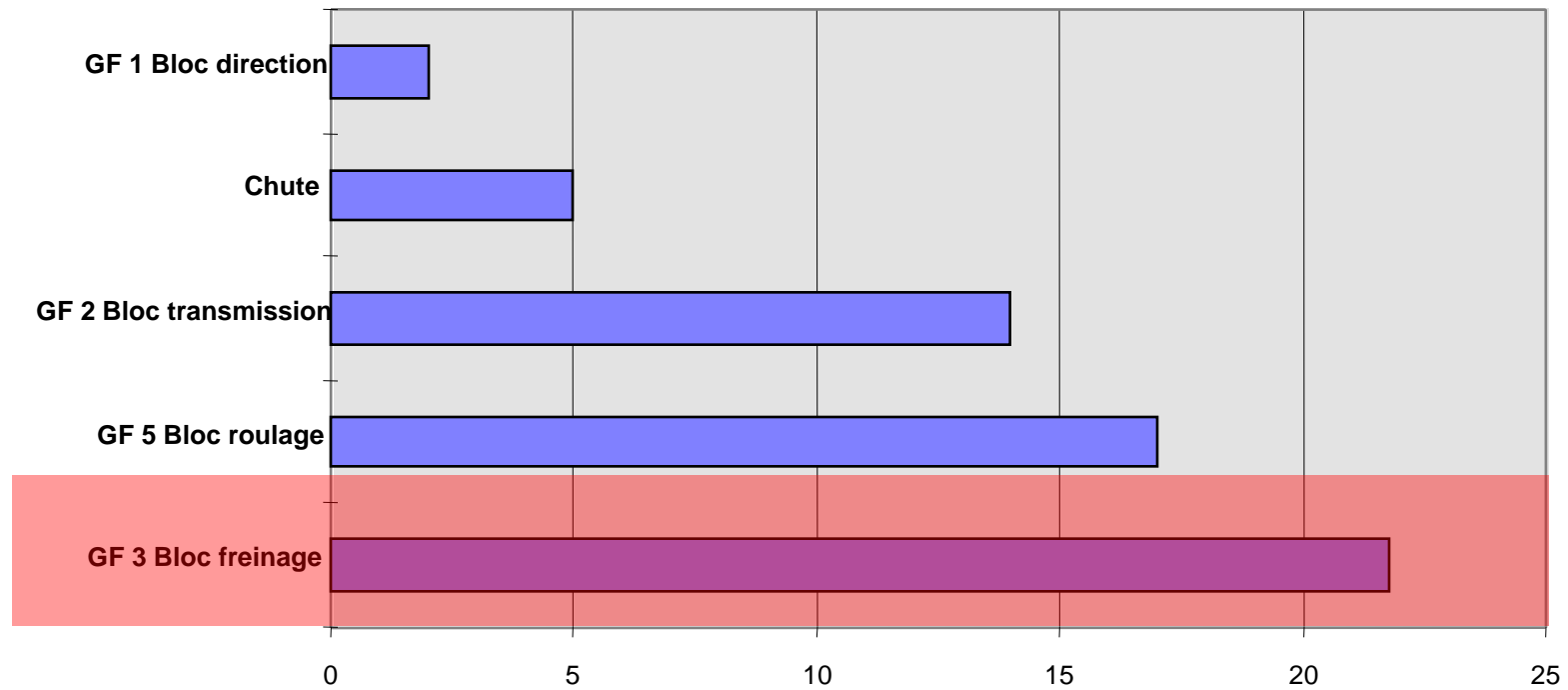
➔ Historique des incidents :



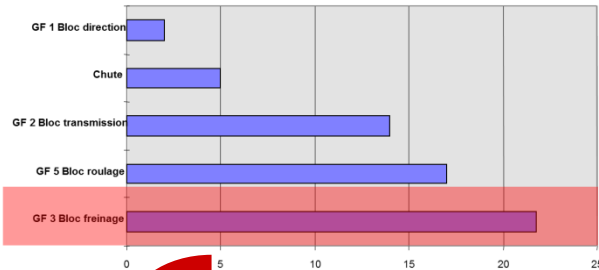
Nb. de défaillances



➔ Historique des incidents par GF



➔ Analyse du Groupement Fonctionnel 3



| GF  | Composant            | Nb. Déf. | Coût direct (euros) | Indispo. (minutes) |
|-----|----------------------|----------|---------------------|--------------------|
| GF3 | Câble de frein AV    | 1        | 22                  | 15                 |
|     | Câble de frein AR    | 3        | 25                  | 15                 |
|     | Tête de câble AR     | 2        | 5                   | 5                  |
|     | Etrier de frein      | 2        | 50                  | 30                 |
|     | Poignée de frein     | 1        | 35                  | 5                  |
|     | patin                | 3        | 5                   | 5                  |
|     | Jante voilée         | 4        | 60                  | 30                 |
|     | Dérèglage du système | 6        | 5                   | 15                 |







# Tour d'horizon des méthodes d'optimisation de maintenance

Méthodes d'optimisation des plans de  
maintenance

**Analyse dysfonctionnelle**

## ■ COMMENT EVALUER LES CONSEQUENCES DES DYSFONCTIONNEMENTS DES MATERIELS ?

- Comment le système dysfonctionne ?
- Choix des méthodes (HAZOP, AMDEC,...) ?
- Evaluation des dysfonctionnements du système par leurs conséquences sur l'installation : A.M.D.E.(C)

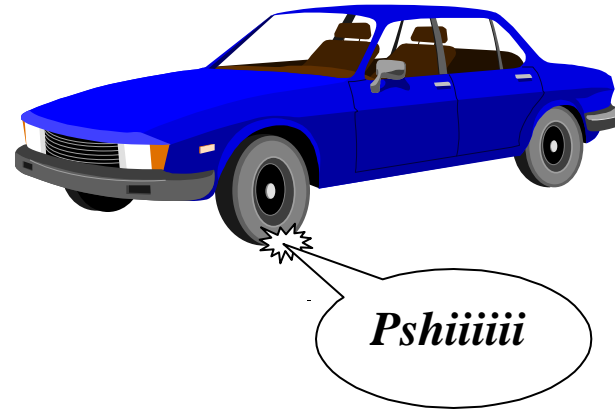
### ■ Pourquoi l'AMDEC ?

