

# LA MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS

Frederic FONTANE

16 Novembre 2016

# Pourquoi s'intéresser à la maintenance ?

## Croissance des enjeux autour des équipements :

1. Le Juste-a-Temps
2. Economie
3. Respect CDC - Sécurité
4. Service et perception client

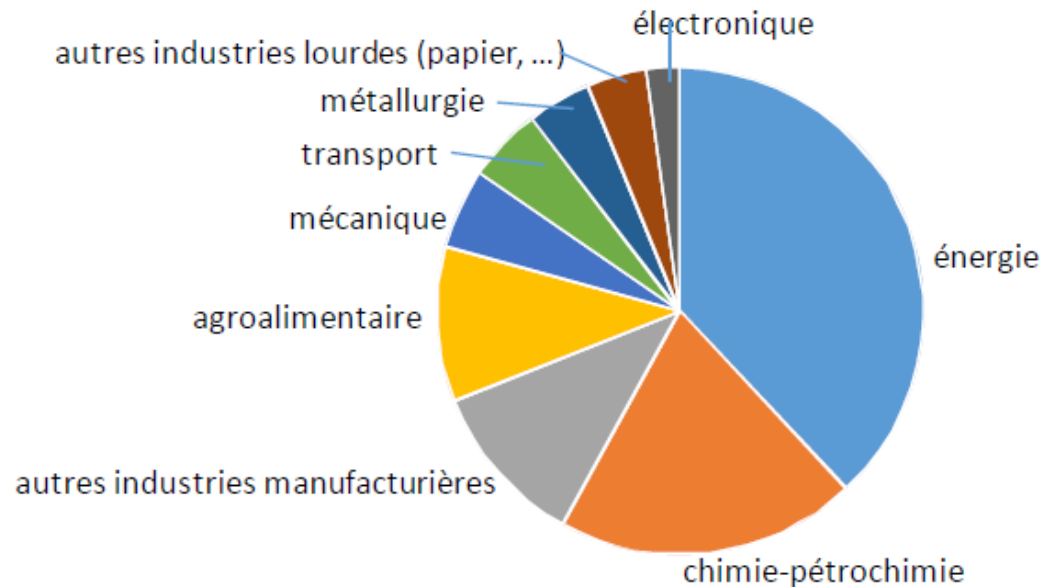
# Enjeux économiques de la maintenance

## Quelques chiffres ... (France-2014 -source AFIM)

Dépenses de maintenance dans l'industrie : **22 Mds €** dont **7,7 Mds €** sous-traités  
40% main d'œuvre interne, 34% sous-traitance, 24% pièces de rechange

Dépenses de maintenance dans l'immobilier tertiaire : **17,6 Mds** dont **13,2 €** sous-traités

430 000 emplois



# Enjeux économiques de la maintenance

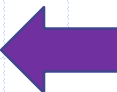


À EDF la maintenance des 58 réacteurs s'appuie sur :

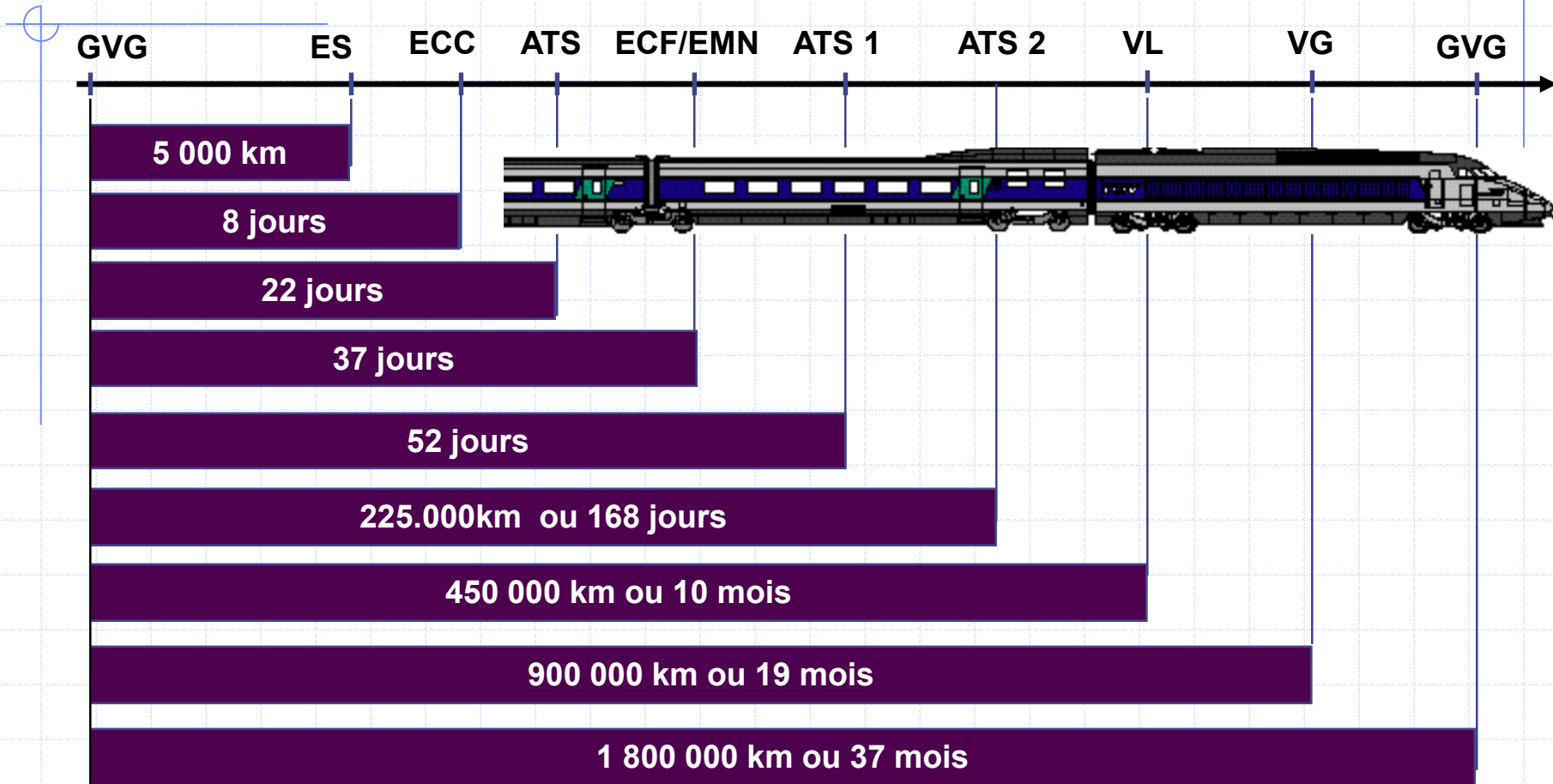
- 11 000 agents EDF,
  - 17 500 prestataires : 14 millions d'heures :
    - 50% Tranche en marche
    - 50% en Arrêt de tranche
- pour un montant global d'environ 820 M€

Le taux de sous-traitance est de 85% pendant les arrêts et de 40 % en dehors.

