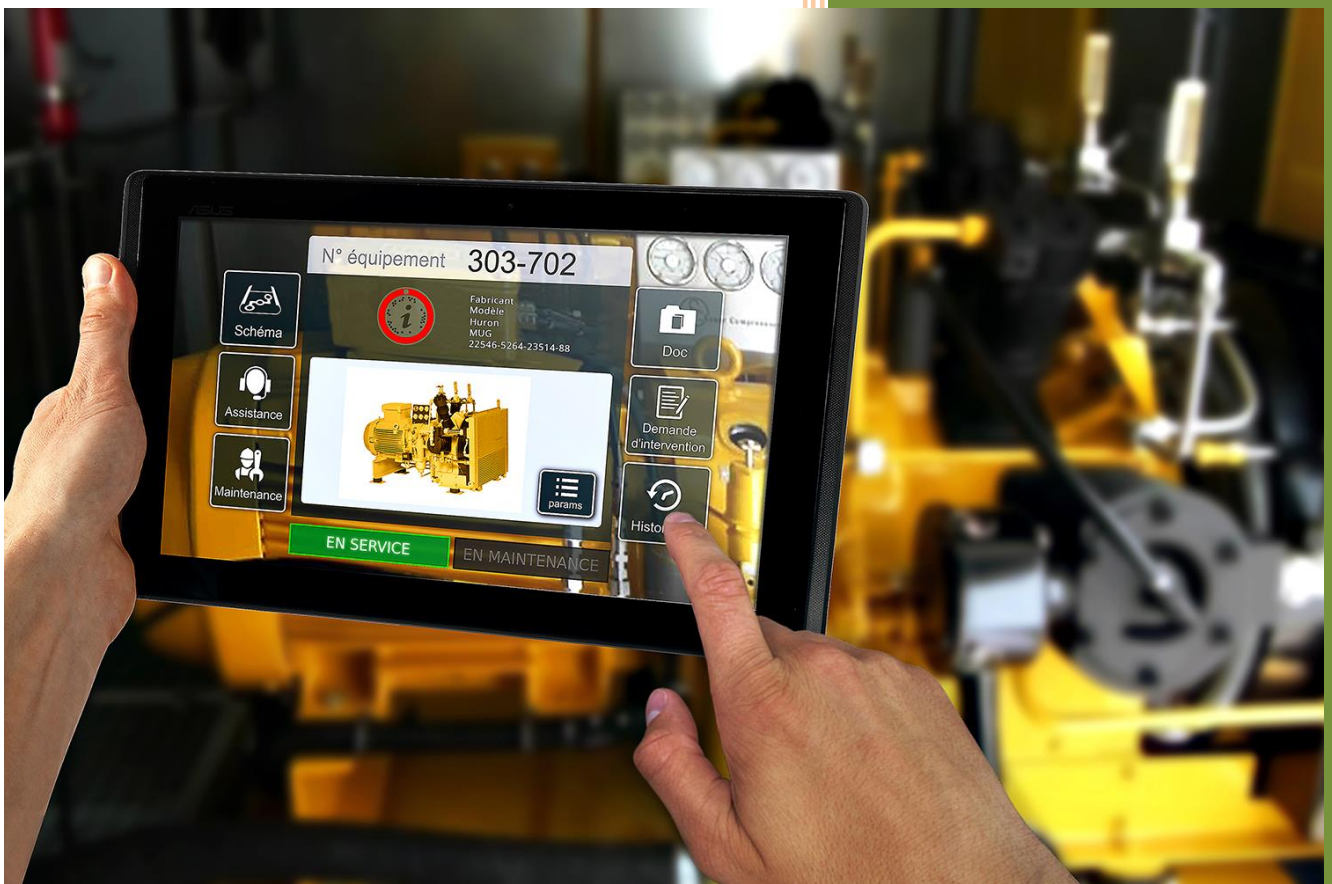


BTS MS

ORGANISATION DE MAINTENANCE



Scan
to discover !



Download this free Unitag App to scan
at unitag.io/app



FAIGNER H.

Promotion 2020/2022

LA FONCTION MAINTENANCE

I – LA FONCTION MAINTENANCE :	1
11 – Définition selon la norme NF-EN 13306 :	1
12 – Domaines d'action de la fonction maintenance :	1
13 – Fonctions et tâches associées à la maintenance :	2
II – LES FORMES DE MAINTENANCE :	3
21 – La maintenance corrective :	5
22 – La maintenance préventive :	6
23 – La maintenance préventive systématique :	7
24 – La maintenance préventive conditionnelle :	8
25 – La maintenance préventive prévisionnelle :	9
III – LES OPERATIONS DE MAINTENANCE :	11
31 – Les opérations de maintenance corrective :	11
32 – Les opérations de maintenance préventive :	12
33 – Autres activités liées à la maintenance :	14
La maintenance d'amélioration :	15
IV – NIVEAUX ET ECHELONS DE MAINTENANCE :	16
41 – Niveaux de maintenance :	17
42 – Echelons de maintenance :	18

LES CARACTERISTIQUES D'UN BIEN : FMD - TPM

I – LE CONCEPT DE FIABILITE :	19
11 – Définition selon la norme NF EN 13306 :	19
12 – Commentaires :	19
13 – Le taux de défaillance :	20
14 – Cas particulier de l'époque de maturité :	22
II – LA MAINTENABILITE :	23
21 – Définition :	23
22 – Commentaires :	23
23 – Calcul de la maintenabilité :	24
24 – Taux de réparation μ :	25
III – LE CONCEPT DE DISPONIBILITE :	26
31 – Définition :	26
32 – Commentaires :	26
33 – Synthèse :	27
34 – Quantification de la disponibilité :	28
35 – Disponibilité intrinsèque D_i :	28
36 – Disponibilité opérationnelle D_o :	29
37 – Synthèse $D_i - D_o$:	30

IV – NOTIONS TEMPORELLES RELATIVES AUX ETATS D'UNE ENTITE :	30
V – ANALYSE FMD : INDICATEURS OPERATIONNELS :	34
VI – METHODOLOGIE D'ETUDE DE LA DISPONIBILITE :	35
VII – LA TPM – TOTALE PRODUCTIVE MAINTENANCE :	37
71 – Objectifs :	37
72 – Les 8 piliers de la méthode :	37
73 – Les 6 pertes :	38
74 – Les sources d'écarts :	38
75 – Calculs selon la norme NF E 60-182 :	39
76 – Avantages du TRS	39
Méthodologie de calcul :	40

ASPECTS ECONOMIQUES LIES A LA MAINTENANCE

I – CHIFFRE D'AFFAIRE D'UNE ENTREPRISE :	41
11 – Chiffre d'affaire et résultat :	41
12 – Comment accroître le résultat :	42
II – LE COUT DE REVIENT D'UN PRODUIT :	42
III – LES COUTS EN MAINTENANCE :	44
31 – Rappels sur les objectifs de la maintenance :	44
32 – Problématique des coûts en maintenance :	45
23 – Comment connaître les coûts par machine :	45
IV – COUT DE LA MAINTENANCE CORRECTIVE :	46
41 – Coûts directs induits par une défaillance :	46
42 – Calcul des coûts directs induits par une défaillance :	46
43 – Coûts indirects conséquences de la défaillance ou coûts d'indisponibilité :	47
44 – Calcul des Coûts indirects conséquences de la défaillance ou coûts d'indisponibilité :	47
45 – Calcul du coût d'une défaillance :	47
46 – Optimisation des couts défaillance :	48
47 – Application :	49
V – COUTS EN MAINTENANCE PREVENTIVE :	49
51 – Maintenance préventive systématique :	49
52 – Maintenance préventive conditionnelle :	50
VI – CHOIX D'UN TYPE DE MAINTENANCE :	50
APPLICATION :	51
VII – LE COUT DU CYCLE DE VIE D'UN BIEN (LCC : Life Cycle Cost) :	54
71 – Cycle de Vie :	54
72 – Le coût du cycle de vie ou coût de possession ou LCC :	54
73 – Estimation du LCC :	56
74 – Application :	58

VII – PROBLEME DE L'ACTUALISATION DES COUTS :	59
--	-----------

IX – RENTABILITE D'UN INVESTISSEMENT :	61
---	-----------

91 – Rappel sur la maintenance d'amélioration :	61
---	----

92 – Délai de retour d'un investissement :	62
--	----

INDICATEURS ET TABLEAUX DE BORD EN MAINTENANCE

I – INDICATEURS ET TABLEAUX DE BORD :	63
--	-----------

11 – Définitions :	63
--------------------	----

12 – Indicateurs connus en Maintenance	63
--	----

13 – Nécessité d'indicateurs et de tableaux de bord :	63
---	----

II – GERER LA MAINTENANCE A PARTIR DE TABLEAUX DE BORD :	64
---	-----------

21 – Principe et mise en forme :	64
----------------------------------	----

22 – Les différentes formes possibles d'indicateurs :	64
---	----

23 – Qualités d'un indicateur :	65
---------------------------------	----

24 – Les tableaux de bord dans la démarche d'amélioration continue :	66
--	----

III – LES RATIOS :	68
---------------------------	-----------

31 – Définition :	68
-------------------	----

32 – Ratios normalisés :	68
--------------------------	----

IV – EXPLOITATION DES INDICATEURS ET DES RATIOS :	71
--	-----------

V - LA METHODE ABC OU L'ANALYSE DE PARETO OU LA METHODE DES 80-20 :	71
--	-----------

VI – ANALYSE EN N/T :	75
------------------------------	-----------

ORDONNANCEMENT DES ACTIVITES DE MAINTENANCE

I – TERMINOLOGIE ET METHODES D'ORDONNANCEMENT :	80
--	-----------

11 – Définitions :	80
--------------------	----

12 – Caractéristiques de l'ordonnancement :	81
---	----

13 – Les 5 niveaux d'ordonnancement :	82
---------------------------------------	----

14 – Les problèmes de surcharge :	82
-----------------------------------	----

15 – Les ordres d'urgence :	82
-----------------------------	----

II – PLANIFICATION PAR DIAGRAMME DE GANTT :	83
--	-----------

III – PLANIFICATION EN MAINTENANCE PREVENTIVE : METHODE ABACABAD :	84
---	-----------

IV – PLANIFICATION PAR RESEAUX PERT :	85
--	-----------

LA GESTION DES PIECES DE RECHANGE

I – LA FONCTION APPROVISIONNEMENTS :	90
---	-----------

II – LE STOCK MAINTENANCE :	90
------------------------------------	-----------

21 – Constitution :	90
---------------------	----

22 – Éléments du coût de gestion :	91
------------------------------------	----

23 – Quantité économique de commande : formule de WILSON :	91
--	----

III – TYPES DE GESTION DES STOCKS : _____ 92

31 – Modèles utilisés : _____ 92

32 – Méthode du point de commande : _____ 93

33 – Méthode du plan d’approvisionnement : _____ 95

34 – Méthode du programme d’approvisionnement : _____ 95

35 – Cas des pièces de sécurité : _____ 95

36 – Rupture de stock – Taux de pénurie : _____ 96

37 – Coût de défaillance / coût des stocks : _____ 96

IV – ORGANISATION DU MAGASINAGE : _____ 98

41 – Conditions de magasinage : _____ 98

42 – Standardisation : _____ 98

43 – Nomenclature et codification des articles : _____ 98

44 – Documents de gestion des stocks : _____ 98

EXTERNALISATION DES ACTIVITES DE MAINTENANCE

I – LA SOUS-TRAITANCE EN MAINTENANCE : _____ 99

11 – Introduction : _____ 99

12 – Pourquoi sous-traiter ? _____ 99

13 – Que faut-il sous-traiter ? _____ 99

14 – Combien sous-traiter ? _____ 99

15 – Comment sous-traiter ? _____ 99

16 – Qui doit sous-traiter ? _____ 100

II – LE CONTRAT DE MAINTENANCE : _____ 100

21 – Organisation à mettre en œuvre : _____ 100

22 – Etude préalable à l’élaboration d’un contrat de maintenance : _____ 100

23 – Les différentes phases d’élaboration du contrat : _____ 101

24 – Les différents contrats : _____ 102

LA GESTION DES INTERVENTIONS DE MAINTENANCE

I – MAINTENANCE CORRECTIVE : _____ 103

II – MAINTENANCE PREVENTIVE : _____ 105

III – LA GMAO : _____ 106

LES GAMMES DE DEMONTAGE / REMONTAGE

I – INTRODUCTION : _____ 109

II – LA GAMME DE DEMONTAGE : _____ 110

III – METHODOLOGIE : _____ 110

EXEMPLE : VERIN HYDRAULIQUE : _____ 112

IV – PRECAUTIONS : _____ 114

V – VOCABULAIRE : _____ 114

CONSIGNATION / DECONSIGNATION

I – INTRODUCTION :	116
II – DEMARCHE GENERALE A APPLIQUER LORS D'INTERVENTIONS :	116
III – DEFINITIONS :	116
IV – PROCEDURES DE CONSIGNATION ET DE DECONSIGNATION :	117
41 – Introduction :	118
42 – Conception des installations :	118
43 – Procédures types de consignation :	118
44 – Commentaires sur le risque électrique :	119
45 – Commentaires sur le risque chimique :	121
46 – Commentaires sur le risque mécanique :	123
47- Procédures de déconsignation :	125

OUTILS D'ANALYSE DES DEFAILLANCES

I – CARACTERISTIQUES DES DEFAILLANCE :	126
11 – Définitions (Norme NF EN 13306) :	126
12 – Défaillance et cycle de vie :	127
13 – Modèles de défaillance :	128
II – LES MECANISMES D'USURE :	128
III – CARACTERISTIQUES D'UNE DEFAILLANCE :	130
IV – LE DIAGRAMME CAUSES / EFFET ou ISHIKAWA :	131
V – TABLEAU CAUSES / EFFETS :	133
VI – ARBRES DE DEFAILLANCE :	134

AMDEC

I – DEFINITION :	137
II – OBJECTIFS DE L'AMDEC :	138
III – AMDEC ET DISPONIBILITE :	139
IV – DEMARCHE DE MISE EN ŒUVRE DE L'AMDEC :	140
V – POSITION DE L'AMDEC DANS UNE DEMARCHE D'AMELIORATION CONTINUE :	141
VI – TERMINOLOGIE DE L'AMDEC :	141
61 – Modes de défaillance :	141
62 – Les causes de défaillance :	143
63 – Effets d'une défaillance :	144
VII – CRITICITE D'UNE DEFAILLANCE :	145
VII– EXEMPLE D'AMDEC : SYSTEME DE GRAISSAGE CENTRALISE :	146