- ➔ Technique d'analyse **exhaustive et rigoureuse** de travail **en groupe**
- ➔ **Efficace par la mise en commun** de l'expérience et de la compétence de chaque participant du groupe de travail
- ➔ **Fait ressortir le besoin ou non de la mise en place de tâches** de maintenance préventive, le stock de pièces de rechange stratégique...



■ APPROCHE SYSTEME DES DYSFONCTIONNEMENTS

CONSTAT



QUOI ?  
MODE DE DEFAILLANCE

NIVEAU  
LOCAL  
(MATERIEL)



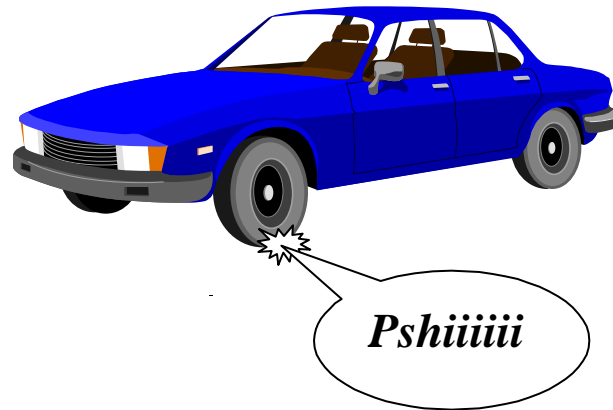
■ APPROCHE SYSTEME DES DYSFONCTIONNEMENTS

PHENOMENE PHYSIQUE



POURQUOI ?  
CAUSE

CONSTAT



QUOI ?  
MODE DE DEFAILLANCE

NIVEAU  
LOCAL  
(MATERIEL)



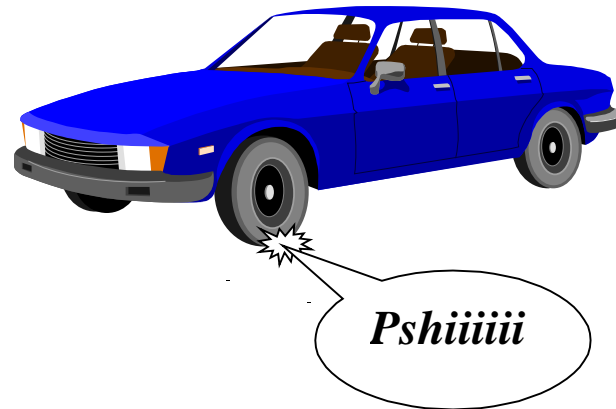
■ APPROCHE SYSTEME DES DYSFONCTIONNEMENTS

PHENOMENE PHYSIQUE



POURQUOI ?  
CAUSE

CONSTAT



QUOI ?  
MODE DE DEFAILLANCE

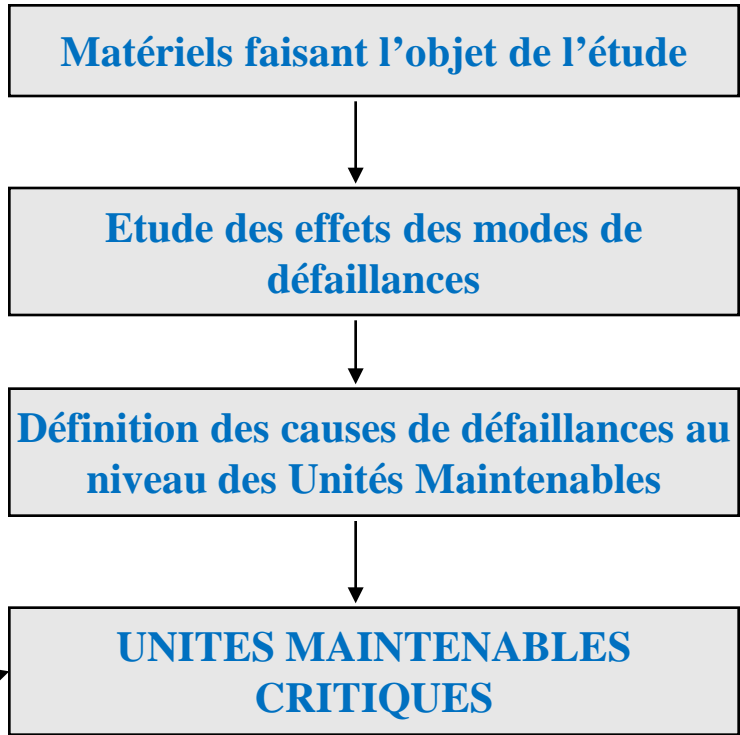
NIVEAU  
LOCAL  
(MATERIEL)

EFFET



NIVEAU  
GLOBAL  
(SYSTEME)





**Identification des gravités**

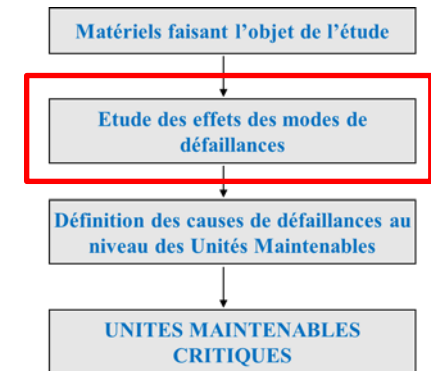
**Prise en compte de l'impact SECURITE**