La maintenance représente environ 2,2 Milliards d'Euros par an



# Securite et respect du cahier des charges du constructeur

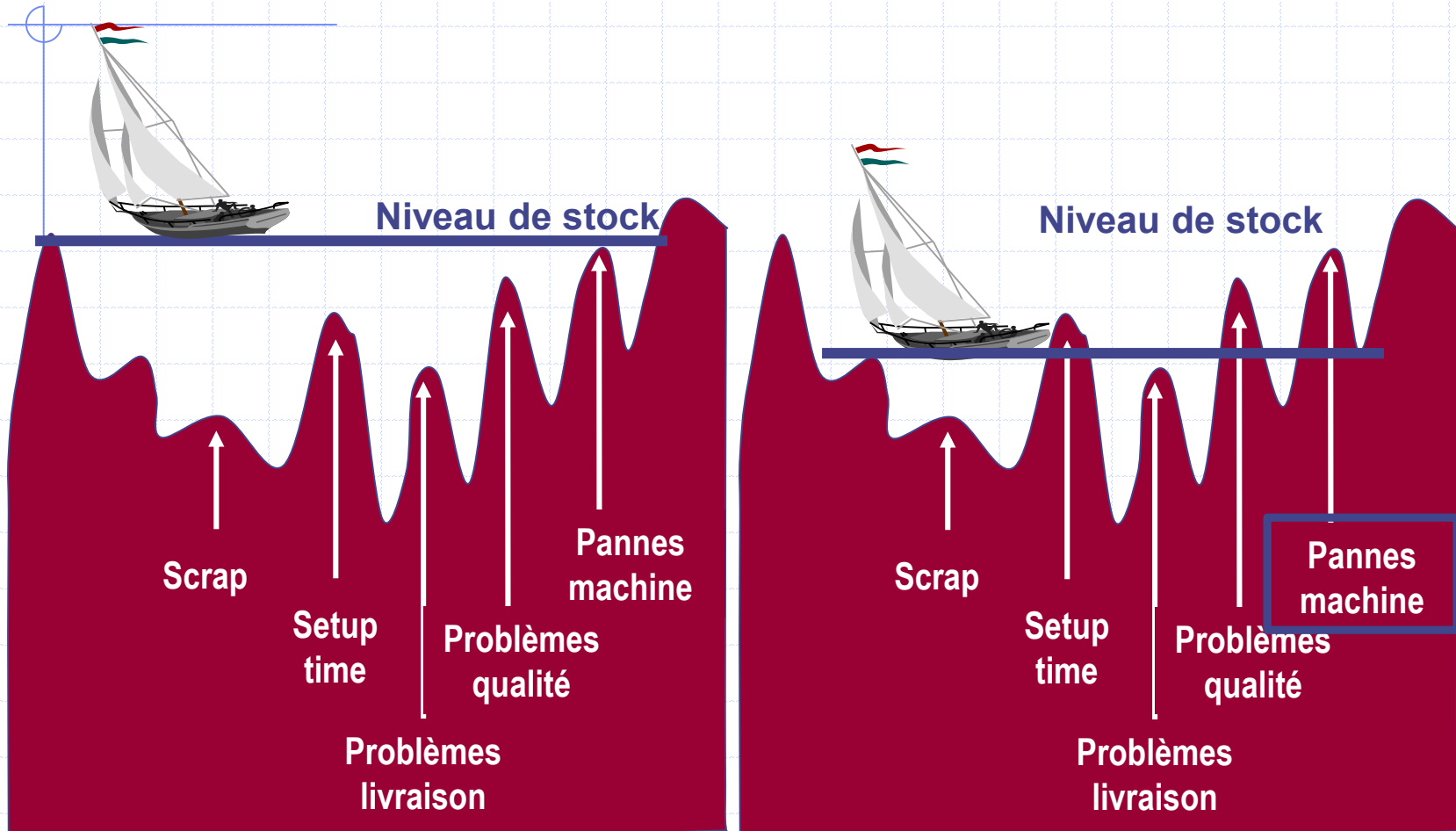


ES : examen de service  
ECC : examen confort client  
EMN: examen mécanique  
VL : visite limitée

VG : visite générale  
ATS : autres travaux systématiques  
GVG : grande visite générale  
**OP mi-vie : 15 ans modulable**