OUTILS DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE

POURQUOI DES OUTILS D'AIDE AU DIAGNOSTIC ?	147
LES OUTILS DISPONIBLES :	147
ANALYSE VIBRATOIRE	149
THERMOGRAPHIE INFRAROUGE	151
ENDOSCOPIE	152
LES ANALYSES D'HUILE	153

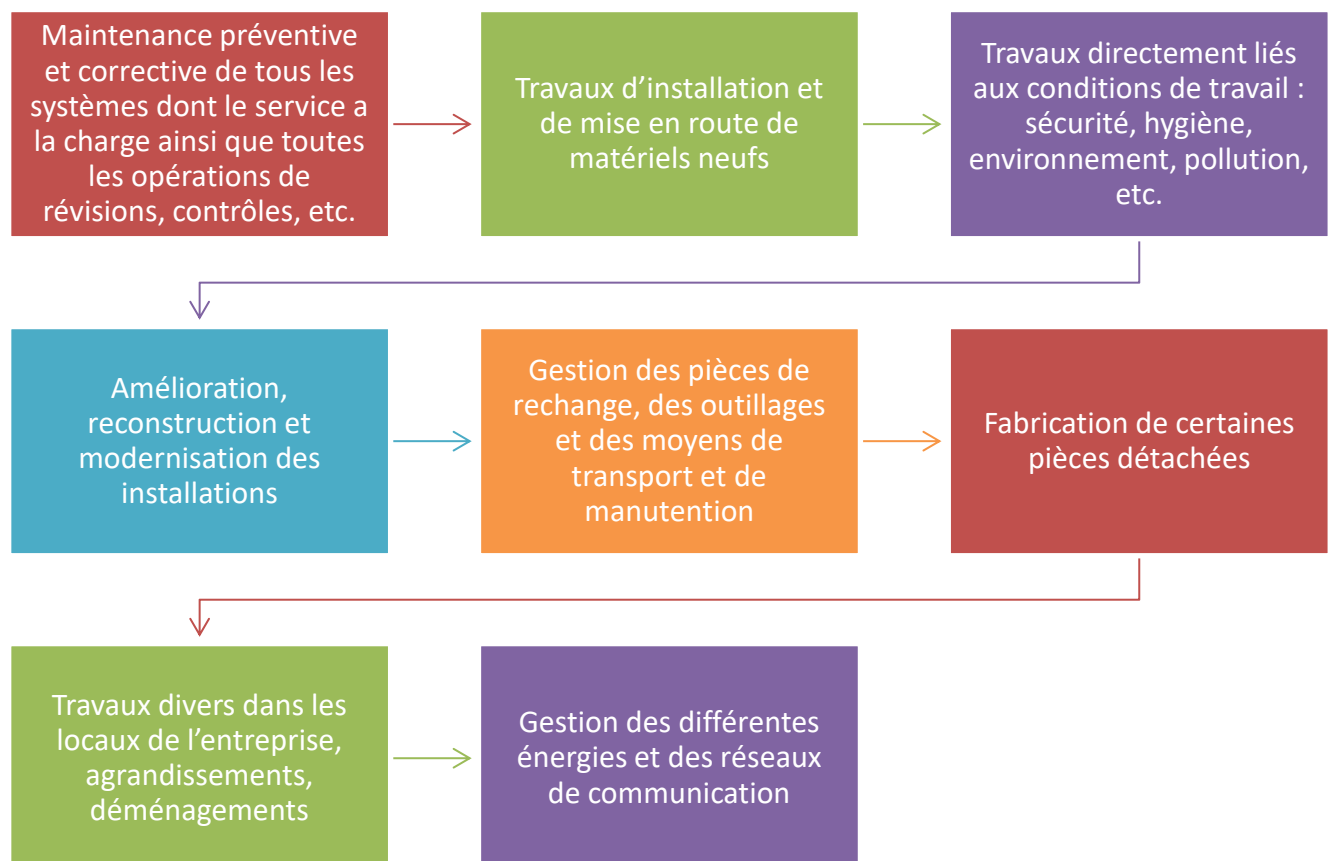
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**I – LA FONCTION MAINTENANCE :****11 – Définition selon la norme NF-EN 13306 :**

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

La fonction maintenance a pour but de garantir la disponibilité des équipements de production au coût optimum.

12 – Domaines d'action de la fonction maintenance :

Dans une entreprise, il existe un grand nombre de matériels différents qui sont liés ou non à la production. C'est dans ce contexte qu'apparaît la nécessaire polyvalence des techniciens de maintenance ainsi que leurs capacités d'adaptation. La liste (non exhaustive) qui suit permet de se rendre compte de la variété des actions qui constituent souvent le quotidien de la mission d'un service maintenance :



Pour tous ces points, l'objectif permanent est de maintenir les matériels dans un état optimal de service. La priorité sera bien sûr toujours orientée vers l'outil de production.

Le service maintenance doit donc maîtriser le comportement des matériels en gérant les moyens nécessaires et disponibles. C'est là que l'importance de la mutation de l'entretien traditionnel vers une logique de maintenance prend toute son importance.

13 – Fonctions et tâches associées à la maintenance :**ETUDES ET METHODES****EXECUTION ET MISE EN ŒUVRE****FONCTION DOCUMENTATION ET RESSOURCES****131 – Etudes et méthodes :**

Fonctions études et méthodes : optimisation des tâches en fonction des critères retenus dans le cadre de la politique de maintenance définie par l'entreprise.

⇒ **Etudes techniques :**

Etudes d'améliorations, études de conception et de reconception des équipements ou des travaux neufs, analyse des conditions et des accidents du travail.

⇒ **Préparation et ordonnancement :**

Etablissement des fiches et gammes d'instructions pour le personnel, constitution de la documentation pour les interventions, établissement des plannings d'interventions et d'approvisionnements en pièces de rechange, réception et classement des documents relatifs à l'intervention et remise à jour des dossiers techniques.

⇒ **Etudes économiques et financières :**

Gestion des approvisionnements, analyse des coûts (maintenance, défaillance, fonctionnement), rédaction du cahier des charges et participation à la rédaction des marchés (travaux neufs, investissements, sous-traitance), gestion du suivi et de la réception de ces marchés.

⇒ **Stratégie et politiques de la maintenance :**

Définition, choix et élaboration des procédures de maintenance (corrective, préventive), des procédures de contrôle, des procédures d'essais et de réception, détermination des domaines d'actions préventives prioritaires, étude des procédures de déclenchement des interventions, gestion de la sécurité dans l'organisation de l'environnement industriel.

Pour remplir cette fonction, les techniciens des études et des méthodes disposent : de dossiers techniques fournissant toutes les caractéristiques des matériels, des fiches d'historiques résumant les opérations déjà effectuées, de la documentation constructeurs et fournisseurs, des banques de données informatiques.

132 – Exécution / Mise en œuvre :

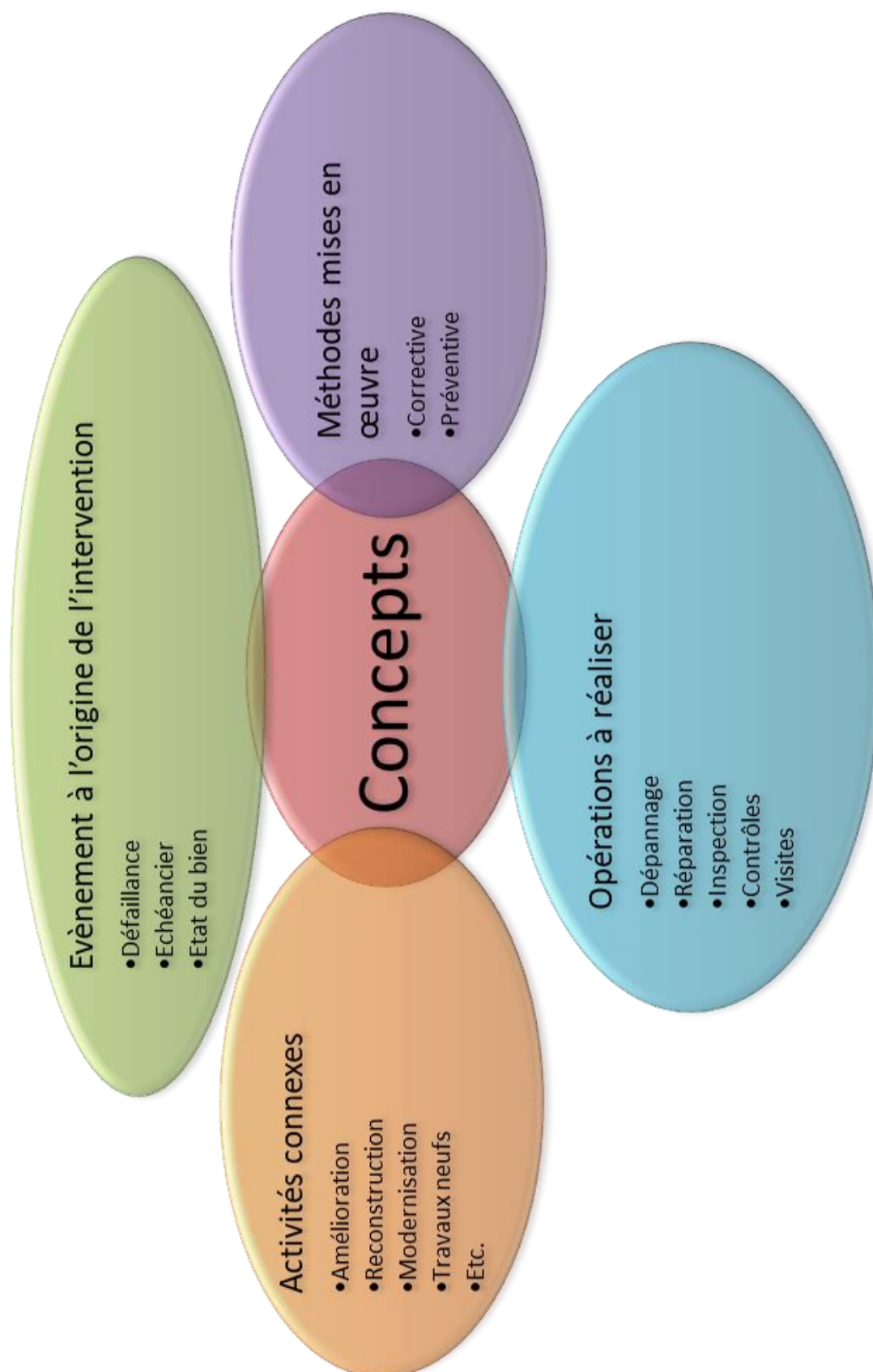
L'aspect pluri techniques de cette fonction nécessite une grande expérience sur les matériels et une connaissance approfondie des différentes technologies. Le technicien devra agir avec beaucoup de rigueur pour rendre son action efficace. Il sera aidé par les documents et procédures établis par la fonction « études et préparation ».

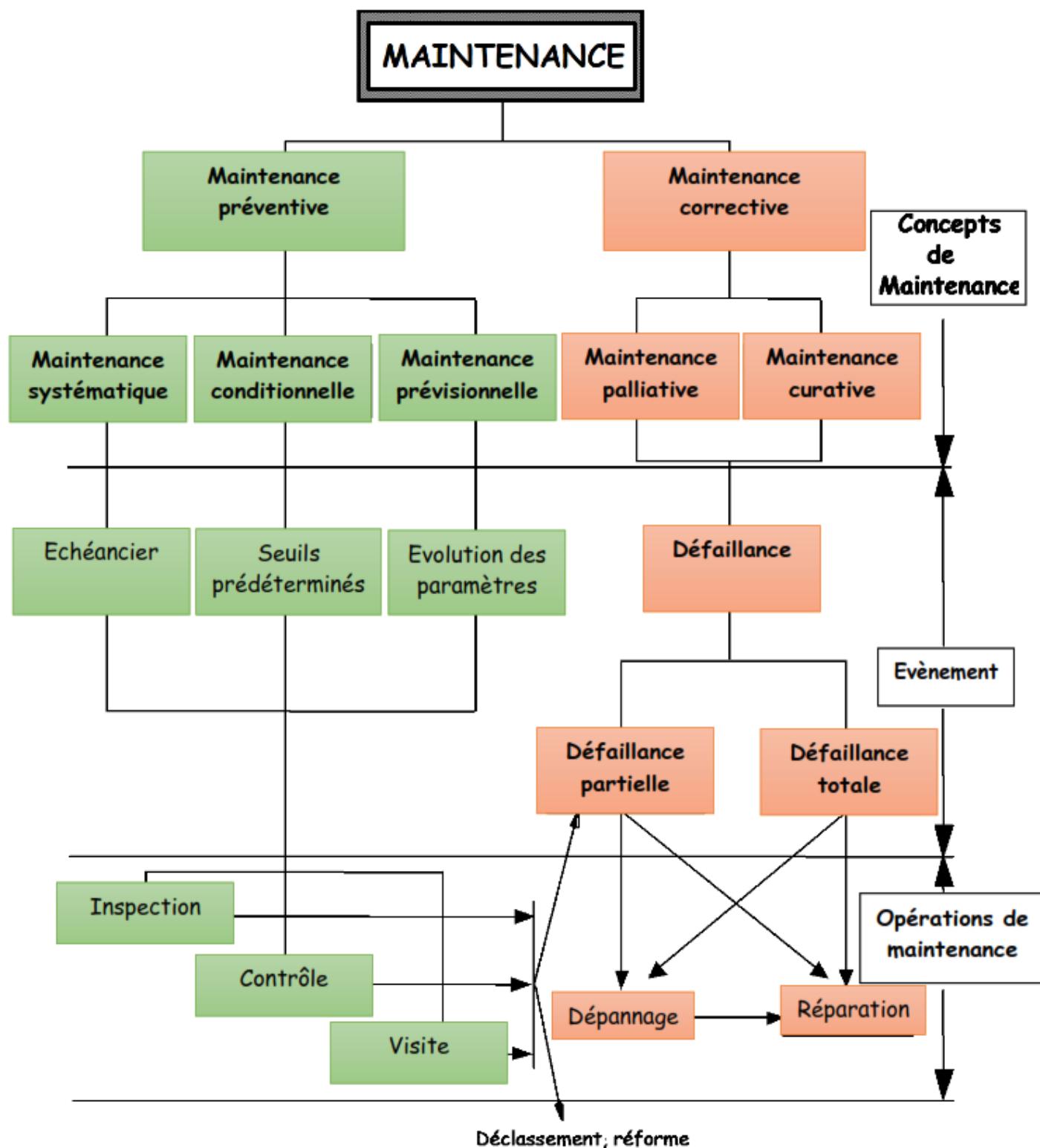
Les principales tâches sont : gestion de l'intervention de maintenance, connaissance comportementale du matériel, pilotage des interventions, application des consignes et règles d'hygiène, sécurité et conditions de travail, installation des machines et des matériels (réception, contrôle, mise en fonctionnement), information du personnel sur les équipements, remise en main du matériel après intervention, gestion de l'ordonnancement, établissement de diagnostics de défaillance de matériels, établissement de consignes d'utilisation intégrant les consignes d'hygiène et de sécurité, gestion des stocks (des pièces de rechange, outillages, appareils de contrôle)

133 – La fonction documentation et ressources :

Indispensable à tout le service, cette fonction est la mémoire de l'activité sur laquelle s'appuieront les études ultérieures en vue de définir une politique de maintenance. Elle est aussi une source inestimable de renseignements pour la fonction « études et méthodes ».