**Retour d'expérience Qualitatif ou Quantitatif**

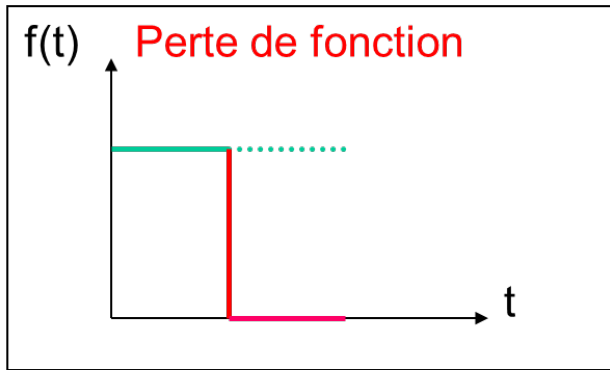
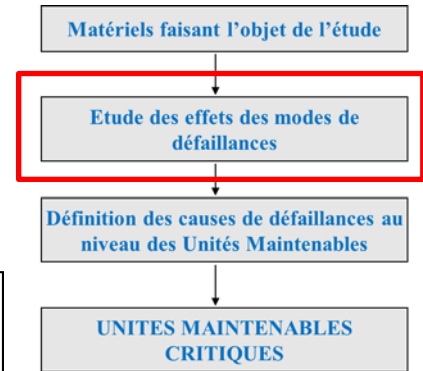
AMDEC

## ■ MODES DE DEFAILLANCES

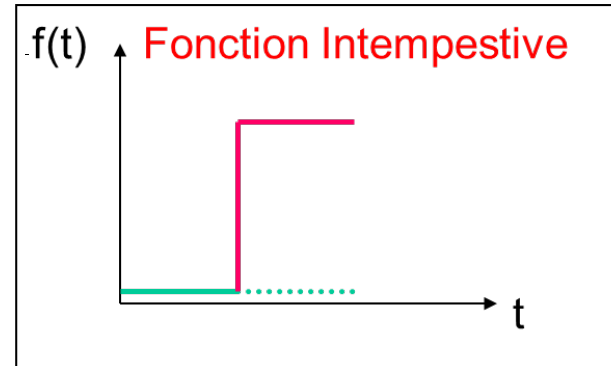
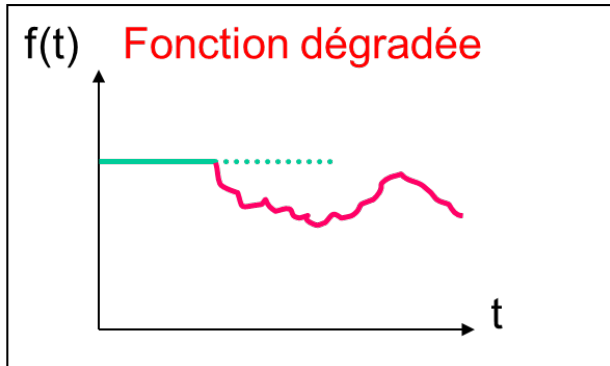
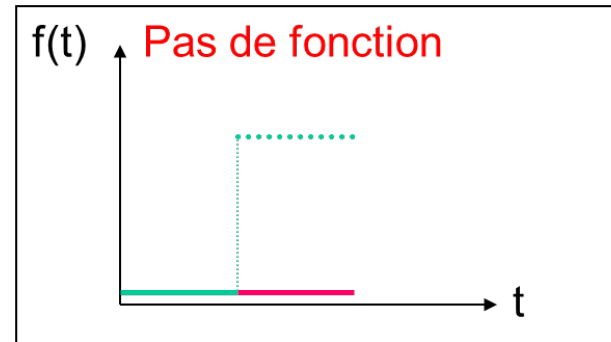
- ➔ Le mode de défaillance est la manifestation d'un dysfonctionnement par lequel on constate la perte ou le risque de perte d'une fonction d'un ensemble donné.
- ➔ Un mode de défaillance concerne le constat d'un dysfonctionnement et non pas son origine.



## ■ CLASSIFICATION DES MODES DE DEFAILLANCES



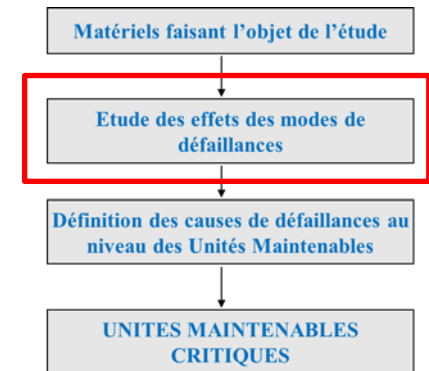
— Fonctionnement normal  
— Fonctionnement défaillant / dégradé





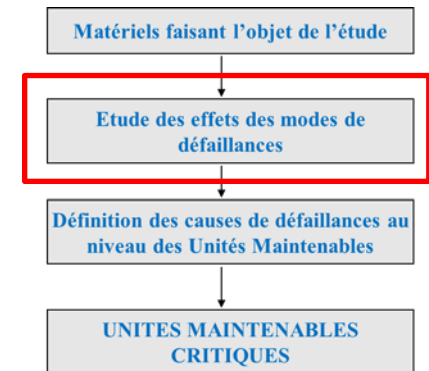
## ■ CLASSIFICATION DES CRITICITES EN FONCTION DES EFFETS

- Amplitude des dommages causés au système, à son environnement et/ou aux personnes
- Impacts des défaillances sur l'installation en termes de Sûreté de Fonctionnement, perte de production ou maintenance de l'installation.



## ■ Exemples d'effets / d'impacts

- Impact sur la sécurité des personnes
- Arrêt automatique de la production
- Non conformité du produit final
- Dégradation / destruction des matériels
- Impact sur l'environnement, pollution
- ...