# Logique Juste a Temps





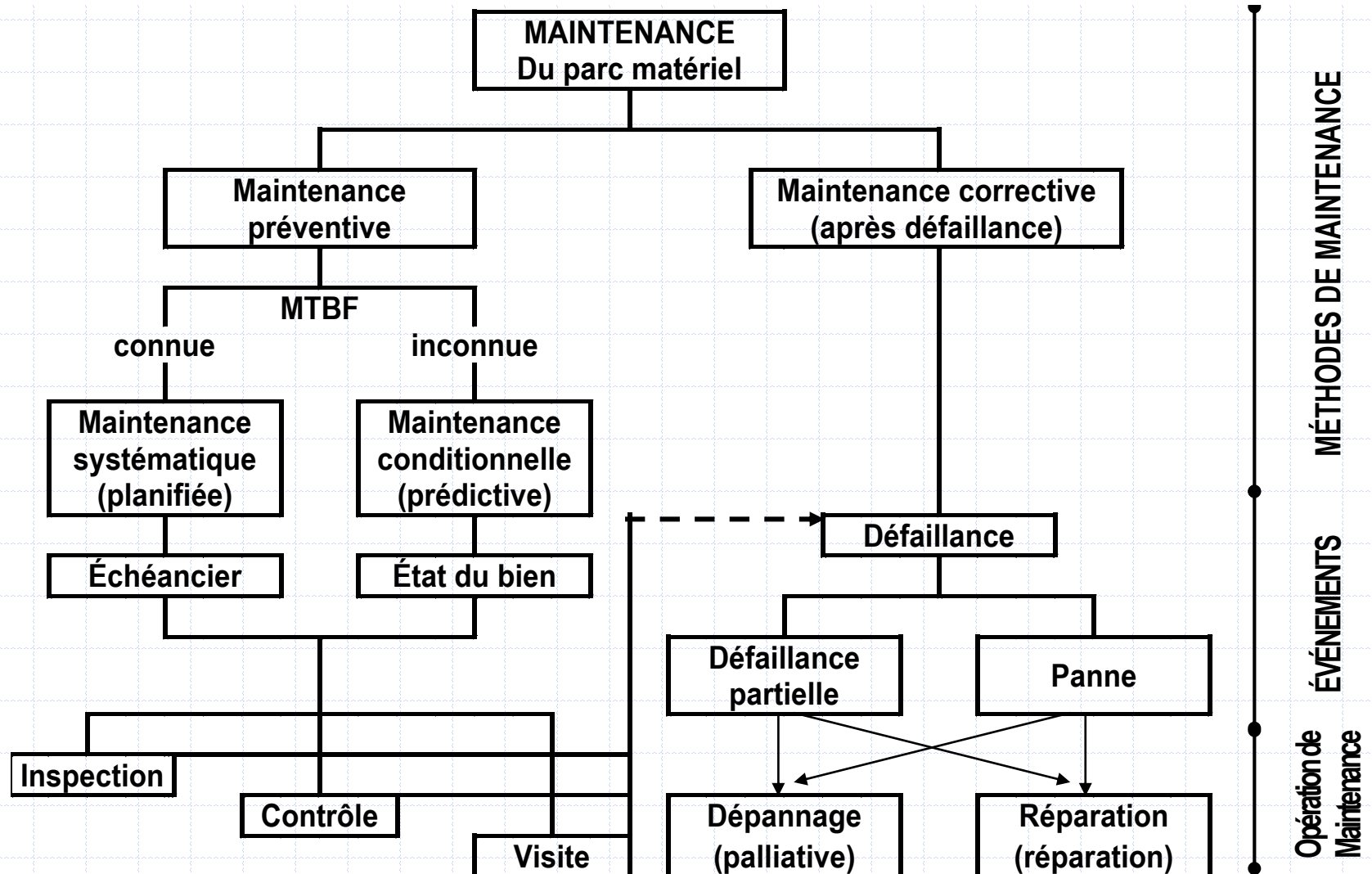


**Vous avez dit  
SERVICE !**



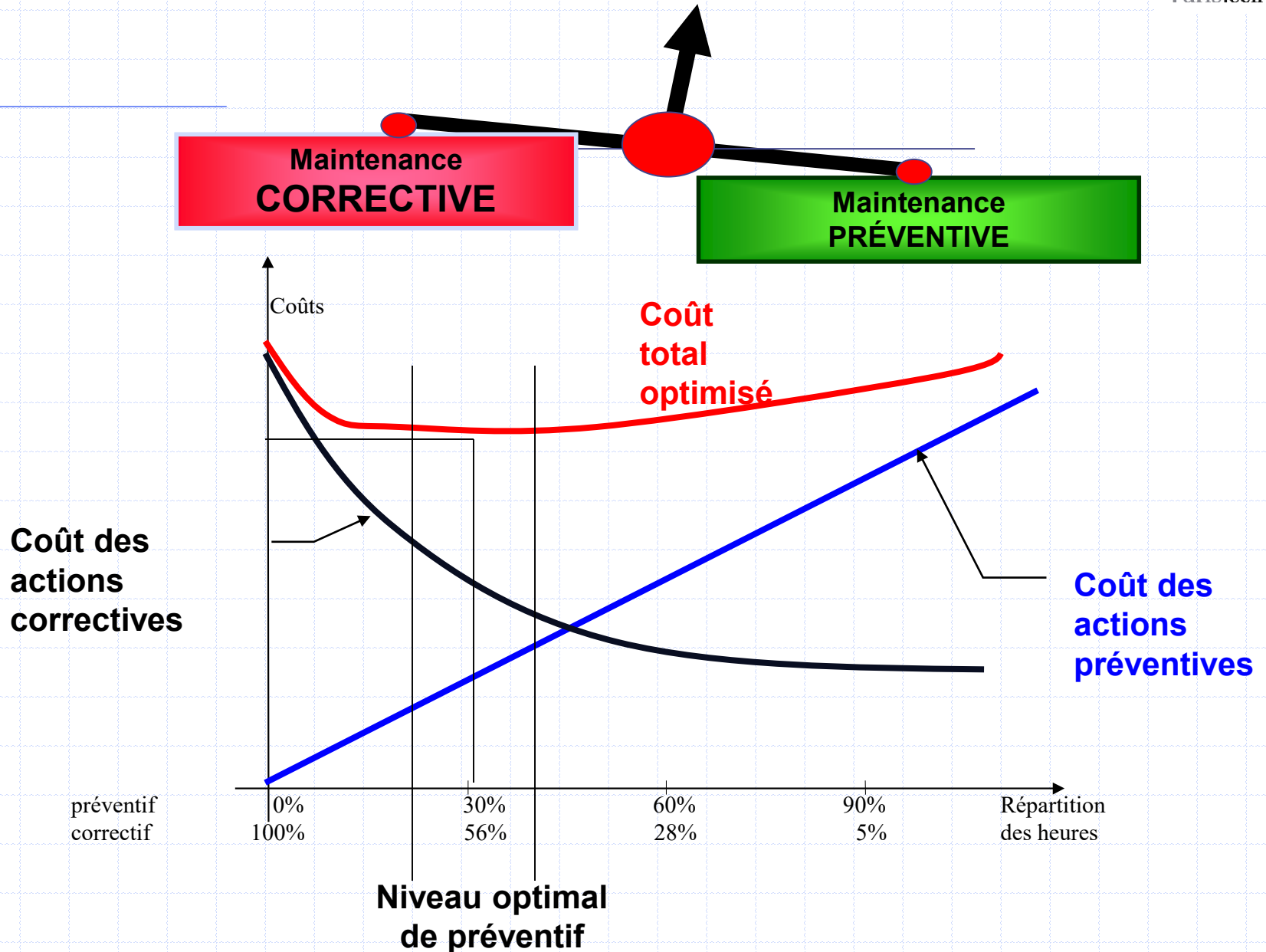
# Definition et typologie de la maintenance

La maintenance cherche à maintenir ou rétablir un bien (équipement) dans un état spécifique afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé.