Les principales tâches sont : élaboration et tenue des inventaires, constitution et MAJ des dossiers techniques, des historiques, des dossiers économiques, constitution d'une documentation générale, technique et réglementaire, constitution d'une documentation fournisseurs.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**II – LES FORMES DE MAINTENANCE :**

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

21 – La maintenance corrective :

Définitions (extraits normes NF EN 13306) :

Maintenance corrective : maintenance exécutée après défaillance et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

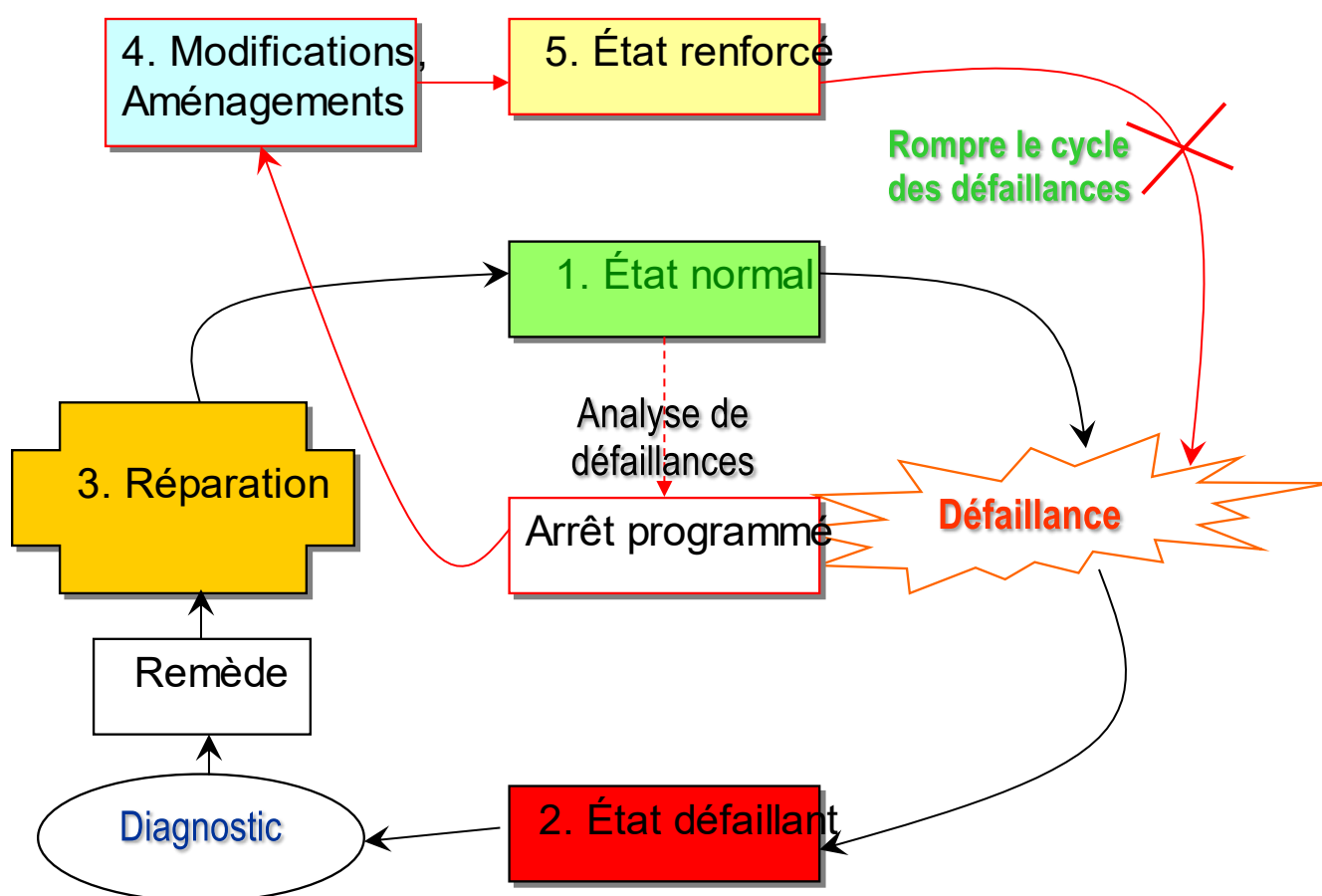
Défaillance : altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

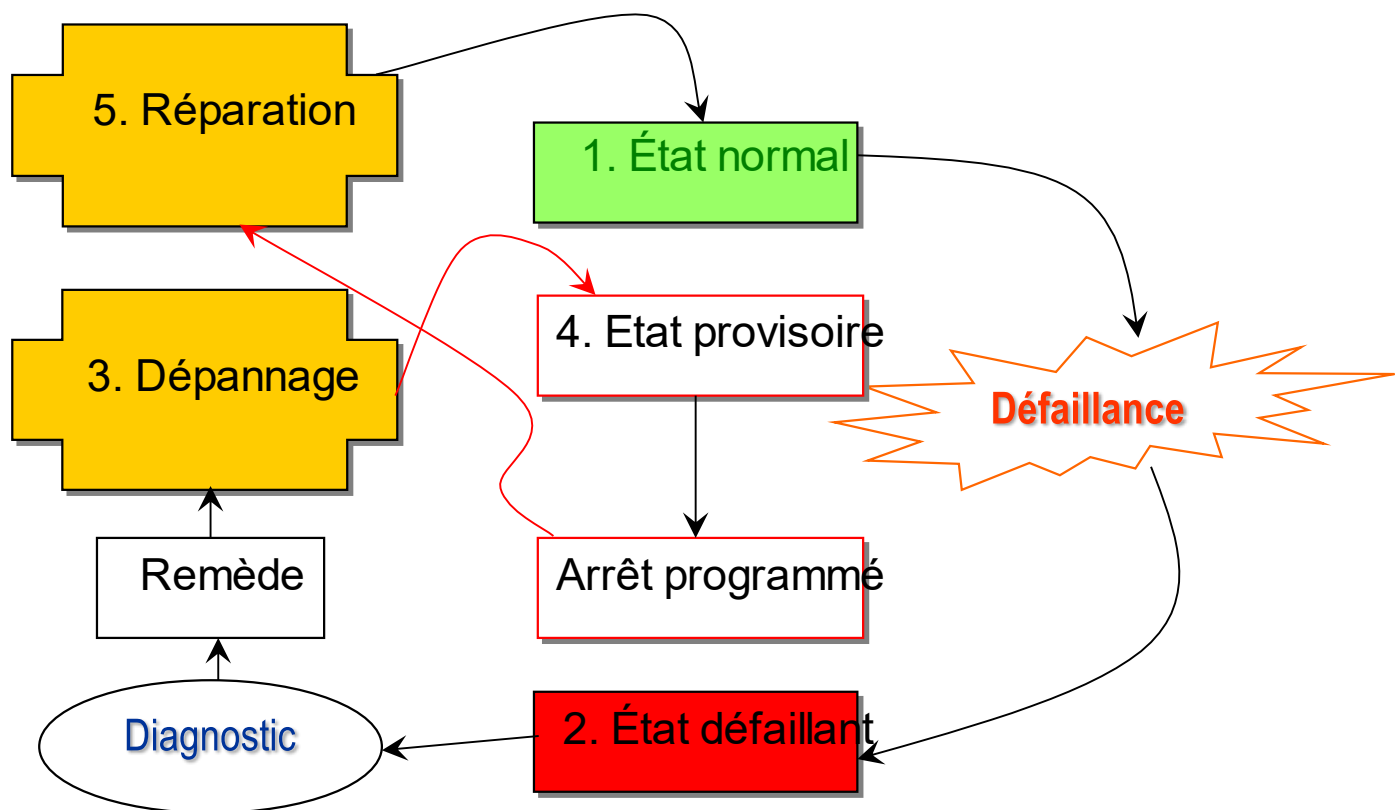
Il existe 2 formes de défaillance :

Défaillance partielle : altération de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

Défaillance complète : cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

La maintenance corrective appelée parfois curative (terme non normalisé) a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Maintenance corrective curative ou REPARATION :

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Maintenance corrective palliative ou DEPANNAGE :****22 – La maintenance préventive :**

Définition : Maintenance exécutée à des *intervalles prédéterminés* ou selon des *critères prescrits* ou déterminés et destinée à réduire la *probabilité de défaillance* ou la *dégradation du fonctionnement* d'un bien.

But de la maintenance préventive :

Augmenter la durée de vie des matériels

Diminuer la probabilité des défaillances en service

Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne

Prévenir et éviter les interventions coûteuses de maintenance corrective

Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.

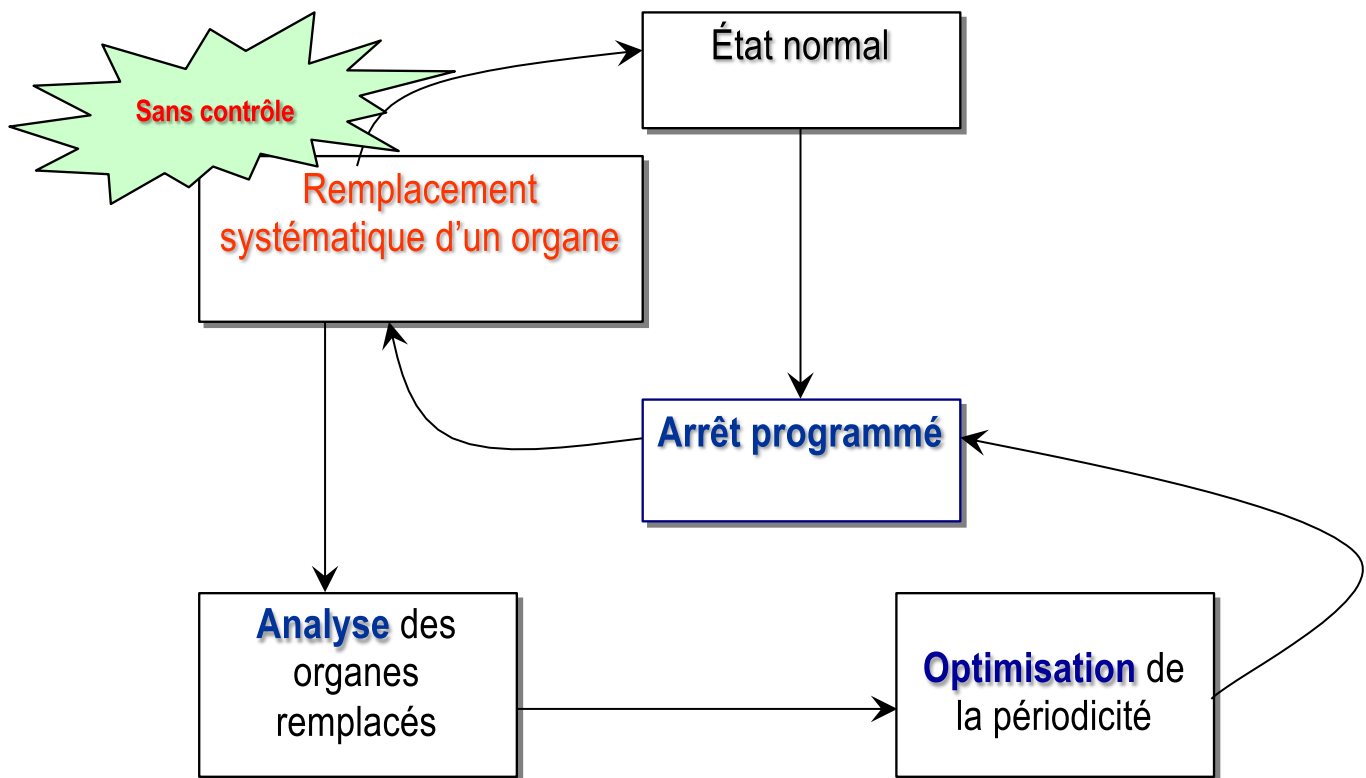
Améliorer les conditions de travail du personnel de production

Diminuer le budget de maintenance

Supprimer les causes d'accidents graves

23 – La maintenance préventive systématique :

Définition : Maintenance préventive 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. Ces intervalles sont appelés PERIODICITE.



Remarque : de plus en plus, les interventions de la maintenance systématique se font par échanges standards.

Cas d'application :

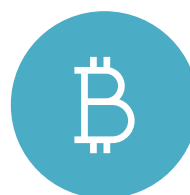
Equipements soumis à une législation en vigueur (sécurité réglementée) : appareils de levage, extincteurs, ascenseurs, etc.



Equipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves : tous les matériels assurant le transport en commun des personnes.



Equipement ayant un coût de défaillance élevé : éléments d'une chaîne de production automatisée, processus fonctionnant en continu (industries chimiques ou métallurgiques).



Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service : consommation excessive d'énergie, éclairage par lampes usagées, etc.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**24 – La maintenance préventive conditionnelle :**

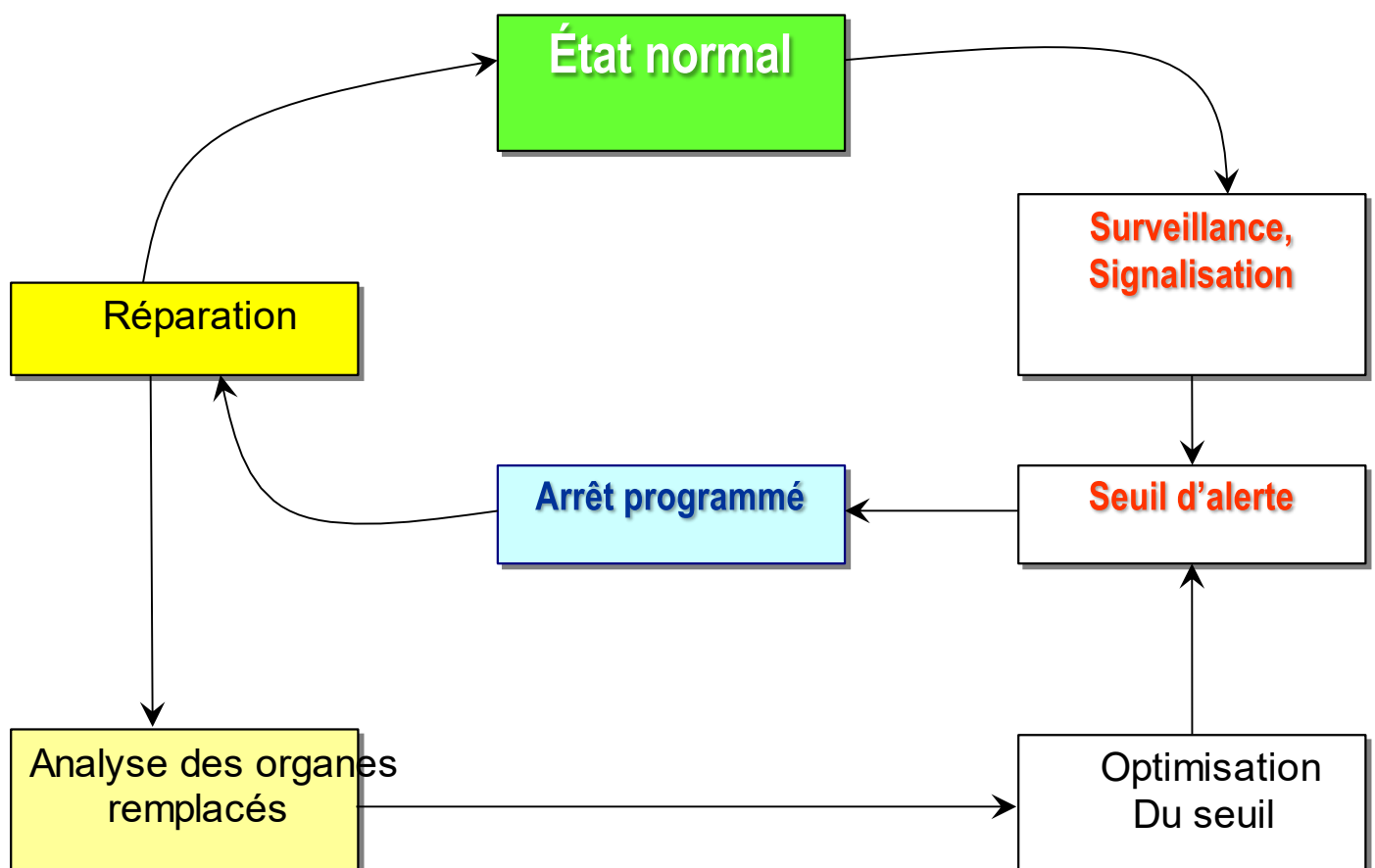
Maintenance préventive basée sur :

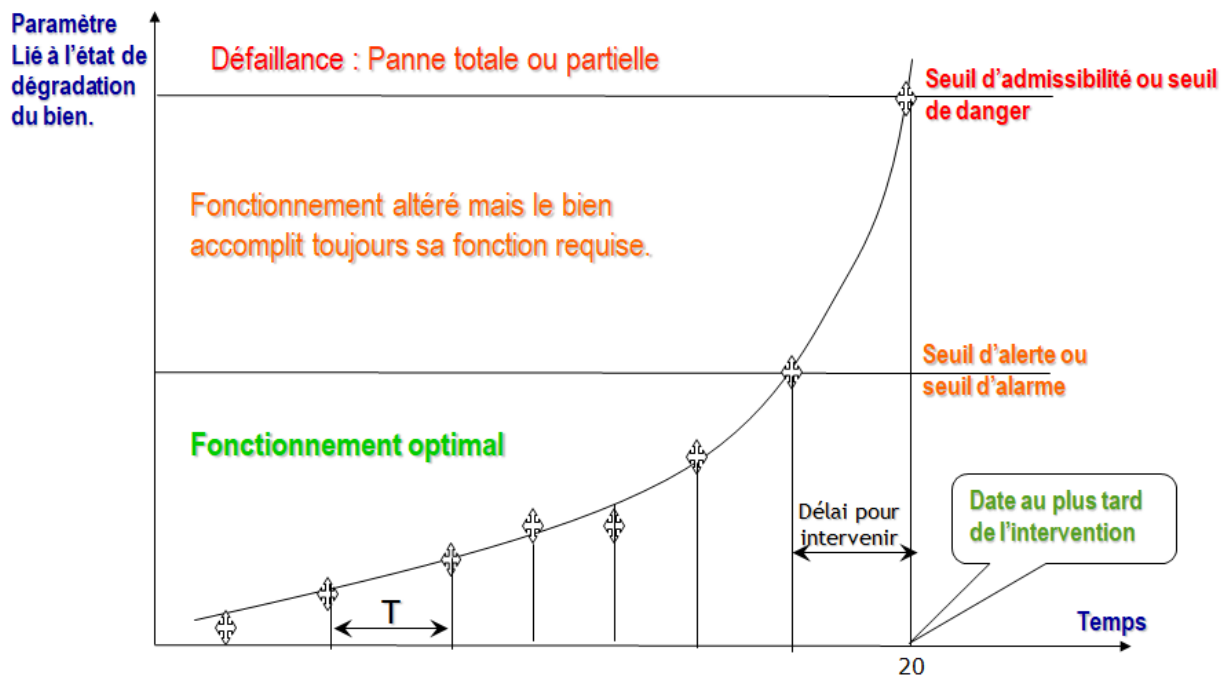
une *surveillance du fonctionnement* du bien,

et/ou des *paramètres significatifs* de ce fonctionnement,

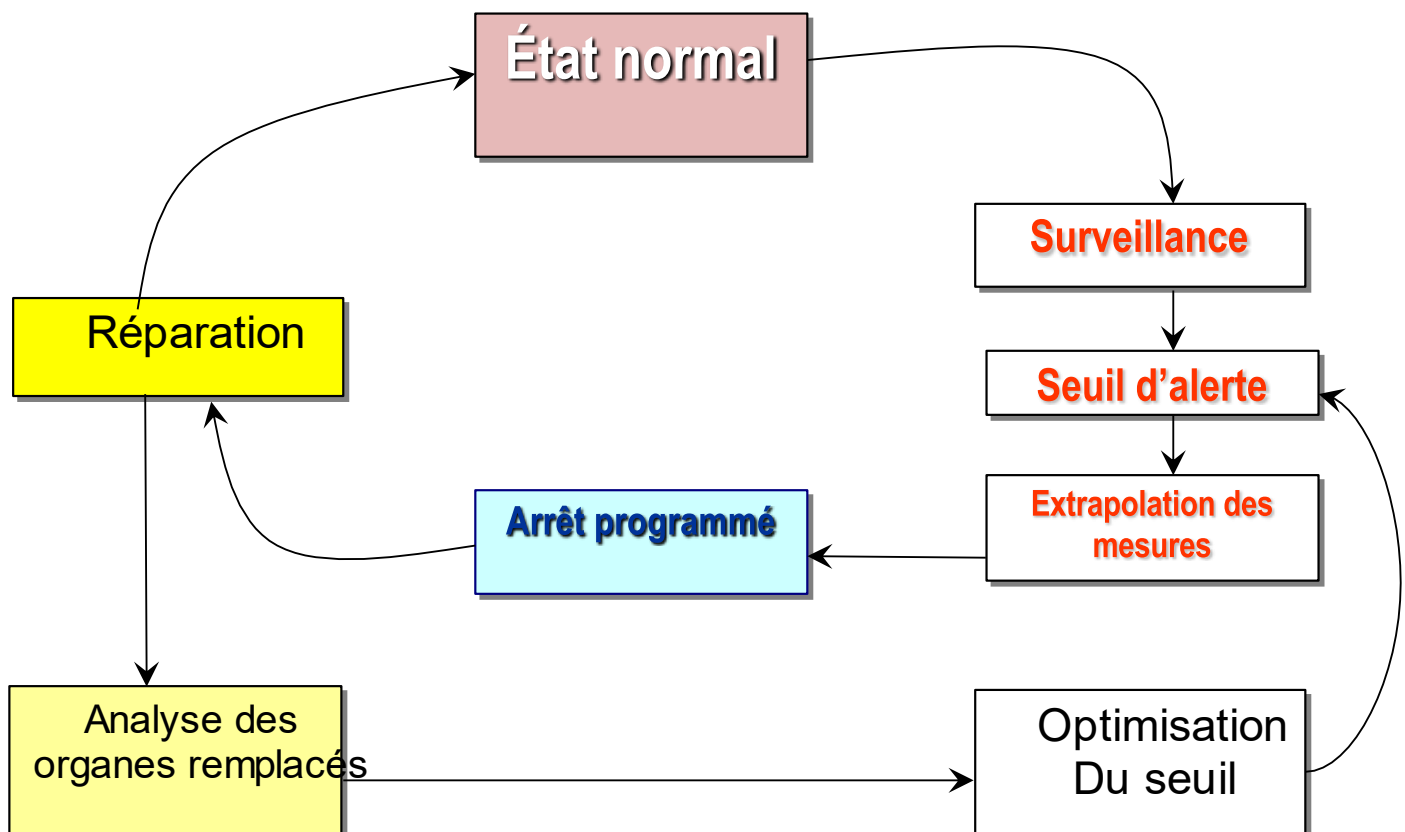
intégrant les actions qui en découlent.

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

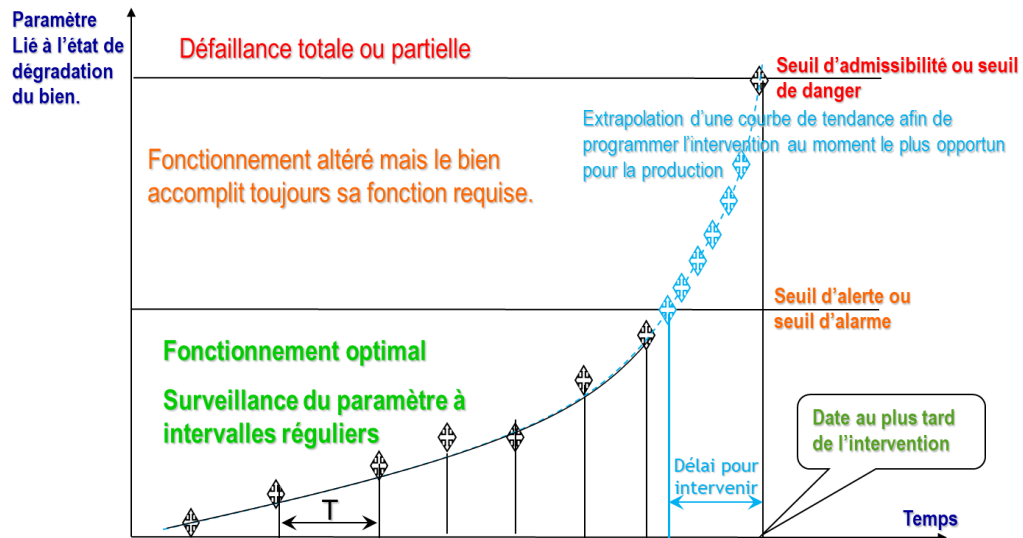


CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**25 – La maintenance préventive prévisionnelle :**

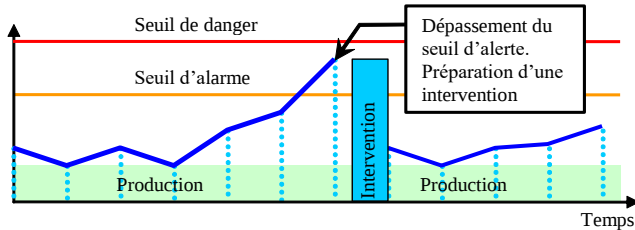
Maintenance préventive conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE



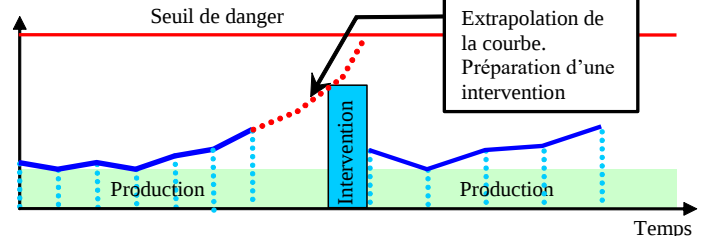
Maintenance préventive conditionnelle



DETECTION → DIAGNOSTIC → INTERVENTION

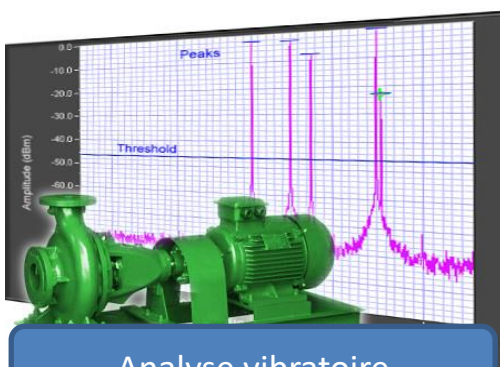
La détection d'un dépassement d'un seuil d'alarme affecté à l'évolution du paramètre étudié déclenche le diagnostic des causes de la défaillance. Les conclusions de ce diagnostic permettent de définir l'intervention de maintenance.

Maintenance préventive prévisionnelle

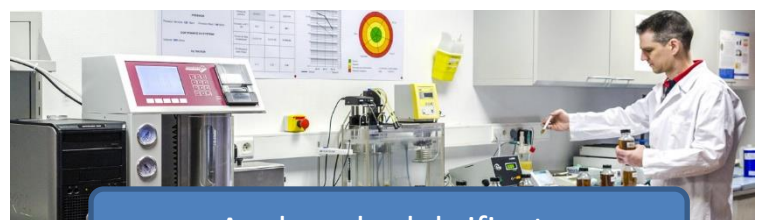


PREVISION → DIAGNOSTIC → INTERVENTION

La courbe d'évolution d'un défaut étant connue, il est possible d'en **extrapoler sa tendance pour prévoir la date de la défaillance**. A partir de cette prévision, il est planifié la date du diagnostic et du déclenchement de l'intervention de maintenance afin que cette dernière soit terminée avant que le niveau requis pour le paramètre étudié ne soit dépassé.



Analyse vibratoire



Analyse des lubrifiants



Contrôles non destructifs



Thermographie Infra-Rouge

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**III – LES OPERATIONS DE MAINTENANCE :****31 – Les opérations de maintenance corrective :***Le dépannage*

Actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée (EN 13306).

*La réparation*

Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne (EN 13306).



Le dépannage est une intervention de maintenance corrective à caractère provisoire.