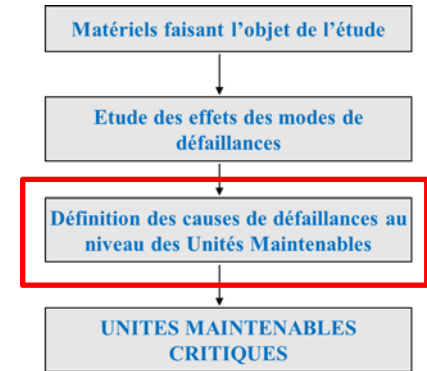


## ■ Couple Unité Maintenable / cause

Il faut se poser la question :

- ➔ Pour quelle(s) raison(s) le dysfonctionnement survient-il (quelles sont les causes du dysfonctionnement) ?

*Exemple :*



| Unité Maintenable            | Cause                            |
|------------------------------|----------------------------------|
| Bâche                        | Perforation, corrosion           |
| Flexible                     | Rupture, usure, raccord desserré |
| Filtre à huile               | Colmaté                          |
| Joints d'étanchéité de porte | Usure, cisaillement              |



■ **SELECTION DES MATERIELS CRITIQUES**

➔ **Considération sur les conséquences pour les scénarios**

Pour chaque UM/cause

Gravité



| Niveau de conséquence | Sécurité       | Production  | Coûts directs de maintenance |
|-----------------------|----------------|-------------|------------------------------|
| D                     | Catastrophique | TA > 4h     | Très élevés                  |
| C                     | Majeur         | TA > 1h     | Élevés                       |
| B                     | Significatif   | TA > 30 min | Moyens                       |
| A                     | Mineur         | TA < 30 min | Faibles                      |



## ■ SELECTION DES MATERIELS CRITIQUES

➔ Considération de la fréquence d'apparition

Fréquence

| Niveau de fréquence | Quantitatif                             | Qualitatif              |
|---------------------|---|-------------------------|
| 4                   | $1 \text{ an} > F$                      | Fréquent                |
| 3                   | $1 \text{ an} \leq F < 3 \text{ ans}$   | Peu Fréquent            |
| 2                   | $3 \text{ ans} \leq F < 10 \text{ ans}$ | Très Peu Fréquent       |
| 1                   | $F \geq 10 \text{ ans}$                 | Pratiquement impossible |



■ Matrice de sélection des matériels sensibles

|                |          |                  |          |          |          |
|----------------|----------|------------------|----------|----------|----------|
| <b>Gravité</b> | <b>D</b> |                  |          |          |          |
|                | <b>C</b> |                  |          |          |          |
|                | <b>B</b> |                  |          |          |          |
|                | <b>A</b> |                  |          |          |          |
|                |          | <b>1</b>         | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
|                |          | <b>Fréquence</b> |          |          |          |

|                     |                       |                 |
|---------------------|-----------------------|-----------------|
|                     |                       |                 |
| <b>Non Critique</b> | <b>Avis d'Experts</b> | <b>Critique</b> |



## ■ AMDEC FONCTIONNELLE

Systeme :

Mission du systeme :

| Groupe Fonctionnel (Fonction) | Mode de Défaillance fonctionnel | D | Effet sur le système | Unité Maintainable (Cause) | G | F | C | MP | Observation |
|-------------------------------|---------------------------------|---|----------------------|----------------------------|---|---|---|----|-------------|
|                               |                                 |   |                      |                            |   |   |   |    |             |
|                               |                                 |   |                      |                            |   |   |   |    |             |
|                               |                                 |   |                      |                            |   |   |   |    |             |
|                               |                                 |   |                      |                            |   |   |   |    |             |

- G : Gravité
- D : Détection (évidente ou cachée)
- F : Fréquence de dégradation ou défaillance observée
- C : Criticité
- MP : Maintenance Préventive existante ou non