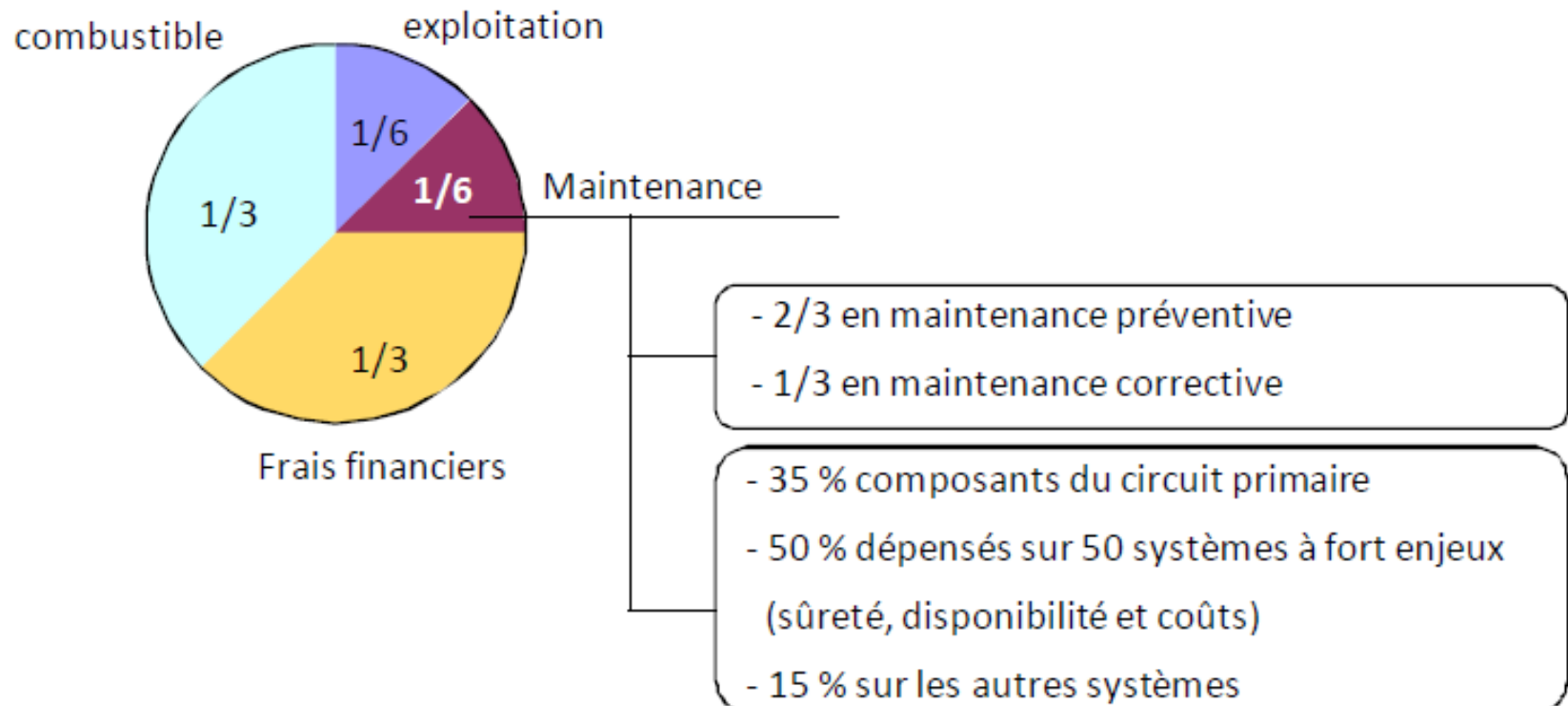


# Un compromis nécessaire

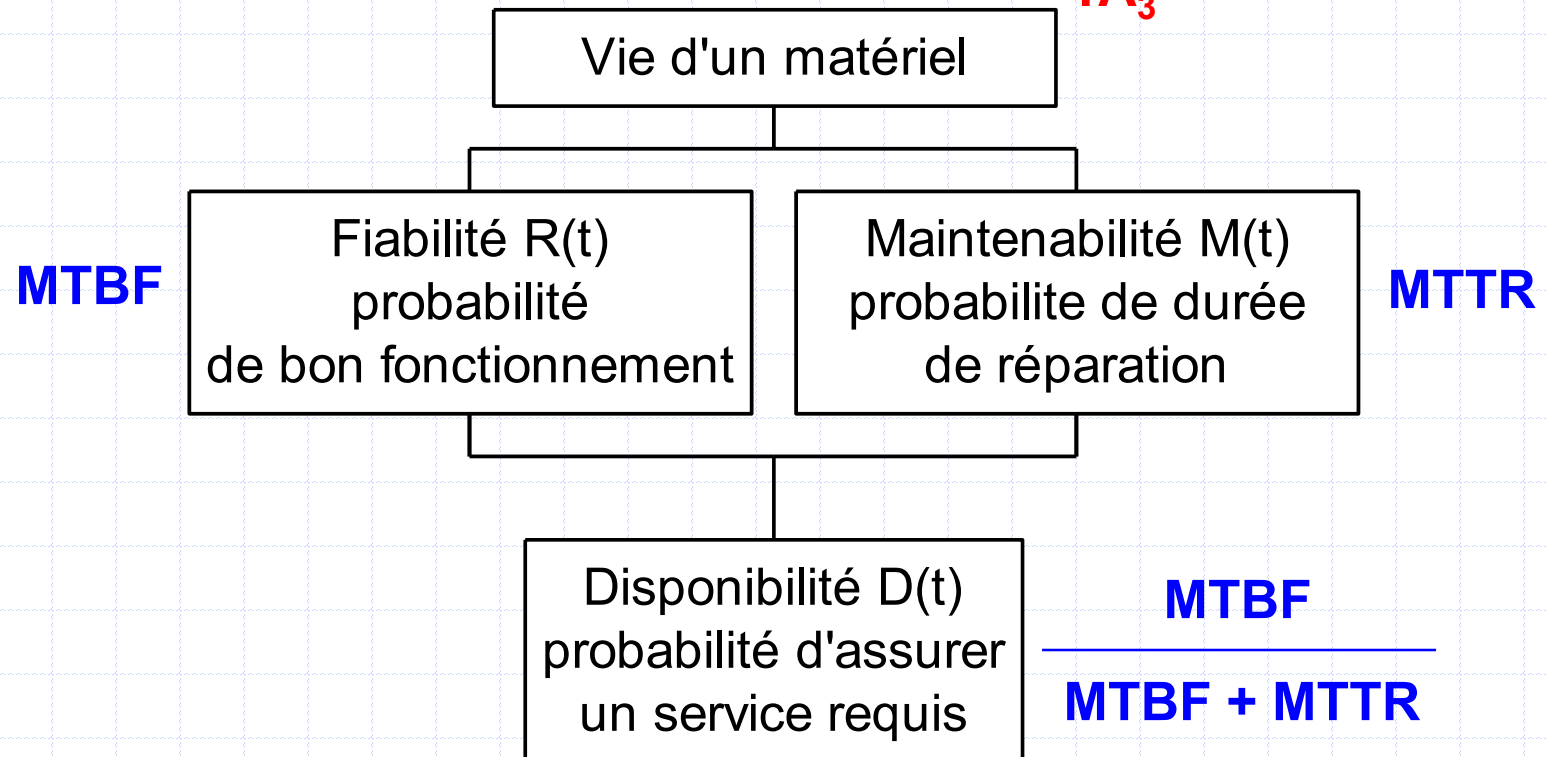
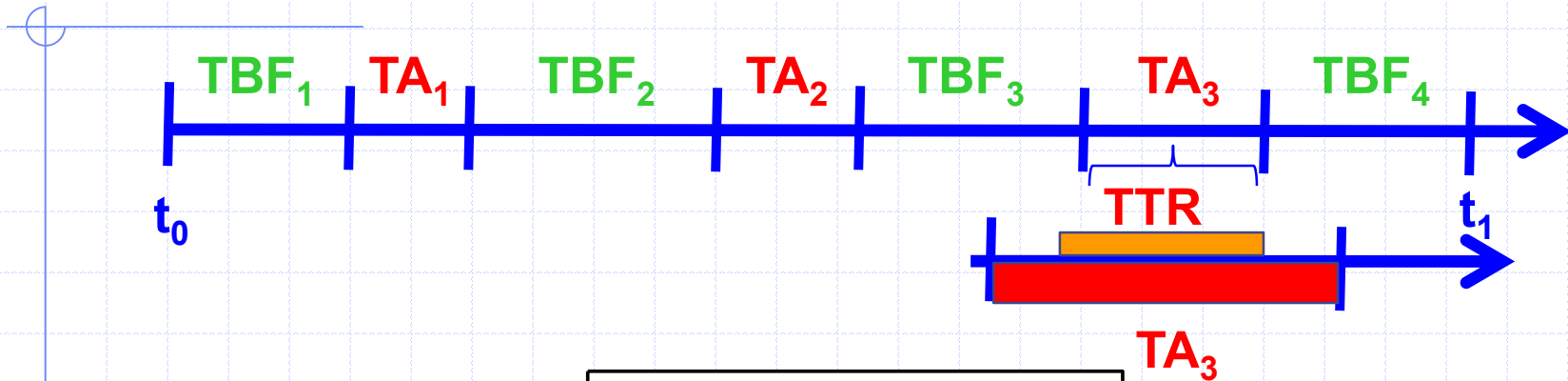


# Un compromis correctif-preventif... souvent dicté par les exigences de service

## répartition des coûts des centrales nucléaires



# Notion de fiabilité, maintenabilité et disponibilité



# Exemple

Le responsable de la maintenance d'une entreprise a le fichier historique d'un tour. Chaque tour est équipé d'un terminal de saisie des données de production. Ces données sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

N°	Défaillance	Cause	TBF en h.	Pièce de rechange	Coûts en €.	TTR en h.
1	Moteur	Electrique	80	Contacteur	300	2
2	Moteur	Electrique	40	Relais thermique	300	3
3	Broche	Mécanique	50	Courroie	150	2
4	Broche	Mécanique	100	Roulement	200	8
5	Avance	Electrique	60	Pignon	300	5
6	Avance	Electrique	40	Relais	150	2
7	Lubrification	Mécanique	20	Moteur	600	3
8	Lubrification	Hydraulique	5	Pignon	100	4
9	Lubrification	Hydraulique	10	Filtre	100	3
10	Lubrification	Hydraulique	20	Réservoir	0	1.25

**Total TBF =  $\Sigma$  TBF = 425 h.**

**Total TTR =  $\Sigma$  TTR = 33,25 h.**

**MTBF =  $\Sigma$  TBF / nb de défaillances = 425 / 10 = 42,5 h.**

**MTTR =  $\Sigma$  TTR / nb de défaillances = 33,25 / 10 = 3,325 h**

**D = MTBF / (MTBF + MTTR) = 42,5 / (42,5 + 3,325) = 0,927**

**D = 92,7 %**

# La disponibilite

- ❑ La disponibilite c'est la proportion du temps pendant laquelle le systeme fonctionne correctement
- ❑ Mesuree par la duree entre les pannes et par la rapidite de reprise de service. Indicateur a contextualiser !

❑ Disponibilite	Temps d'arret
❑ 90%	36.5 jours/annee
❑ 99%	3.65 jours/annee
❑ 99.9%	8.76 heures/annee
❑ 99.99%	52 minutes/annee
❑ 99.999%	5 minutes/annee
❑ 99.9999%	31 secondes/annee



# Amelioration de la disponibilite

## □ En conception :

- Fiabilite : Modelisation des taux de defaillance, analyse MTBF des composants, architecture redondee, tolerance aux pannes,...
- Maintenabilite : MTTR (Mean Time To Replace) des organes, modularite, facilite d'accès aux organes a maintenir.
- Systemes embarques de diagnostic et de transmission de donnees. Signaux de prevention.

## □ En maintenance :

- AMDEC
- TPM
- ...