Il doit obligatoire être suivi d'une réparation qui est une intervention de maintenance corrective à caractère définitif

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**32 – Les opérations de maintenance préventive :**

Les inspections : contrôles de conformité réalisés en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien. En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance (EN 13306).

C'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Pour la maintenance, cette activité peut s'exercer notamment au moyen de rondes.

Exemples : inspection des matériels de lutte contre l'incendie dans une entreprise, inspection des moyens de protection contre les risques d'accidents dans une menuiserie industrielle, inspection de l'état des élingues et des cordages utilisés sur un chantier de manutention portuaire. Ces activités d'inspection sont en général exécutées **sans outillage spécifique** et ne nécessitent **pas d'arrêt de l'outil de production ou des équipements**.

Visites : opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

Exemples : visite périodique des ascenseurs dans les immeubles d'habitation, visite périodique des organes moteurs d'un véhicule de transport, visite périodique des équipements électriques et mécaniques des engins de levage dans un hall de montage.

Contrôles : vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut :

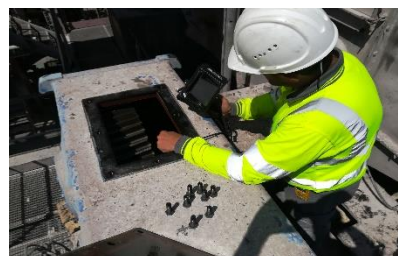
Comporter une activité d'information

Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement

Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective

Exemples : contrôle du niveau d'isolement électrique d'une installation à basse tension par rapport à la norme NFC15-100, contrôle du jeu fonctionnel dans une liaison mécanique par rapport aux spécifications du dessin technique, contrôle de la longueur des balais d'une machine tournante à courant continu par rapport à la valeur spécifiée par le service méthodes de l'entretien.

Inspection interne d'un réducteur à l'aide d'un endoscope afin de vérifier l'état des dentures



Contrôle technique d'une automobile : le contrôle peut entraîner l'acceptation du véhicule, ou une contre-visite obligatoire si des points de non-conformité sont détectés. Ces non-conformités doivent faire l'objet d'une réparation.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

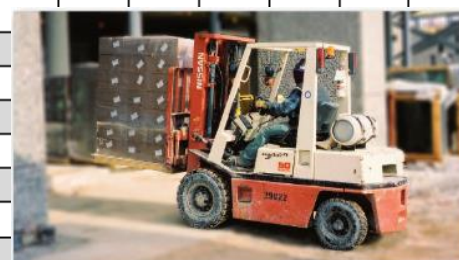
Éléments à inspecter			Lun.	Mar.	Mer.	Jeu.	Ven.	Sam.	Dim.
État général du véhicule à l'arrêt									
1	Pneus, roues (entailles, écrous de roues desserrés, pression)								
2	Niveau des fluides :	huile pour les freins							
		huile pour la transmission							
		huile hydraulique							
		huile pour le moteur							
		liquide de refroidissement							
3	Système hydraulique (boyau, fuites)								
4	Système d'alimentation en carburant (essence, diesel, propane)								
5	Points de lubrification externes								
6	Bouteille de propane fixée solidement (si applicable)								
7	Batteries (bornes)								
8	Courroies								

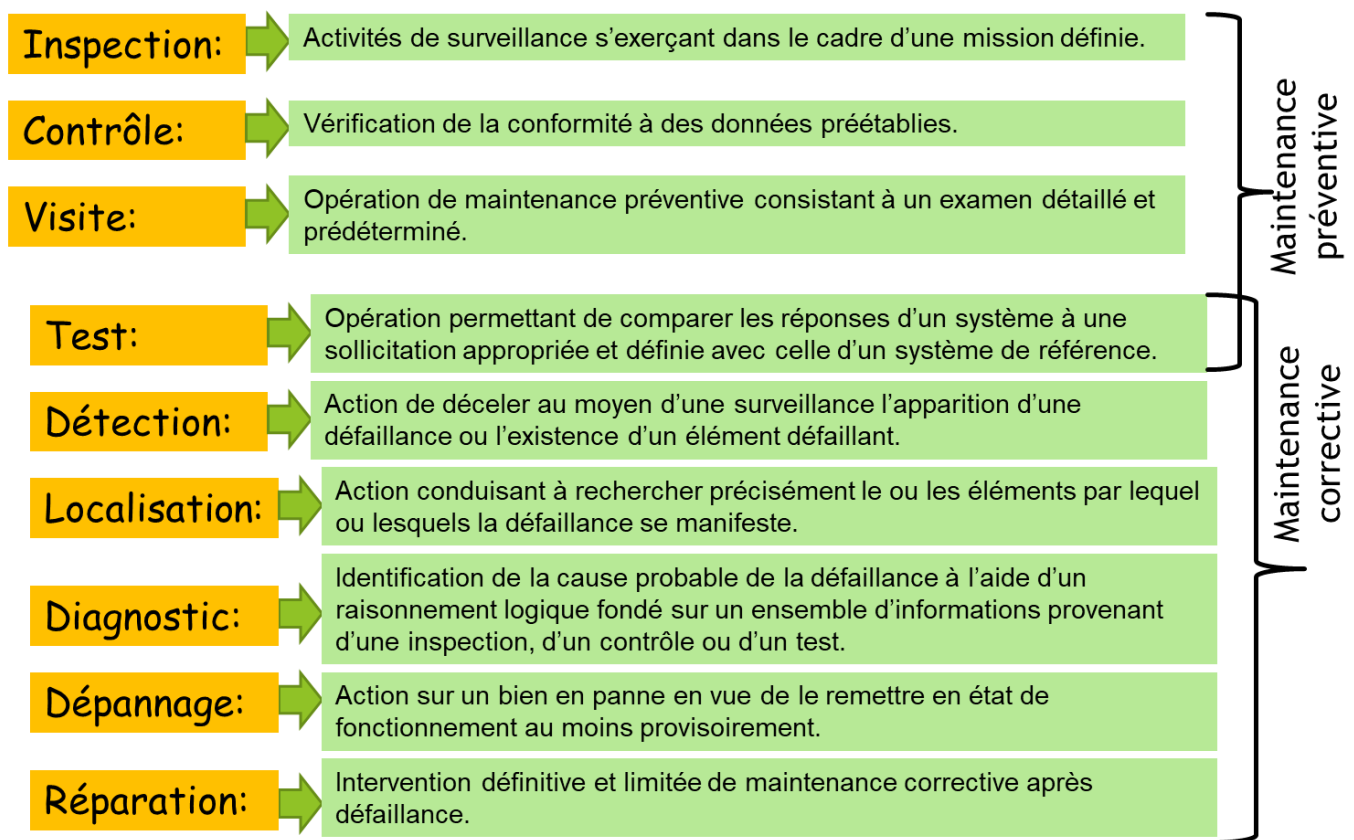
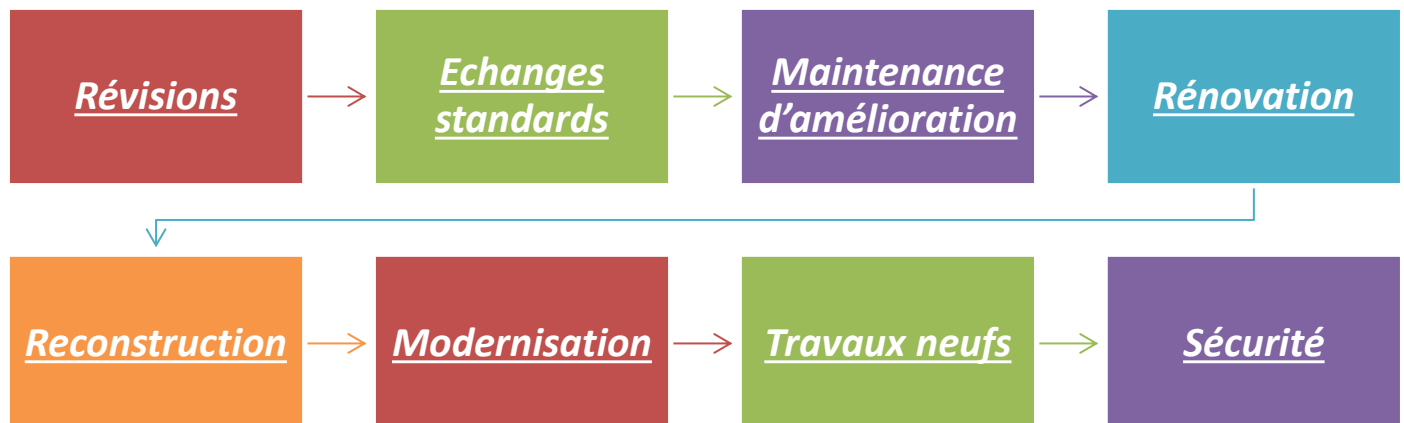
Visite quotidienne d'un chariot élévateur : Liste d'opérations à effectuer quotidiennement sur le chariot élévateur.

Un problème identifié entrainera l'immobilisation du véhicule afin de le remettre en état.

16	Extincteur								
17	Rapporteur d'angle								
18	Charte de levage								
19	Propreté :	de la cabine (plancher dégagé, vitres propres)							
		des rétroviseurs							

État général du véhicule en marche									
20	Freins :	de service avant et arrière							
		de stationnement							
21	Système d'éclairage, feux de position								
22	Témoins lumineux et instruments de lecture								
23	Klaxon, avertisseur sonore de marche arrière								
24	Essuie-glaces								
25	Essai à vide de toutes les commandes								
26	Stabilisateurs de mise à niveau (si applicable)								
27	Interrupteur de fin de course								
28	Volant de direction (répond bien, moins de ¼ de tour de jeu, etc.)								
29	Commandes hydrauliques répondent bien								
30	Systèmes d'élévation et d'inclinaison								
31	Direction (tous les modes)								
32	Transmission, direction et gamme de vitesse								
33	Tout autre élément spécifié par le fabricant								



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Synthèse - Actions de maintenance****33 – Autres activités liées à la maintenance :****Révision :**

Ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

Les échanges standards :

Reprise d'une pièce ou d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce ou d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis en état conformément aux spécifications du constructeur, moyennement le paiement d'une soulte dont le montant est déterminé d'après le coût de remise en état.

Soulte : somme d'argent qui, dans un échange ou dans un partage, compense l'inégalité de valeur des lits ou des biens échangés.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**La rénovation (extrait de la norme NF X 50-501, février 1982) :**

Inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sous-ensembles défectueux, conservation des pièces bonnes.

La reconstruction :

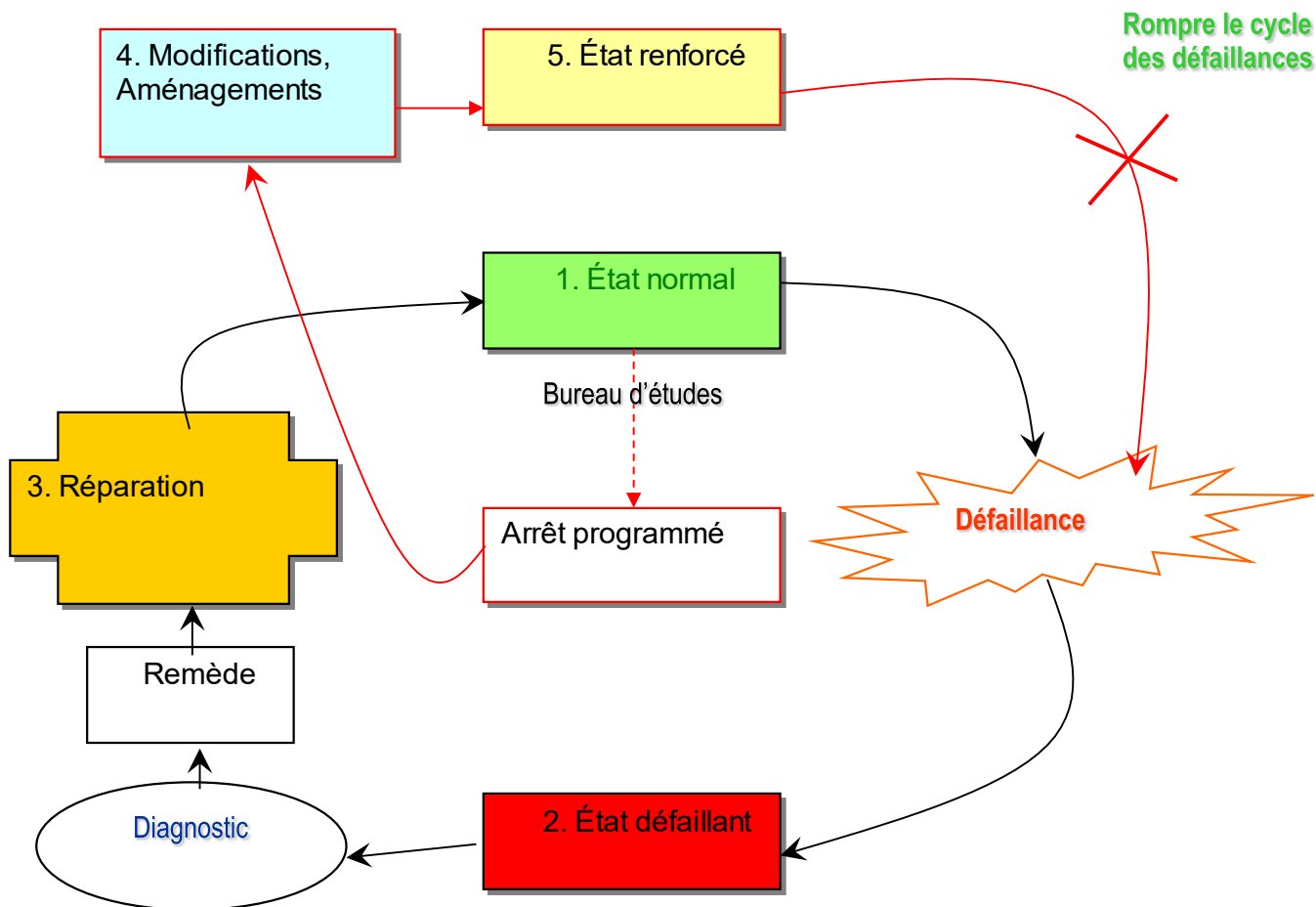
Remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes.

La modernisation :

Remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien.

Les travaux neufs**La sécurité**

La sécurité est l'ensemble des méthodes ayant pour objet, sinon de supprimer, du moins de minimiser les conséquences des défaillances ou des incidents dont un dispositif ou une installation peuvent être l'objet, conséquences qui ont un effet destructif sur le personnel, le matériel ou l'environnement de l'un et de l'autre.