# Tour d'horizon des méthodes d'optimisation de maintenance

Méthodes d'optimisation des plans de  
maintenance

**Sélection des tâches de  
maintenance**



## ■ ORIENTATION DES CHOIX DE MAINTENANCE

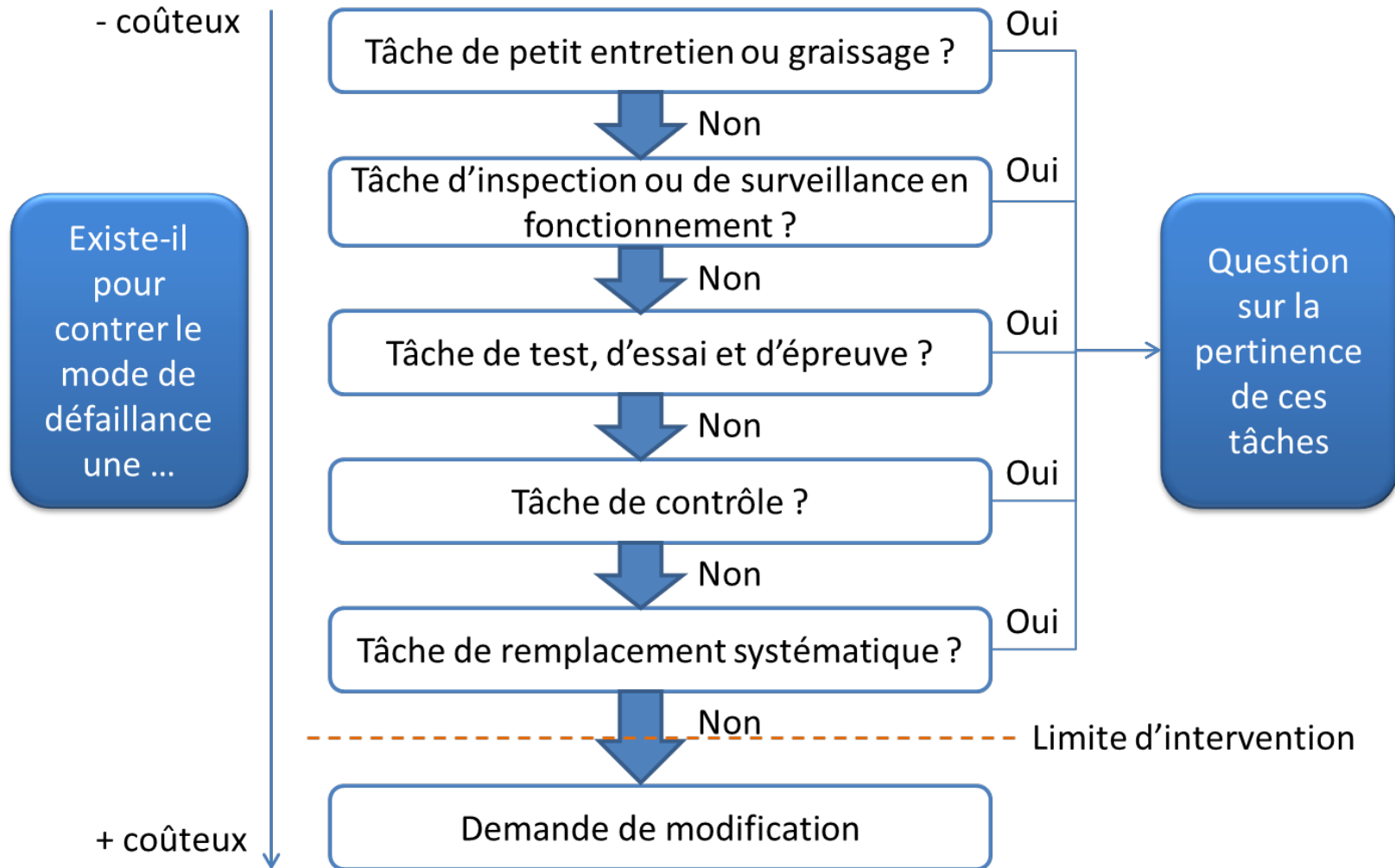
- Définition d'une stratégie de maintenance en fonction de la criticité
- Estimation de l'évolution des programmes de maintenance préventive en fonction des éléments du retour d'expérience
- Identification des classes de défaillance suivant l'application de programmes de maintenance préventive

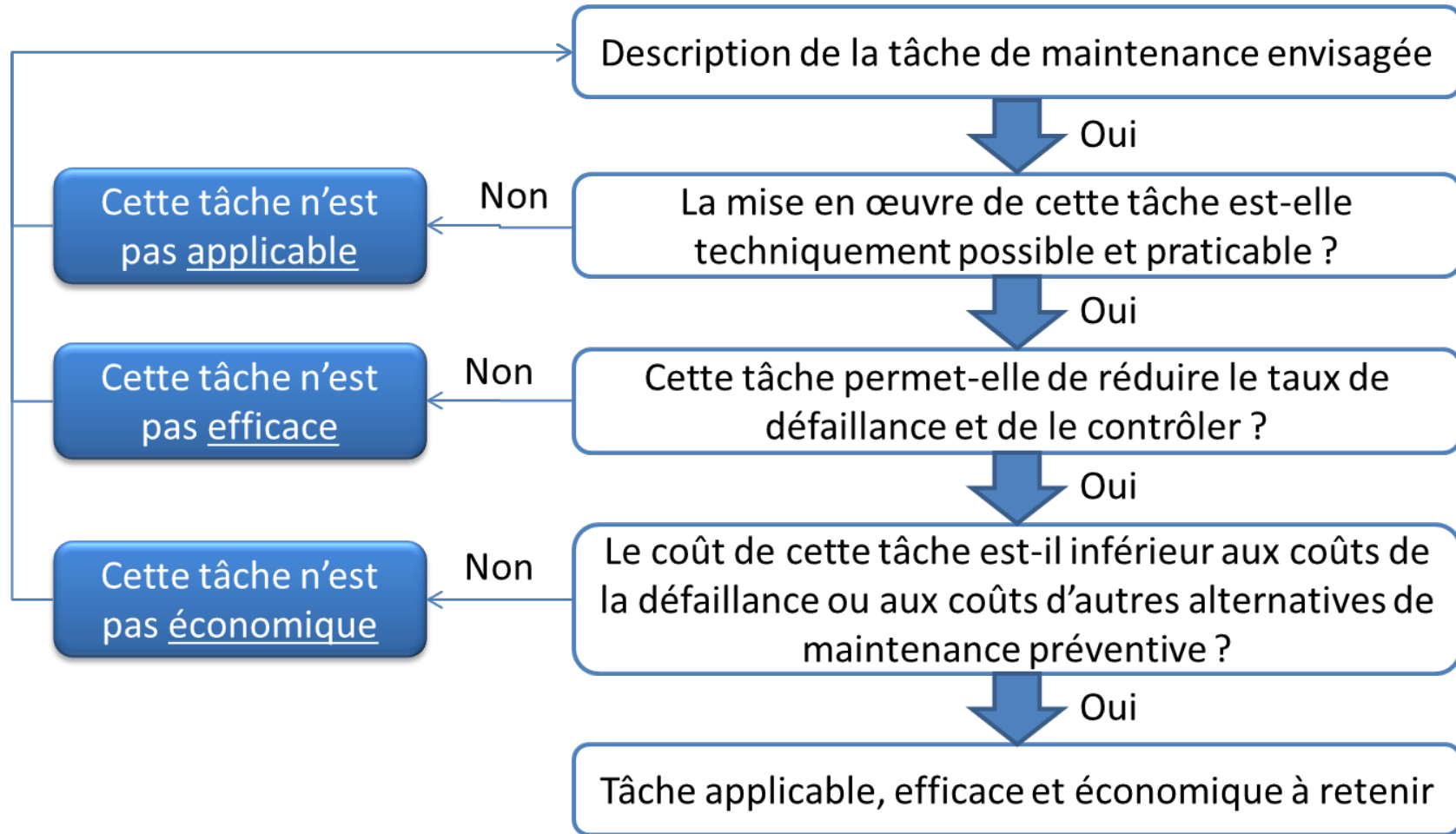


| Criticité | Maintenance Préventive actuelle | Orientation générale  |
|-----------|---------------------------------|---|
| C *       | Oui                             | Vérifier la pertinence de la maintenance. Adapter les tâches aux causes identifiées ou générer une modification matérielle ou identifier des actions permettant de diminuer la gravité  |
| C *       | Non                             | Évaluer l'opportunité d'ajouter des tâches de maintenance pour diminuer la criticité ou générer une modification matérielle ou identifier des actions permettant de diminuer la gravité |
| NC        | Oui                             | Vérifier l'efficacité de la maintenance sur la criticité. Adapter les tâches aux causes identifiées (soit maintien, soit allègement de la périodicité)                                  |
| NC        | Non                             | Pas d'évolution à prévoir   |