# L'AMDEC

- ❑ Analyse des **M**odes de **D**efaillance, de leurs **E**ffets leurs **C**riticite
- ❑ Origine : 1949 - armee americaine
- ❑ Analyse d'une machine, d'un produit, d'un fournisseur
  - QS 1988 : AMDEC pour auditer les fournisseurs

# L'AMDEC : une demarche a la fois qualitative et quantitative

## QUALITATIVE

- Decoupage Fonctionnel
- Analyse des Modes de Defaillances
- Analyse des Causes
- Analyse des Effets

## QUANTITATIVE

- Cotation des parametres (Frequence d'apparition , Gravite ....)
- Calcul de la criticite a partir de ces parametres
- Mesure des resultats

# Une demarche en 4 etapes

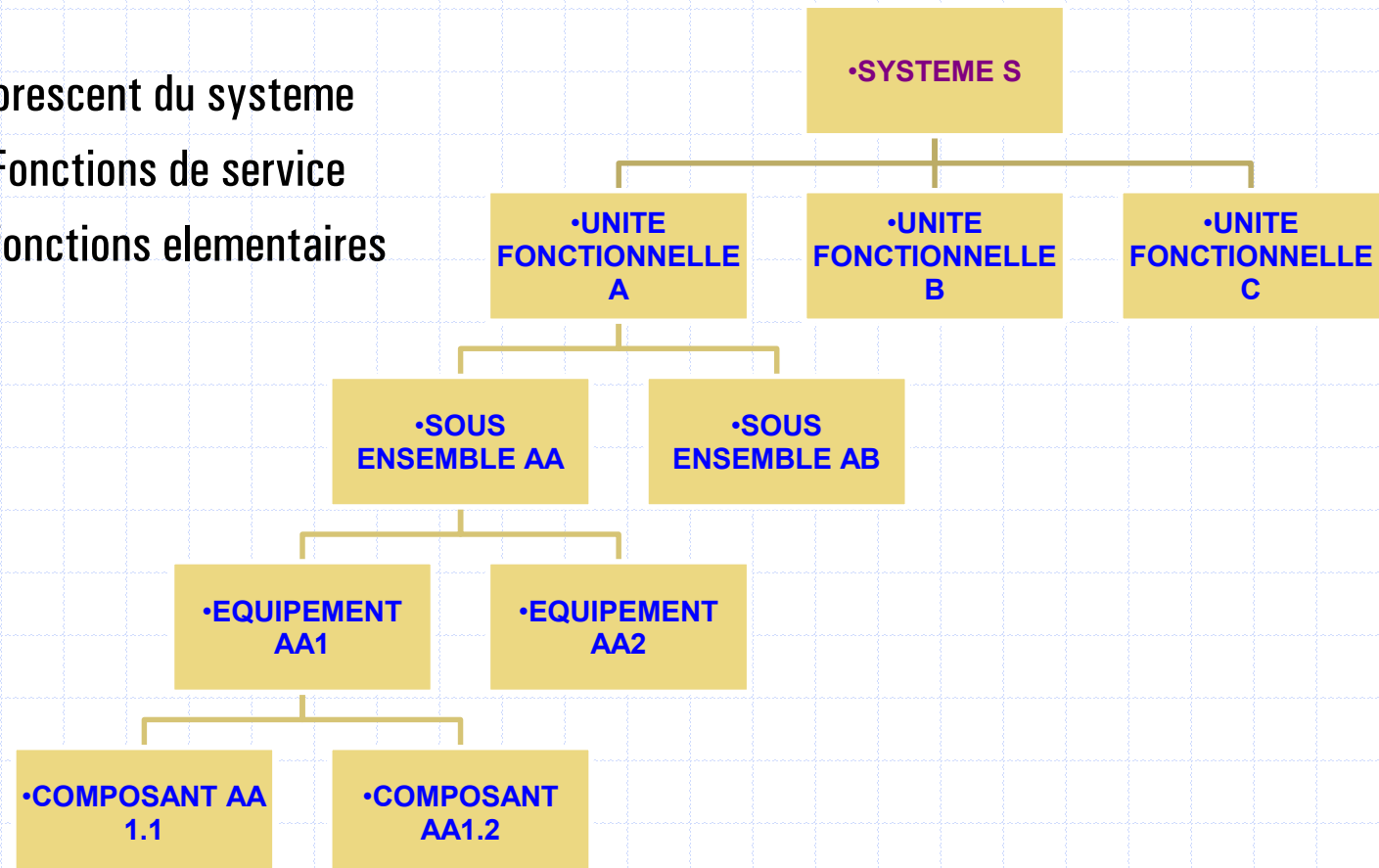
ETAPE 1 : INITIALISATION DE L'ETUDE

ETAPE 2 : DECOMPOSITION FONCTIONNELLE  
D'UN SYSTEME

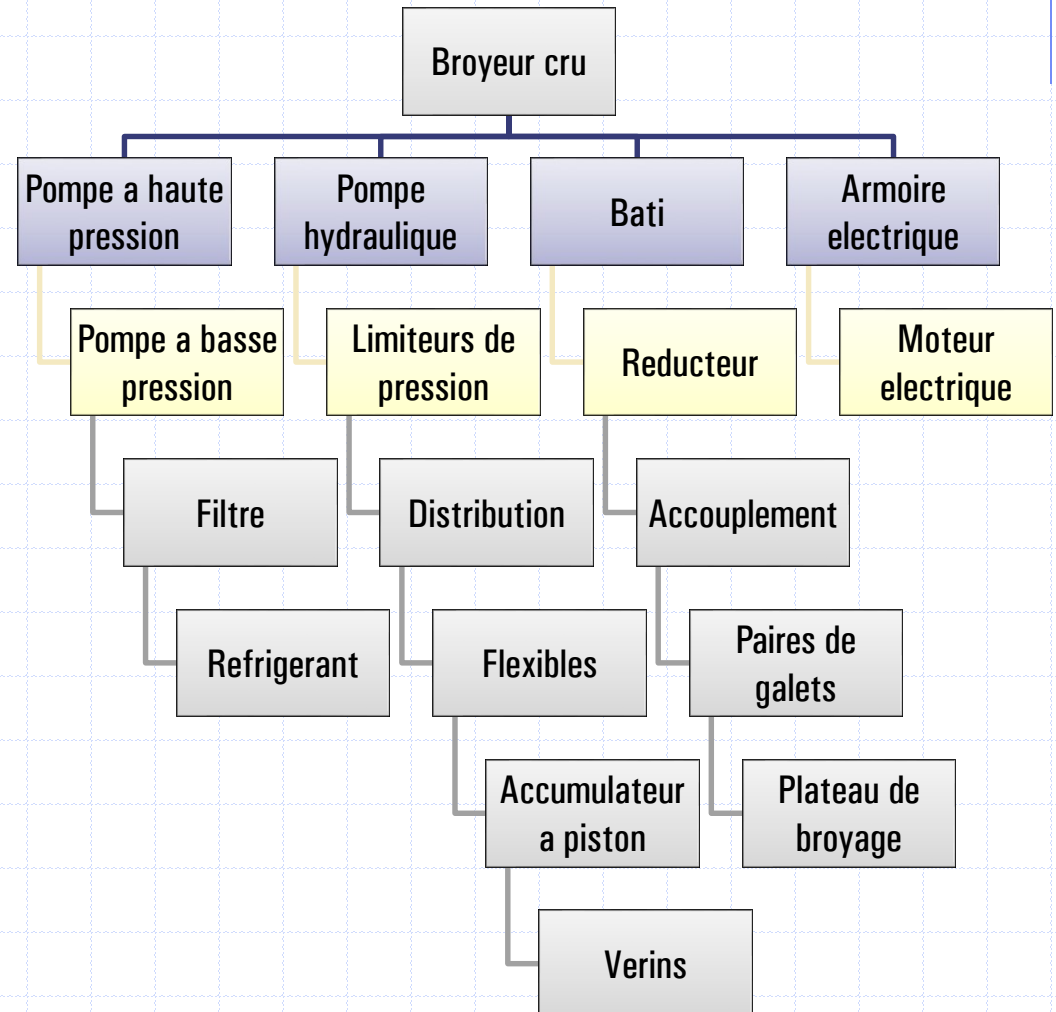
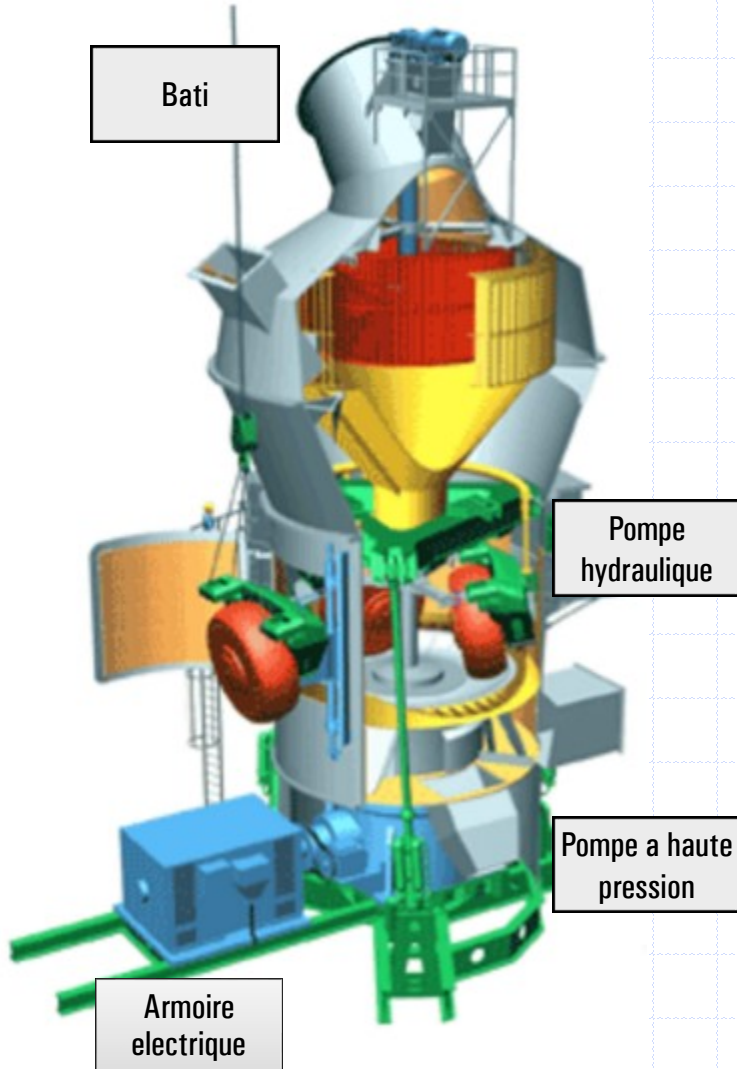
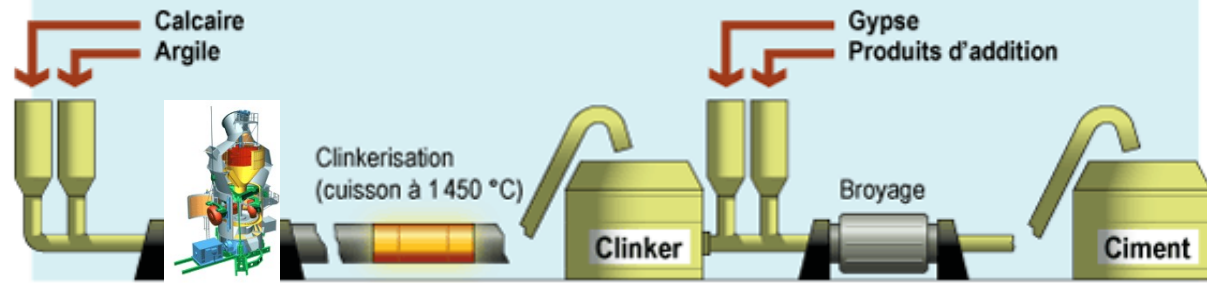
Decoupage arborescent du systeme