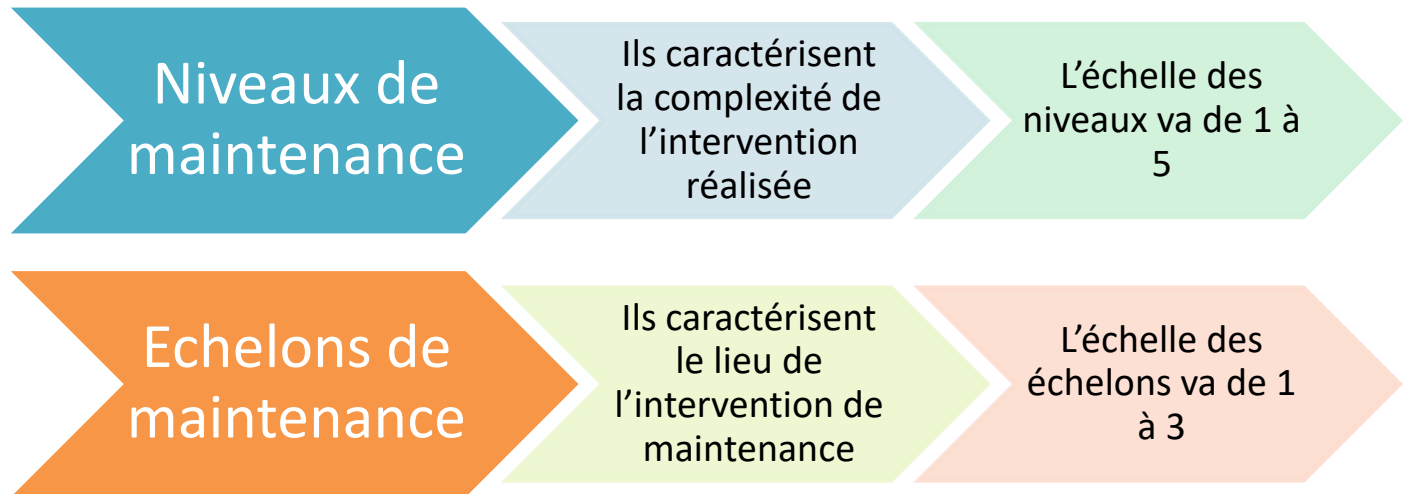
La maintenance d'amélioration :

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**ACTIVITES DE MAINTENANCE**

NATURE DE L'ACTIVITE	EXEMPLE D'ACTIVITE
■ INSPECTION Contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien.	Vérifier à l'aide d'un wattmètre que la puissance du moteur de broche des tours à commande numérique est comprise entre 15 et 16 kW.
■ SURVEILLANCE DE FONCTIONNEMENT Activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d' observer l'état réel d'un bien.	Mesure du niveau de vibrations broche : ■ vitesse (10-1000 Hz) ■ accélération (2-20 kHz)
■ ESSAI DE CONFORMITE Essai destiné à montrer si une caractéristique ou une propriété d'un bien est, ou non, conforme aux spécificités nominales.	Contrôler les arrêts d'urgence et les capots de sécurité.
■ ESSAI DE FONCTIONNEMENT Actions menées après une action de maintenance pour vérifier que le bien est capable d'accomplir la fonction requise.	Contrôler l'effort de serrage du moule suite au changement du vérin hydraulique.
■ MAINTENANCE DE ROUTINE Activités élémentaires de maintenance régulières ou répétitives qui ne requièrent généralement pas de qualifications, autorisation(s) ou d'outils spéciaux.	● Surveiller fuite d'huile et fuite air comprimé par l'opérateur à la fin de chaque journée ● Surveiller l'état mécanique des pinces de robots par le technicien de maintenance 1 fois /semaine ● Contrôler les fixations des carters
■ REVISION Ensemble complet d' examens et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.	Révision annuelle des tours CN : ■ vérification du jeu des vis à billes ■ vérification du jeu des glissières ■ nettoyage et graissage des pignons et des crémaillères ■ contrôle des sécurités
■ RECONSTRUCTION Action suivant le démontage d'un bien et la réparation ou le remplacement des composants qui approchent de la fin de leur durée de vie utile et/ou devraient être systématiquement remplacés.	● Remplacement des colonnes de guidage et des paliers lisses d'une presse ● rectification d'un banc de tour ● Soudage de renforts sur le bâti ● Usinage des portées du plateau tournant ● Contrôle de la géométrie
■ AMELIORATION Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement* d'un bien sans changer sa fonction requise.	● Changement de la technologie hydraulique tout ou rien par de l'hydraulique proportionnelle ● Remplacement d'une commande numérique par un plus récente
■ MODIFICATION Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à changer la fonction d'un bien .	Changer le vérin pneumatique par un vérin hydraulique de plus grande course et permettant d'obtenir un effort de compression plus grand.

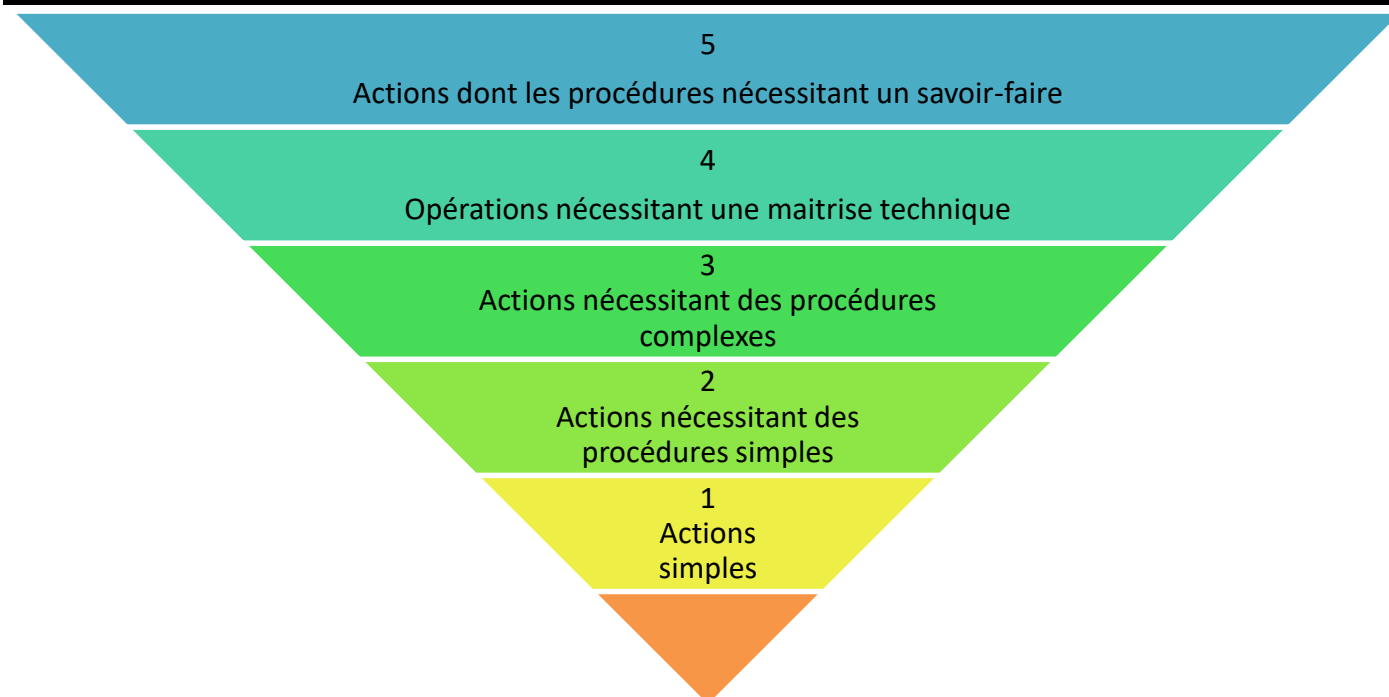
***Sûreté de fonctionnement**

Ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : **fiabilité**
maintenabilité et logistique de maintenance.

IV – NIVEAUX ET ECHELONS DE MAINTENANCE :**41 – Niveaux de maintenance :**

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en 5 niveaux de maintenance.

Niveau 1	Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité. Par l'exploitant sur place / Personnel de production Avec de l'outillage léger défini dans des procédures.
Niveau 2	Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventives (rondes) Par un technicien habilité, sur place Avec de l'outillage léger défini dans des procédures, ainsi que des pièces de rechange trouvées à proximité, sans délai.
Niveau 3	Identification et diagnostic de panne, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures. Par un technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance. Avec l'outillage prévu plus appareil de mesure, banc d'essai, contrôle...
Niveau 4	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive. Par une équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central. Avec de l'outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle...
Niveau 5	Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier central. Par une équipe complète, polyvalente, en atelier central. Avec des moyens proches de la fabrication par le constructeur.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**42 – Echelons de maintenance :**

Il est important de ne pas confondre les niveaux de maintenance avec la notion d'échelon de maintenance qui spécifie l'endroit où les interventions sont effectuées. On définit généralement 3 échelons qui sont :

Echelon 1 : **Maintenance sur site** : l'intervention est directement réalisée sur le matériel en place.

Echelon 2 : **maintenance en atelier** : le matériel à réparer est transporté dans un endroit, sur site, approprié à l'intervention.

Echelon 3 : **maintenance chez le constructeur ou une société spécialisée** : le matériel est alors transporté pour que soient effectuées les opérations nécessitant des moyens spécifiques.

I – LE CONCEPT DE FIABILITE :**11 – Définition selon la norme NF EN 13306 :**

Définition

- Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné (NF EN 13306) ou "caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné" (NF X 50 – 500).



La notion de temps peut prendre la forme d'unités d'usage :



- De nombre de cycles effectués
⇒ machine automatique



- De distance parcourue ⇒ matériel roulant



- De tonnage produit ⇒ équipement de production

12 – Commentaires :

Un équipement est **fiable** s'il subit peu d'arrêts pour pannes.
La notion de fiabilité s'applique :

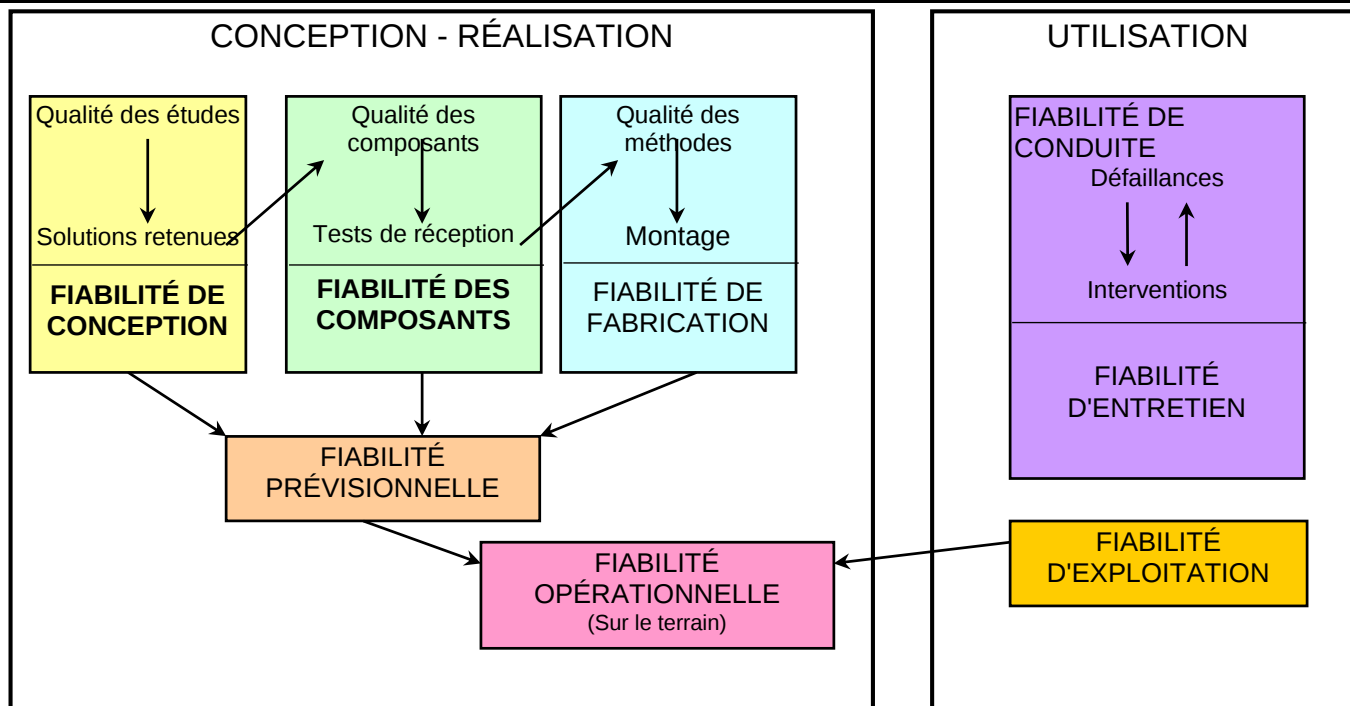


- A du système réparable
Un système réparable est un système qui peut être remis en état après qu'il soit tombé en panne.

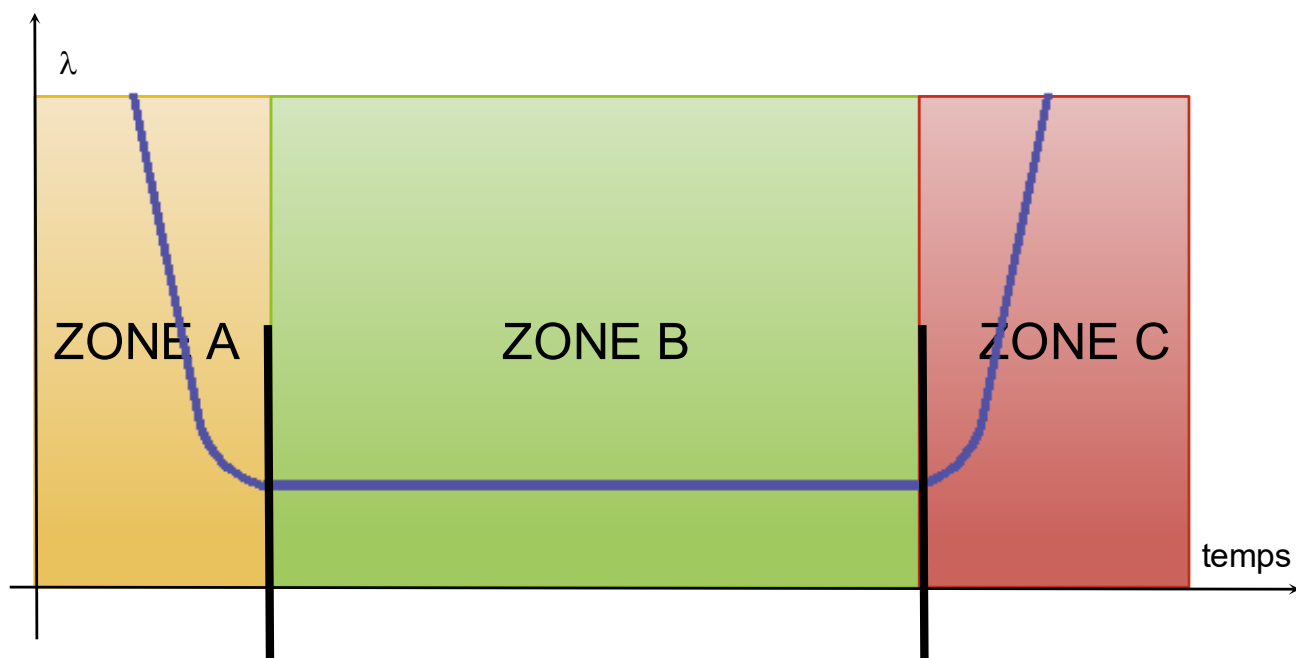


- A des systèmes non réparables
Un système non réparable est un système qui est mis au rebut des qu'il tombe en panne.

La fiabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**13 – Le taux de défaillance :**

Pour un équipement (système réparable) le taux de défaillance se traduit souvent par une courbe dite « **courbe en baignoire** » mettant en évidence 3 époques :



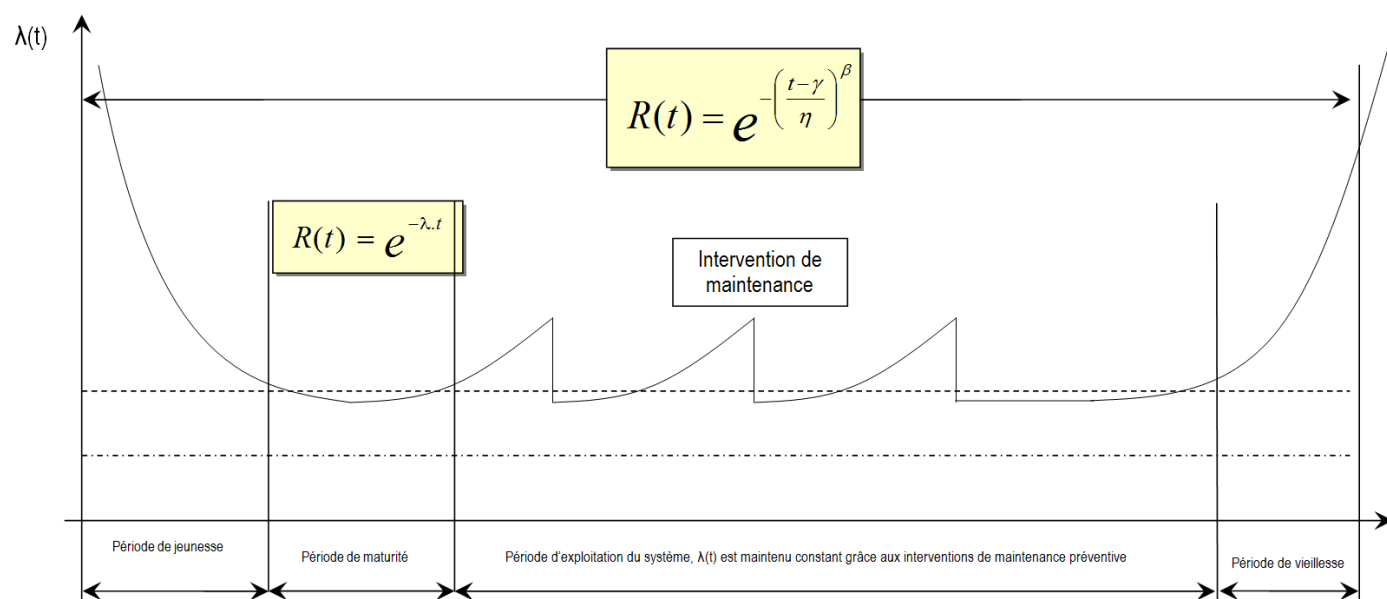
Zone A	Zone B	Zone C
<i>Epoque de jeunesse.</i>	<i>Epoque de maturité, fonctionnement normal, défaillance aléatoire indépendante du temps.</i>	<i>Epoque d'obsolescence, défaillances d'usure ou pannes de vieillesse.</i>

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Zone A	Zone B	Zone C
Mortalité infantile, défaillance précoce : en état de fonctionnement à l'origine (mise en service), période de rodage (pré usure), présélection des composants électroniques (déverminage).	Période de vie utile, de défaillances aléatoires : période de rendement optimal du matériel, taux de défaillance constant. Les défaillances apparaissent sans dégradations préalables visibles, par des causes diverses.	Vieillesse, usure. Un mode défaillance prédominant, généralement visible, entraîne une dégradation accélérée, à taux de défaillance croissant (pour un mécanisme). Souvent on trouve une usure mécanique, de la fatigue, une érosion ou une corrosion. A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est « mort ». Il est alors déclassé, puis rebuté ou parfois reconstruit. La détermination du seuil de réforme est obtenue à partir de critères technico-économiques.

Formes de maintenance et taux de défaillance :

Il existe une relation entre la période dans laquelle se situe le matériel et la méthode de maintenance à lui appliquer.



Période de jeunesse	Période de maturité	Période de vieillesse
Type de maintenance à appliquer : MAINTENANCE CORRECTIVE	Type de maintenance à appliquer : MAINTENANCE PREVENTIVE SYSTEMATIQUE OU CONDITIONNELLE	Type de maintenance à appliquer : MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE OU MAINTENANCE AMELIORATIVE

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**14 – Cas particulier de l'époque de maturité :**

Durant cette période, le taux de défaillance est sensiblement constant, la fiabilité peut donc se caractériser par la MTBF (Mean Time Between Failure).

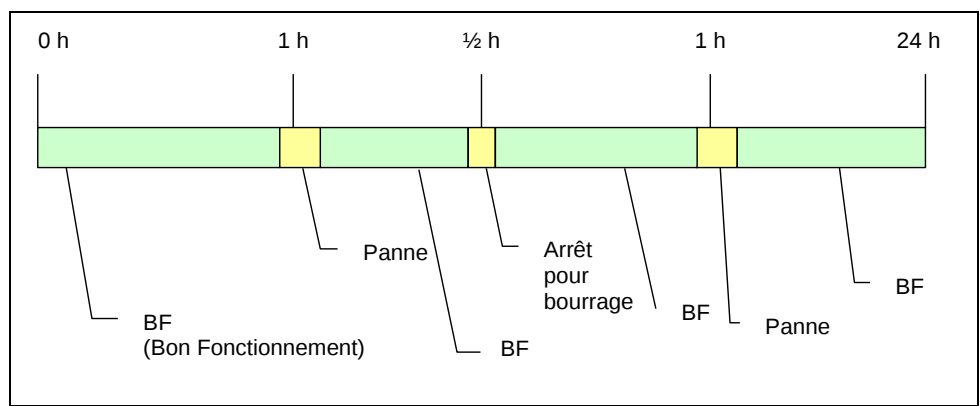
MTBF : Mean Time Between Failure : moyenne des temps de bon fonctionnement entre défaillances consécutives.

Calcul de la MTBF :

$$MTBF = \frac{\text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{Nombre de pannes}}$$

Exemple :

$$MTBF = (24 - 1 - 0,5 - 1) / 3 = 7,2 \text{ heures.}$$

**Calcul du taux de défaillance moyen :**

Appelé également **taux de panne**, il est égal à l'unité de temps sur la MTBF :

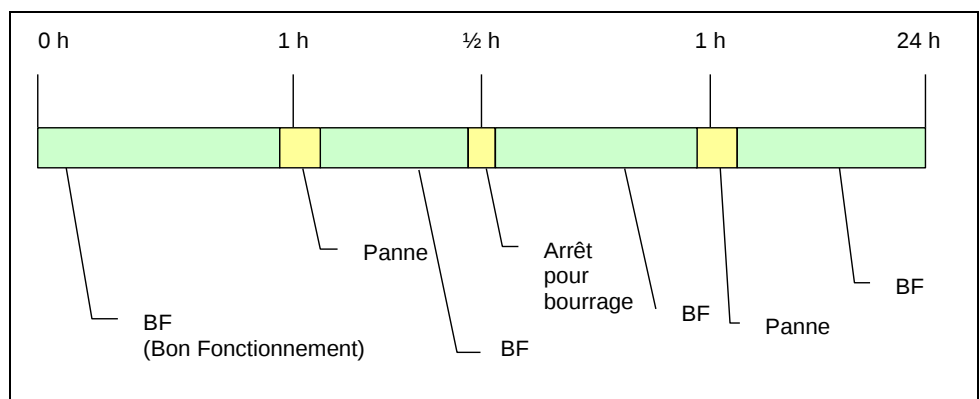
$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Exemple :

$\lambda =$

Pour l'exemple précédent :

$$\lambda_{(\text{moy})} = 1 / 5,37 = 0,19 \text{ panne / heure}$$



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Exemple :**

Dans cette partie, on s'intéresse aux temps de bon fonctionnement (TBF) d'une presse. A chaque panne, on associe le nombre d'heures de bon fonctionnement ayant précédé de cette panne.

Les observations se sont déroulées sur une période de 4 ans et ont donné les résultats suivants :

Rang de la panne	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TBF ayant précédé la panne (en jours)	55	26	13	80	14	21	124	35	18	26

⇒ Calculer au jour près par défaut, le temps moyen de bon fonctionnement entre deux pannes :

$$MTBF = \frac{55+26+13+80+14+21+124+35+18+26}{10} = \frac{412}{10} = 41,2 \approx 41 \text{ jours}$$

⇒ Calculer le taux de défaillance moyen :

$$\lambda_{moyen} = \frac{1}{41} \approx 0,02 \text{ panne / jour}$$

II – LA MAINTENABILITE :**21 – Définition :**

Définition

- « Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. » (NF X60-010).

22 – Commentaires :

La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement.



Cette notion ne peut s'appliquer qu'à du matériel maintenable, donc réparable.



« Les moyens prescrits » englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, etc.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

<u>Facteurs liés à l' EQUIPEMENT</u>		<u>Facteurs liés au CONSTRUCTEUR</u>		<u>Facteurs liés à la MAINTENANCE</u>
- documentation - aptitude au démontage - facilité d'utilisation		- conception - qualité du service après-vente - facilité d'obtention des pièces de rechange - coût des pièces de rechange		- préparation et formation des personnels - moyens adéquats - études d'améliorations (maintenance améliorative)

Remarques : on peut améliorer la maintenabilité en :

- Développant les documents d'aide à l'intervention

- Améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher)

- Améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

23 – Calcul de la maintenabilité :

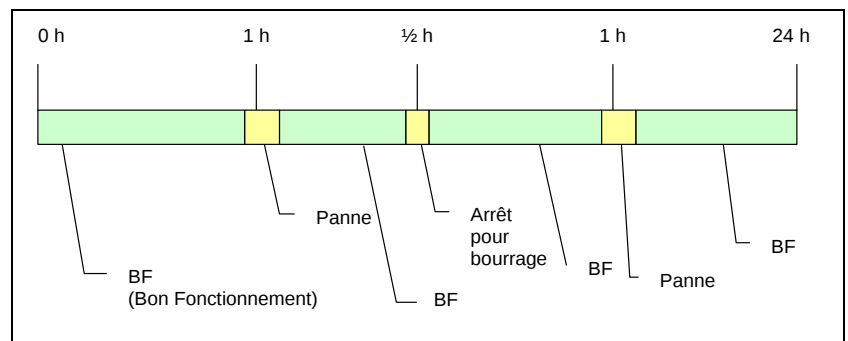
La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour n pannes}}{\text{Nombre de pannes}}$$

Exemple :

MTTR =

$$MTTR = \frac{2,5}{3} = 0,83 \text{ heure}$$



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**24 – Taux de réparation μ :**

Il est égal à l'unité de temps sur la MTTR :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

Pour l'exemple précédent :

$$\mu = 1 / 0,83 = 1,20 \text{ (sans unité)}$$

Exemple :

Dans cette partie, on s'intéresse aux temps de réparation (TTR) d'une presse. A chaque panne, on associe le nombre d'heures réparation de chaque panne.