L' « \* » permet de se rappeler que la criticité est due soit plus à G (Gravité) soit plus à F (fréquence) et donc va guider la réflexion des « orientations » et idées à proposer en regardant l'« efficacité » de la proposition faite sur la G ou sur la F







| Tâches existantes<br>(R si réglementaire) | Périod. | Causes contrées | Tâche applicable | Tâche efficace<br>au vu du REX | Existe-il une autre<br>tâche plus ou aussi<br>efficace mais plus<br>économique ? | Tâches proposées | Périod. |
|---|---------|-----------------|------------------|--------------------------------|--|------------------|---------|
|   |         |                 |                  |                                |  |                  |         |
|   |         |                 |                  |                                |  |                  |         |
|   |         |                 |                  |                                |  |                  |         |
|   |         |                 |                  |                                |  |                  |         |
|   |         |                 |                  |                                |  |                  |         |
|   |         |                 |                  |                                |  |                  |         |
|   |         |                 |                  |                                |  |                  |         |



## ■ BILAN QUALITATIF : RECENTRAGE

- Suppression des tâches
- Ajout de tâches
- Détente de périodicité
- Resserrage de périodicité
- Maintien des tâches de maintenance
- Etudes complémentaires
- Modification(s) envisagée(s)



Par ex.  
vanne  
s

Par ex.  
pompes

Par ex.  
relais

■ ESTIMATION D'OPTIMISATION QUALITATIVE

Exemple: façon de présenter les résultats de l'optimisation avant/après

| NATURE DES PROPOSITIONS           | FAMILLE DE MATERIEL |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|
|                                   | XX                  | ZZ | YY | AA | BR | OO | LL | MM |
| Détente de périodicité des tâches | 7                   | 20 | 1  | 1  |    | 1  |    |    |
| Suppression des tâches            | 1                   | 2  |    |    | 6  | 1  | 2  |    |
| Ajout des tâches                  |                     | 1  | 1  |    | 2  |    |    |    |
| Allègement des tâches             | 2                   |    |    |    |    |    |    |    |
| Maintien des tâches               |                     |    | 5  | 1  |    | 3  | 1  | 3  |
| En attente des études en cours    |                     |    |    |    |    |    |    |    |
| Etude complémentaire préconisée   |                     | 1  |    |    |    |    |    |    |
| Modification préconisée           | 1                   | 1  |    |    |    |    |    | 1  |



**■ EXEMPLE D'ÉVALUATION FINALE**

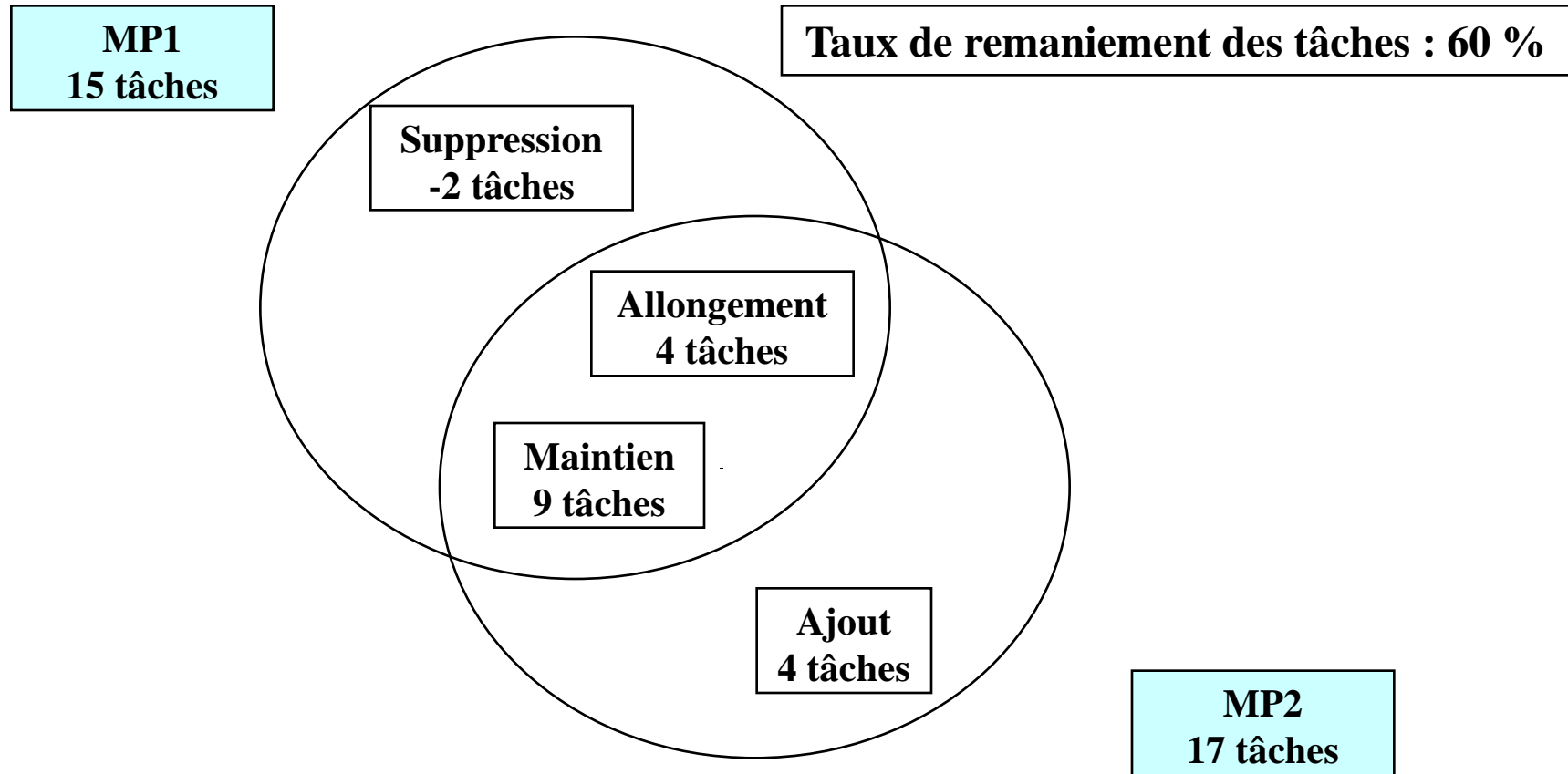
| <b>EVOLUTION</b>   | <b>TACHES IMPLIQUEES</b> | <b>GAINS HOMME . HEURE</b> |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>Ajout</b>       | <b>4 Tâches</b>          | <b>+ 5,5</b>               |
| <b>Maintien</b>    | <b>9 Tâches</b>          |                            |
| <b>Allongement</b> | <b>4 Tâches</b>          | <b>- 72,5</b>              |
| <b>Suppression</b> | <b>2 Tâches</b>          | <b>- 256</b>               |
| <b>TOTAL</b>       |                          | <b>- 323</b>               |