Inventaire des Fonctions de service

Inventaire des fonctions elementaires



# Exemple de decoupage fonctionnel





# Une demarche en 4 etapes

## ETAPE 3: ANALYSE AMDEC DU SYSTEME

- **Analyse des mecanismes de defaillances** : modes de defaillance, causes, effets, detections eventuelles
- **Evaluation de la criticite** : estimation des temps d'intervention, des frequences d'apparition des defaillances, evaluation des criteres de cotation, calcul de la criticite
- **Proposition d'actions correctives** : reduction des effets par de la maintenance preventive , detection preventive

## ETAPE 4 : SYNTHESE DE L'ETUDE

- **Hierarchisation des defaillances** : liste des pannes resumees, classement par categories, symptomes observables....)
- Liste des points critiques et plan de maintenance eventuel

# Analyse de la criticite

**MODE DE DEFAILLANCE**

QUE PEUT-IL ARRIVER?

**EFFETS**

QUELLES EN SONT  
LES CONSEQUENCES?

**CAUSES**

POURQUOI CETTE  
DEFAILLANCE  
EST-ELLE ARRIVEE?

**FREQUENCE = F**

QUELLE EST LA FREQUENCE DES  
DEFAILLANCES?

**GRAVITE = G**

LA QUALITE EST-ELLE  
BONNE ?

LA SECURITE EST-ELLE  
GARANTIE ?

QUELLE SERA LA DUREE  
DE L 'INTERVENTION?

QUELS SERONT LES COUTS  
DIRECTS ET INDIRECTS?

**DETECTION = D**

QUELLE EST LA PROTECTION SUR  
CET EQUIPEMENT  
QUI PERMET DE DETECTER LA  
DEFAILLANCE?

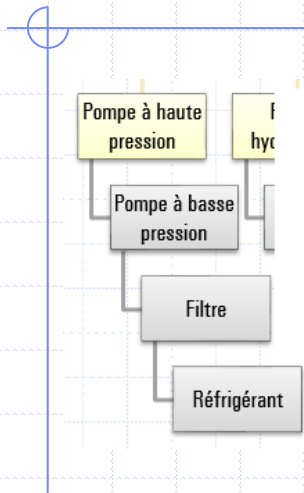
# Analyse de la criticite

$$\text{Criticite } C = F \times G \times D$$

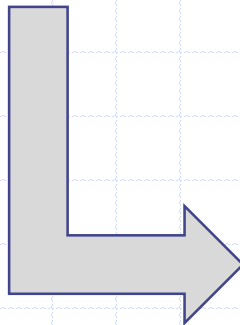
➔ LA COTATION DES CRITERES F (frequence) , G (gravite) , D (detection) s 'effectue en general de 1 a 4 (ou a 5 )

NIVEAU OU COTATION	1	2	3	4
FREQUENCE	Tres faible taux d'apparition Moins de une defaillance par an	Faible taux d'apparition $3 \text{ mois} < f < 6 \text{ mois}$	Taux d'apparition Moyen $1 \text{ s.} < f < 3 \text{ mois}$	Taux d'apparition Regulier Plusieurs defaillances par semaine
DETECTION	VISUELLE A COUP SUR	VISUELLE APRES ACTION DE L'OPERATEUR	DIFFICILEMENT DECELABLE (Eventuellement auditif)	DETECTION IMPOSSIBLE
GRAVITE	Duree d'intervention $D < 10 \text{ mn}$ Peu ou pas de pertes de production	Duree d'intervention $10 \text{ mn} < D < 30 \text{ mn}$	Duree d'intervention $30 \text{ mn} < D < 45 \text{ mn}$	Duree d'intervention $D > 45 \text{ mn}$

# Analyse AMDEC



Elément	fonction	Mode de défaillance	cause	Effet	Détection	Criticité				Action
						F	G	D	C	
Pompe à haute pression	Débitier l'huile à haute pression	Faible débit	l'usure abrasive des engrenages	Arrêt du broyeur	Impossible	2	2	4	16	Surveillance périodique
Pompe à basse pression	Débitier l'huile à basse pression	Arrêt du débit	détérioration du joint a lèvres	Arrêt du broyeur	visuel	3	4	1	12	Assure l'étanchéité
Réfrigérant	Refroidir l'huile	bouchage	Présence d'un film de tartre sur la surface d'échange	Augmentation de la température	visuel	3	2	1	6	Nettoyage de la surface d'échange
Filtre	Filtration d'huile	colmatage	Saleté Dépôt de débris	Contamination d'huile	Indicateur de colmatage	3	2	1	6	Changement de filtre



Organes	criticités	Cumulé	Pourcentage cumulé
Limiteur de pression	27	12,86	12,86
Pompe hydraulique	24	11,43	24,29
Accumulateur à piston	24	11,43	35,72
Vérin	20	9,52	45,24
Distributeur	18	8,57	53,81
Pompe à haute pression	16	7,62	61,43
Pompe à basse pression	12	5,71	67,14
Réducteur	12	5,71	72,85
Paires de galets	12	5,71	78,57
Filtre	6	2,86	81,43
Réfrigérant	6	2,86	84,29
Accouplement	6	2,86	87,15
Tirants /manilles	6	2,86	90,01
Moteur électrique	5	2,38	92,39
Armoire électrique	4	1,9	94,29
Bâti	4	1,9	96,19
Flexible	4	1,9	100

Somme 210

# Les limites de l'AMDEC

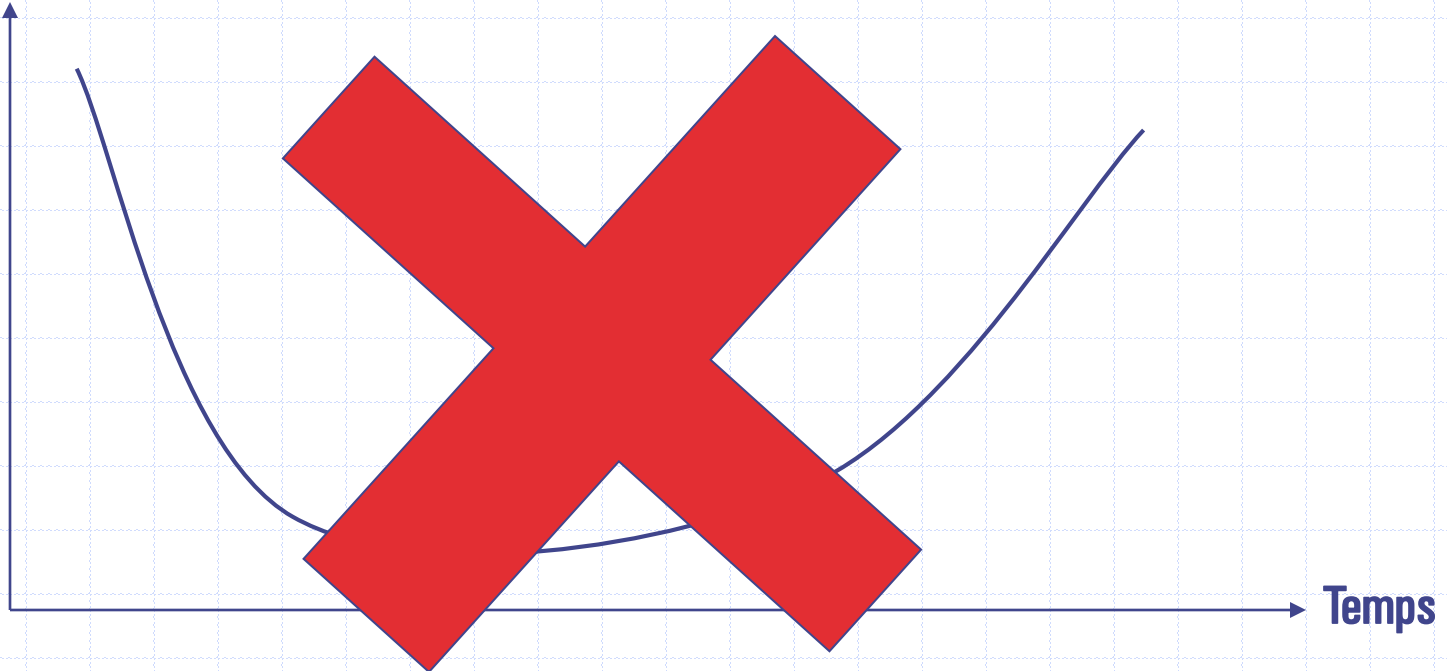
- ❑ N'est pas une methode de resolution de problemes.
- ❑ Ne permet pas l'étude des combinaisons de defaillances (plutot reservee aux Arbres de Defaillances, reseau de Markov,...).
- ❑ Ne peut pas garantir l'exhaustivite de l'étude.
- ❑ Est une methode fastidieuse pour l'étude des systemes complexes.



# Pratiques japonaises du traitement des pannes

**Objectif : obtenir au moindre cout le rendement maximum pendant toute la duree de vie**

Taux de  
defaillance



# Le modele de la Total Productive Maintenance (TPM)

- ❑ Resolution de la panne de maniere collective
  - ❑ Implication des operateurs
  - ❑ Fonction maintenance integree a la production
- ❑ Au dela de la remise en route c'est la cause profonde la panne qui doit etre traitee.
- ❑ Des methodologies specifiques :
  - ❑ 5S
  - ❑ Un indicateur : le TRS

# Exemple d'une tentative d'auto-maintenance du matériel roulant

En  
exploitation



- Niveau 1 = opérations de surveillance lors des **circulations** (dispositif de surveillance de la température des boîtes d'essieux...)
- Niveau 2 = vérifications, tests, échanges rapides d'équipements entre deux circulations

Hors  
exploitation

- Niveau 3 = visites périodiques préventives et déposes d'organes, généralement hors service commercial (en centre de maintenance)
- Niveau 4 = opérations de maintenance majeures, les révisions (en atelier)
- Niveau 5 = modernisation, transformation ou réparation importante (en atelier)



# Une demarche basique : les 5S

- ❑ SEIRI : débarrasser
- ❑ SEITON : ranger
- ❑ SEISO : nettoyer
- ❑ SEIKETSU : standardiser
- ❑ SHITSUKE : suivre

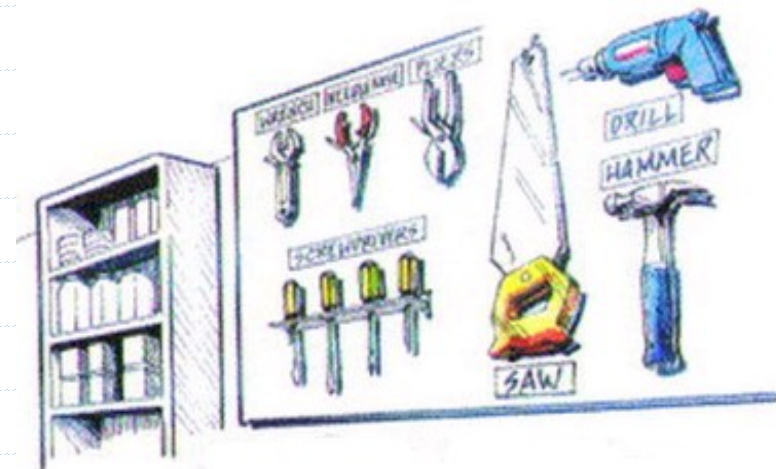
Trier *Pas d'objets inutiles, piece cassee, objets divers, objets rouillees, recuperation "ca pourrait servir".*

Ranger *Outils/objets identifies  
(Chaque chose a une place assignee).*

Nettoyer *Nettoyage regulier des outils  
et environnement de travail,  
controle et inspection periodique.*

Standardiser *Etablir des consignes de nettoyage,  
de rangement et de securite.  
Privilegier le management visuel.*

Respecter et Ameliorer *Verifier periodiquement  
l'application et le respect des standards  
etablis (audits 5S).*