**- 323 Hommes . heures par an**





■ TAUX DE REMANIEMENT DES TACHES



■ EXEMPLE D'APPLICATION (VELO) : AMDEC ET STM

➔ Elaboration de la matrice de criticité

| Libellé | Nb de défaillances |
|---------|--------------------|
| 4       | $\geq 5$           |
| 3       | $3 \leq f \leq 4$  |
| 2       | $1 \leq f \leq 2$  |
| 1       | 0                  |

| Libellé | GP (min)         |
|---------|------------------|
| D       | $I \geq 60$      |
| C       | $30 \leq I < 60$ |
| B       | $15 \leq I < 30$ |
| A       | $I < 15$         |

| Libellé | GM (€)           |
|---------|------------------|
| D       | $C \geq 40$      |
| C       | $20 \leq C < 40$ |
| B       | $5 \leq C < 20$  |
| A       | $C < 5$          |

|   |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|
| 4 | AT | C  | C  | C  |
| 3 | NC | AT | C  | C  |
| 2 | NC | NC | AT | C  |
| 1 | NC | NC | NC | AT |
|   | A  | B  | C  | D  |

C Critique  
 NC Non Critique  
 AT Avis Technique



## ➔ Réalisation de l'AMDEC

**Système : Le vélo**

**Mission du système : “ Déplacer en sécurité le cycliste le plus rapidement possible pour que l'équipe gagne la course ”**

| Groupe Fonctionnel<br>(Fonction)                                  | Mode de Défaillance fonctionnel                     | Effet sur le système  | Causes   | S&E | Gravité               |                       | D                     | Fréq.<br>obs          | Criticité                           | Prév                  | Observations |
|---|---|---|--|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------|
|   |   |   |  |     | GM                    | GP                    |                       |                       |                                     |                       |              |
| GF 3<br>Freiner le mouvement des roues pour ralentir ou s'arrêter | Freinage dégradé (Perte d'un frein sur les deux)    | Grosse difficulté pour le cycliste de ralentir ou d'arrêter le déplacement  | Câble de frein AV (rupture)<br>Câble de frein AR (rupture)<br>Têtes de câbles (dessertissage)          | Oui | C<br>C<br>B           | B<br>B<br>A           | E<br>E<br>E           | 2<br>3<br>2           | CS<br>CS;CP.CM<br>CS                | O<br>O<br>O           |              |
|   | Freinage dégradé (Freinage mou d'un frein sur deux) | Difficulté pour le cycliste de ralentir ou d'arrêter le déplacement (A terme, peut entraîner la perte de la fonction) | Câbles (grippage)<br>Jante (voilage)<br>Patins (usure)<br>Poignée (desserrage)<br>Etrier (déformation) | Non | D<br>D<br>A<br>C<br>D | D<br>C<br>A<br>A<br>C | E<br>E<br>E<br>E<br>E | 1<br>3<br>3<br>2<br>2 | CM;CP<br>CM;CP<br>NC<br>NC<br>CM;CP | N<br>O<br>O<br>O<br>N |              |

S&E= (impacts sur) Sécurité & Environnement  
 GM= Grave Maintenance → impacts économiques  
 GP= Grave Production → impacts disponibilité  
 D= Détection: E= Evidente  
 CS= Critique Sécu  
 CP= Critique Production  
 CM= Critique Maintenance  
 E = Evident (par opposition à « non évident »)



➔ Sélection des tâches de maintenance

❖ **Historique de la maintenance**

❖ Sur les vélos des séries précédentes, la maintenance du GF 3 portait sur des défaillances pertinentes mais mal identifiées. Les tâches de maintenance étaient les suivantes :

- Inspection visuelle du câble AV
- Inspection visuelle du câble AR
- Inspection visuelle des têtes de câbles
- Contrôle des fixations des poignées
- Contrôle de l'usure des patins
- Contrôle du voilage, centrage et axage de la roue