# 5S Exemple



Avant



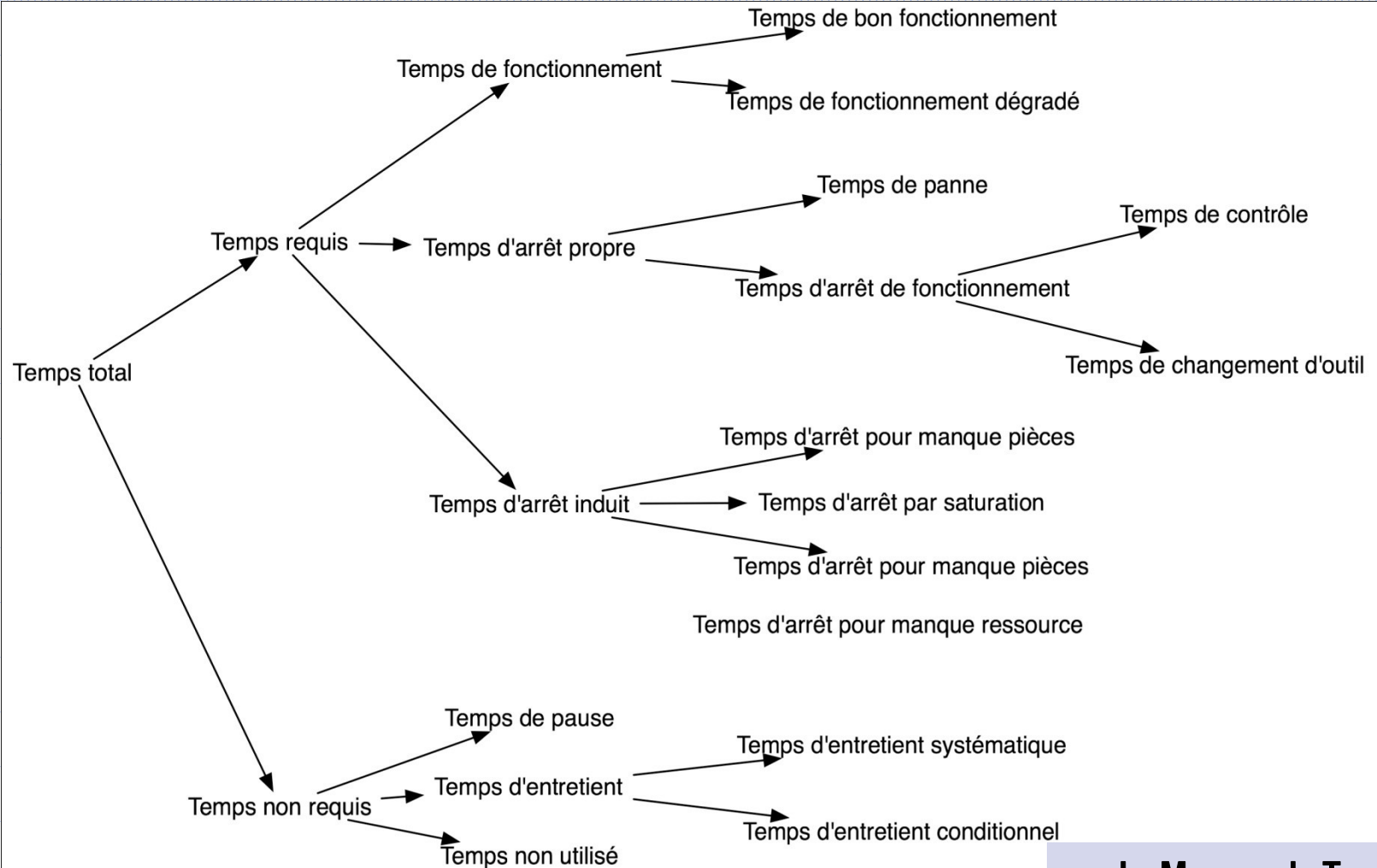
Après

# Interets du 5S

Demarche	But de la demarche	5S en quoi ?	Pourquoi ?
<b>TPM</b>	Minimiser les arrêts (pannes) et maximiser le temps productif	Nettoyer et repeindre sols, carters de machines, conduites...	Rendre toute anomalie (fuite, perte...) visible et facilement detectable
<b>SMED</b>	Minimiser le temps d'arrêt machine pour preparation et de changement de serie/outil	Avoir les outils et accessoires propres et utilisables, a proximite immediate, ranges de maniere standard et bien ordonnee	Minimiser les pertes de temps, eliminer les recherches
<b>Qualite</b>	Eliminer les defauts a la source	Environnement de travail propre, ordonne	Eliminer les risques pour la fabrication ; rayures par dechets ou objets inutiles, confusions, salissures...

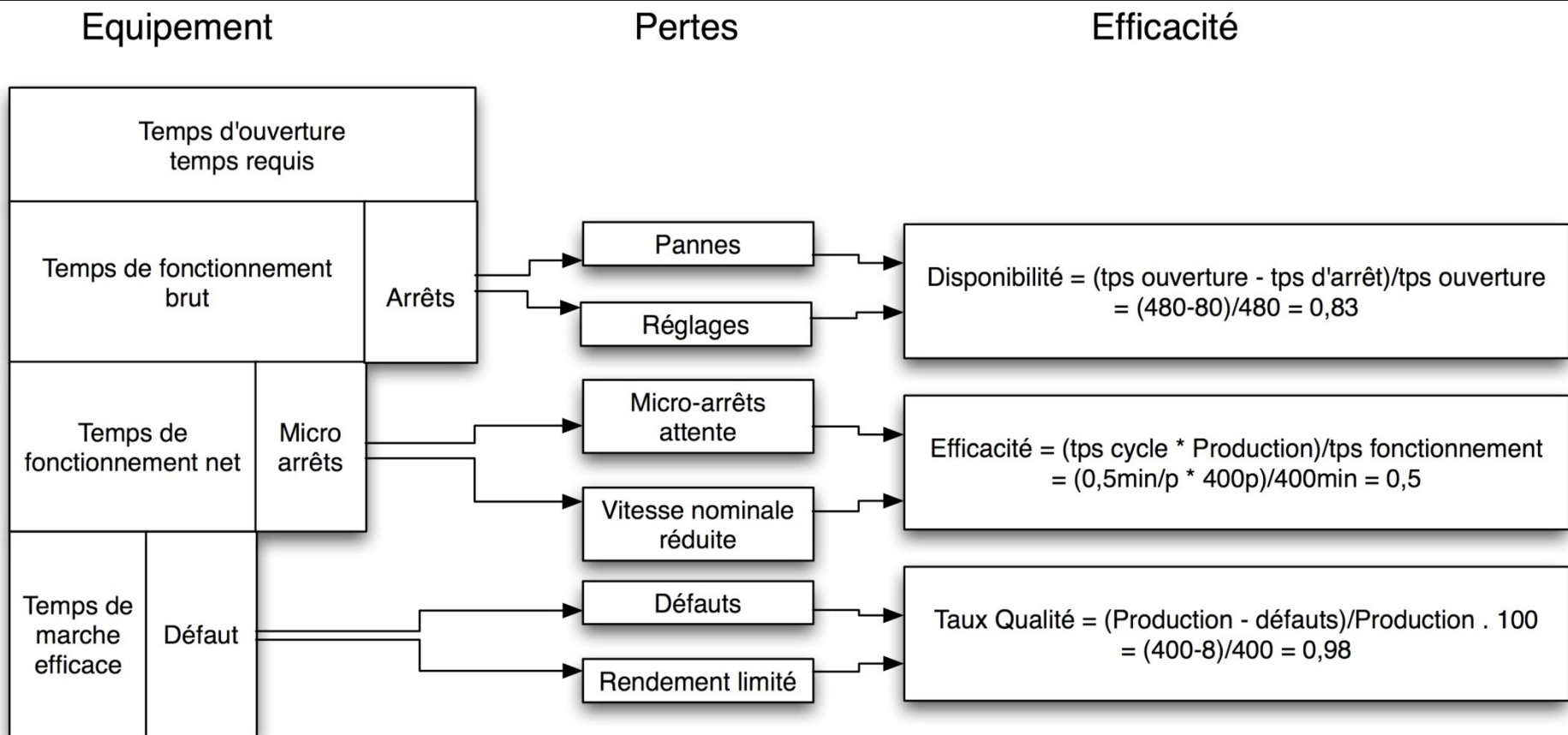


# Reflechir a la productivite d'une machine : la decomposition du temps



# Le calcul d'un TRS

$$TRS = \frac{Tps\ marche\ brut}{Tps\ ouverture} \cdot \frac{Tps\ marche\ net}{Tps\ marche\ brut} \cdot \frac{Tps\ marche\ efficace}{Tps\ marche\ net}$$



$$TRS = D * E * T = 0,83 * 0,5 * 0,98 = 0,41$$

# Synthese

- ❑ Un domaine « obscur » pourtant essentiel
- ❑ Life cycle cost
- ❑ Un domaine qui peut « produire » ou « détruire » le service

# Exemple simplifié d'un arbre de defaillance