➔ Fiche de sélection des tâches de maintenance

Systeme : Le vélo

Mission du système : « Déplacer en sécurité le cycliste le plus rapidement possible pour que l'équipe gagne la course. »

Rappels de l'AMDEC :

| Groupe Fonctionnel (Fonction)                                     | Mode de Défaillance fonctionnel                   | Effet sur le système   | Causes                        | S&E | Gravité |    | D | Fréq. obs | Criticité | Prév | Observations |              |
|---|---|--|-------------------------------|-----|---------|----|---|-----------|-----------|------|--------------|--------------|
|   |   |  |                               |     | GM      | GP |   |           |           |      |              |              |
| GF 3<br>Freiner le mouvement des roues pour ralentir ou s'arrêter | Fonction dégradée (Perte d'un frein sur les deux) | Grosse difficulté pour le cycliste de ralentir ou d'arrêter le déplacement | Câble de frein AV (rupture)   | Oui | C       | B  | E | 2         | CS        | O    |              |              |
|   |   |  | Câble de frein AR (rupture)   |     | C       | B  |   | 3         |           |      |              | CS ; CP ; CM |
|   |   |  | Tête de câble (dessertissage) |     | B       | A  |   | 2         |           |      |              | CS           |

| Types de tâches                              | Libellé des tâches proposées (* tâches existantes) | Périodicité                             | A | E | R | Observations |
|--|--|---|---|---|---|--------------|
| Petit entretien                              |  |   |   |   |   |              |
| Inspection ou surveillance en fonctionnement | Inspection visuelle du câble AV*                   | A chaque fin d'étape                    | O | N | N |              |
|  | Inspection visuelle du câble AR*                   |   | O | N | N |              |
|  | Inspection visuelle des têtes de câbles*           | A chaque étape / toutes les deux étapes | O | O | O |              |
| Test, essai ou épreuve                       |  |   |   |   |   |              |
| Contrôle ou visite interne                   |  |   |   |   |   |              |
| Remplacement systématique                    | Remplacement systématique des câbles AV et AR      | Toutes les deux étapes                  | O | ? | ? |              |
| Modification                                 | Changement de type de câble AR                     |   |   |   |   |              |

A= Applicable  
E= Efficace/Economique  
R=Retenu



➔ Fiche de sélection des tâches de maintenance

| Groupe Fonctionnel (Fonction)                                     | Mode de Défaillance fonctionnel                         | Effet sur le système  | Causes               | S&E | Gravité |    | D | Fréq. obs | Criticité | Prév | Observations |
|---|---|---|----------------------|-----|---------|----|---|-----------|-----------|------|--------------|
|   |   |   |                      |     | GM      | GP |   |           |           |      |              |
| GF 3<br>Freiner le mouvement des roues pour ralentir ou s'arrêter | Freinage dégradé (Freinage mou d'un frein sur les deux) | Difficulté pour le cycliste de ralentir ou d'arrêter le déplacement (A terme, peut entraîner la perte de la fonction) | Câbles (grippage)    | Non | D       | D  | E | 1         | CM;CP     | N    |              |
|   |   |   | Jante (voilage)      |     | D       | C  |   | 3         | CM;CP     | O    |              |
|   |   |   | Patins (usure)       |     | A       | A  |   | 3         | NC        | O    |              |
|   |   |   | Poignée (desserrage) |     | C       | A  |   | 2         | NC        | O    |              |
|   |   |   | Etrier (déformation) |     | D       | C  |   | 2         | CM;CP     | N    |              |

| Types de tâches                              | Libellé des tâches proposées (* tâches existantes) | Périodicité                                   | A | E | R | Observations                      |
|--|--|---|---|---|---|-----------------------------------|
| Petit entretien                              | Graisser les câbles si non gras                    | A toutes les étapes                           | O | O | O |                                   |
| Inspection ou surveillance en fonctionnement |  |   |   |   |   |                                   |
| Test, essai ou épreuve                       |  |   |   |   |   |                                   |
| Contrôle ou visite interne                   | Contrôle des fixations des poignées*               | A chaque fin d'étape                          | O | N | N | Le REX est extérieur au phénomène |
|  | Contrôle de l'usure des patins*                    | A chaque fin d'étape / toutes les deux étapes | O | O | O |                                   |
|  | Contrôle du voilage, centrage et axage de la roue* | A chaque fin d'étape                          | O | N | N |                                   |
| Remplacement systématique                    |  |   |   |   |   |                                   |
| Modification                                 | Modifier la conception des étriers                 |   |   |   |   |                                   |

A= Applicable  
E= Efficace/Economique  
R=Retenu





# Tour d'horizon des méthodes d'optimisation de maintenance

Limites et avantages OMF/MBF

- Ne rend pas plus fiable une installation qui n'en est pas capable (limite de fiabilité intrinsèque)
- Ne pallie pas les défauts de conception (mais les fait apparaître)
- N'organise pas physiquement l'activité de la maintenance (logistique, gestion stock PR . . .)
- Nécessite d'écrire de nouveau le plan de maintenance





- Minimiser les conséquences des défaillances critiques sur les équipements
- Ne plus considérer les défaillances dans l'absolu sans en évaluer les conséquences
- Réduire les pertes de production
- Mettre en évidence les carences de conception.

## Réduire les déperditions

**Alimenter le retour d'expérience** **INSA** INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES CENTRE VAL DE LOIRE



- Maitriser les coûts
- Maitriser les consommations de PR liées au préventif
- Assurer la pertinence de chaque tâche / au vécu
- Trouver le meilleur équilibre Curatif / Préventif
- Réduire la sur-maintenance et éviter la sous-maintenance
- Limiter “l’acharnement thérapeutique”

## Optimiser l’utilisation des ressources



- Associer l'exploitant aux décisions
- Proposer une répartition des tâches de maintien entre les acteurs
- Améliorer la connaissance technique et fonctionnelle des acteurs.

**Aboutir à l'appropriation par tous des incontournables tâches de maintien**