Les observations se sont déroulées sur une période de 4 ans et ont donné les résultats suivants :

Rang de la panne	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TTR (temps de réparation (en heures))	2	3	1,5	20	5	3	2,5	12	1	0,5

⇒ Calculer à l'heure près par défaut, le temps moyen de réparation :

$$MTTR = \frac{2+3+1,5+20+5+3+2,5+12+1+0,5}{10} = \frac{50,5}{10} \approx 5 \text{ heures}$$

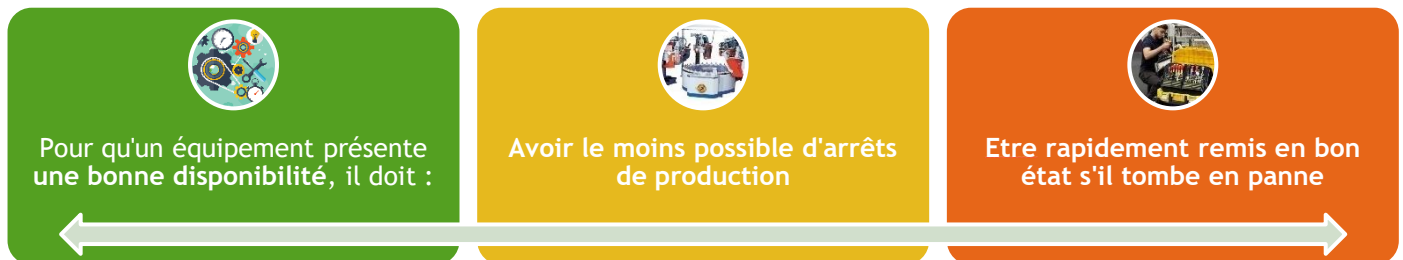
⇒ Calculer le taux de réparation :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{5} = 0,2$$

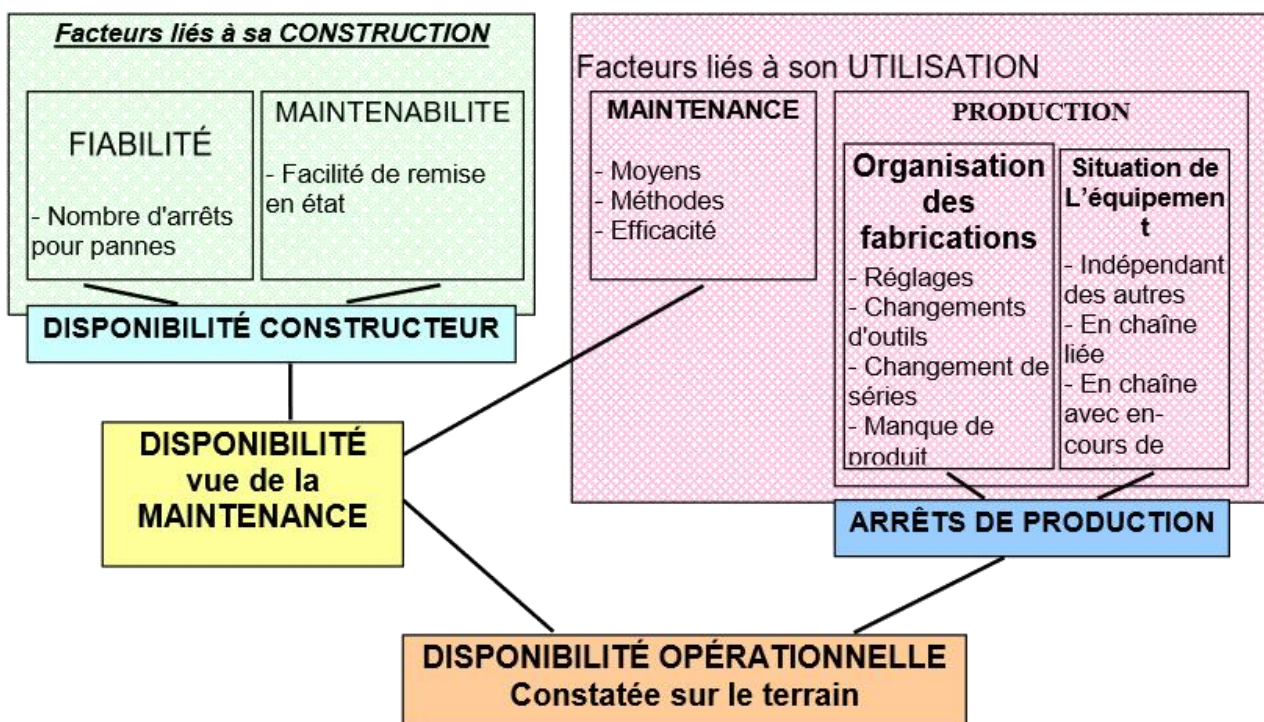
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**III – LE CONCEPT DE DISPONIBILITE :****31 – Définition :**

Définition

- « Aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées » (NF X60-010).

32 – Commentaires :

La disponibilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Pour augmenter la disponibilité,
on peut

Allonger la MTBF

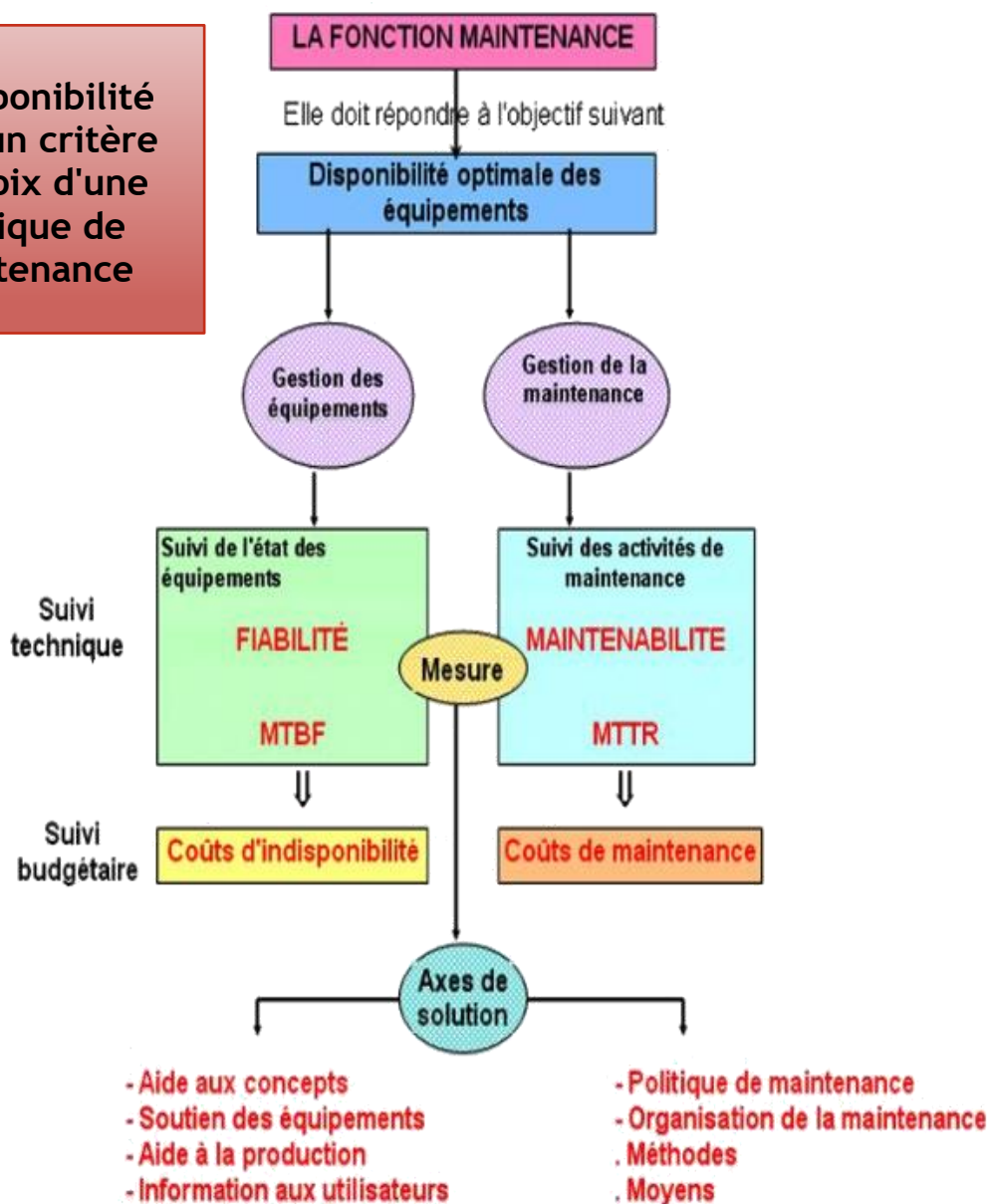
Action sur la
fiabilité

Diminuer la MTTR

Action sur la
maintenabilité

33 – Synthèse :

La disponibilité
reste un critère
de choix d'une
politique de
maintenance



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**34 – Quantification de la disponibilité :**

La disponibilité sur un intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport :

$$\frac{\text{Temps de disponibilité}}{\text{Temps de disponibilité} + \text{temps d'indisponibilité}}$$

En l'exprimant par rapport à des temps moyens, la disponibilité moyenne s'écrit :

$$\frac{\text{Temps moyen de disponibilité}}{\text{Temps moyen de disponibilité} + \text{temps moyen d'indisponibilité}}$$

35 – Disponibilité intrinsèque D_i :

Elle exprime le point de vue du concepteur.

• Ce dernier a conçu et fabriqué le produit en lui donnant un certain nombre de **caractéristiques intrinsèques**, c'est à dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées idéales.

Ex : un fabricant de contacteur indique que tel type de contacteur peut supporter 1 million de cycles de manœuvres dans des conditions d'utilisation bien précises.

Le calcul de la disponibilité intrinsèque D_i fait appel à 3 paramètres :

- **TBF** : temps de bon fonctionnement
- **TTR** : temps d'arrêt techniques de réparation et de maintenance
- **TTE** : temps d'arrêt techniques d'exploitation (temps liés à des arrêts de production)

$$D_i = \frac{\text{TBF}}{\text{TBF} + \text{TTR} + \text{TTE}}$$

Un constructeur d'onduleurs précise que la moyenne des TBF est de 50000 heures et que la moyenne des TTR est de 10 heures :

$$D_i = 50000 / (50000 + 10) = 0,9998$$

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Un fabricant de machines-outils prévoit en accord avec son client la disponibilité intrinsèque d'une machine en prenant compte des conditions idéales d'exploitation et de maintenance :

- Temps d'ouverture mensuel = 400 heures
- 1 changement de fabrication par mois = 6 heures
- Maintenance corrective mensuelle : taux de défaillance = 1 pannes / mois ; TTR estimé = 4 heures
- Maintenance préventive mensuelle = 3 heures

$$TBF = 400 - 6 - 4 - 3 = 387 \text{ heures}$$

$$TTR = 4 + 3 = 7 \text{ heures}$$

$$TTE = 6 \text{ heures}$$

$$Di = 387 / (387 + 7 + 6) = 0,9675$$

36 – Disponibilité opérationnelle Do :

Il s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance.

C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur.

Le calcul de Do fait appel aux mêmes paramètres sauf que ces 3 paramètres ne sont plus basés sur les conditions idéales de fonctionnement mais sur les conditions réelles (historique d'exploitation).

Sur la machine-outil précédente, une étude d'exploitation sur un mois a conduit aux résultats réels suivants :

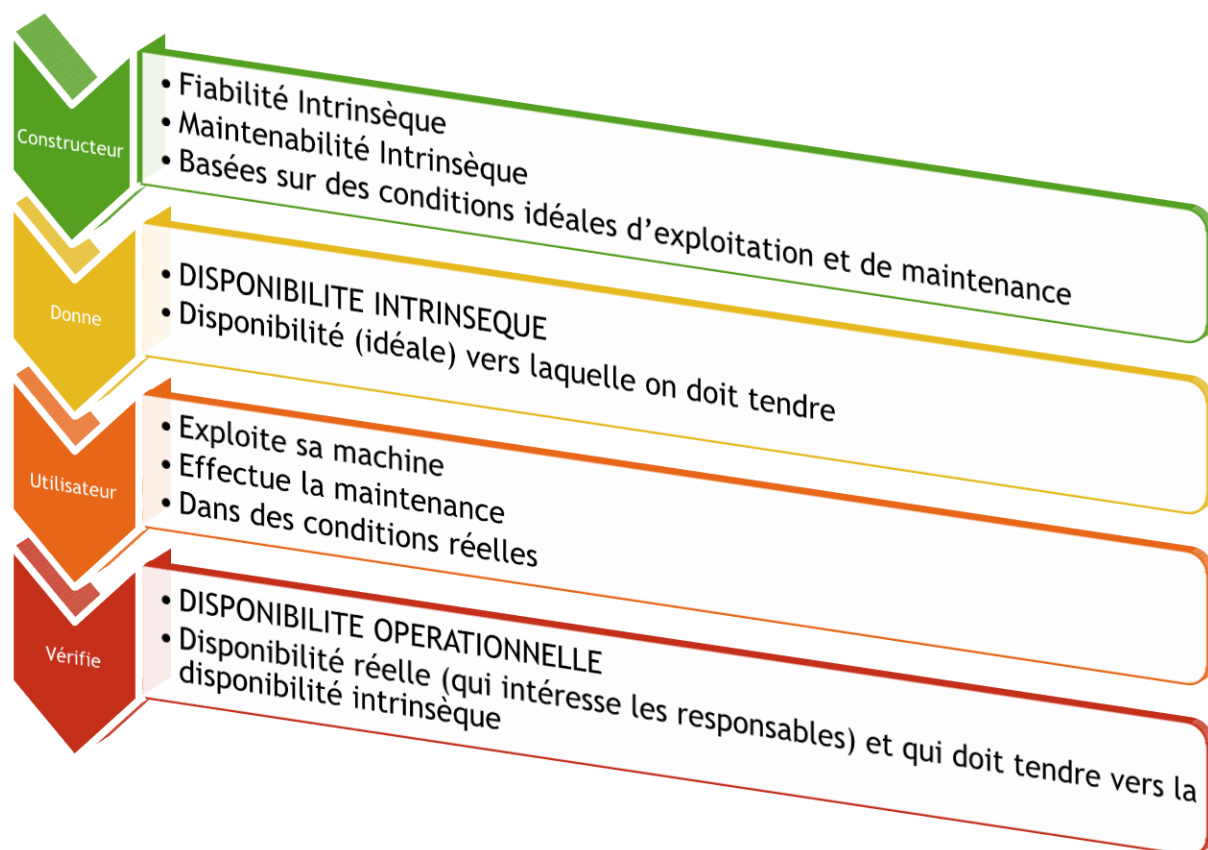
- Temps d'ouverture mensuel = 400 heures
- Changement de production = 6 heures
- Manque approvisionnement matière = 3 heures
- Maintenance préventive = 3 heures
- Maintenance corrective = 8 heures (3 heures d'attente maintenance + 5 heures d'intervention)

$$TBF = 400 - 6 - 3 - 3 - 8 = 380 \text{ heures}$$

$$TTR = 3 + 8 = 11 \text{ heures}$$

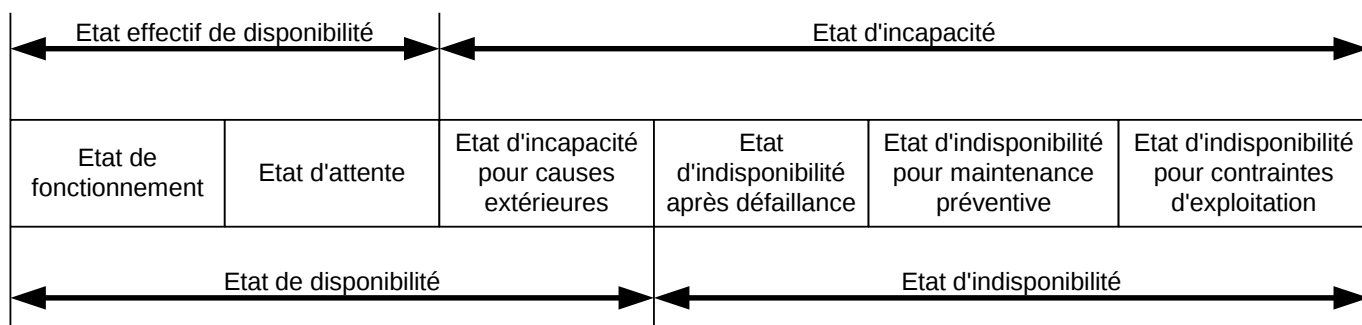
$$TTE = 6 + 3 = 9 \text{ heures}$$

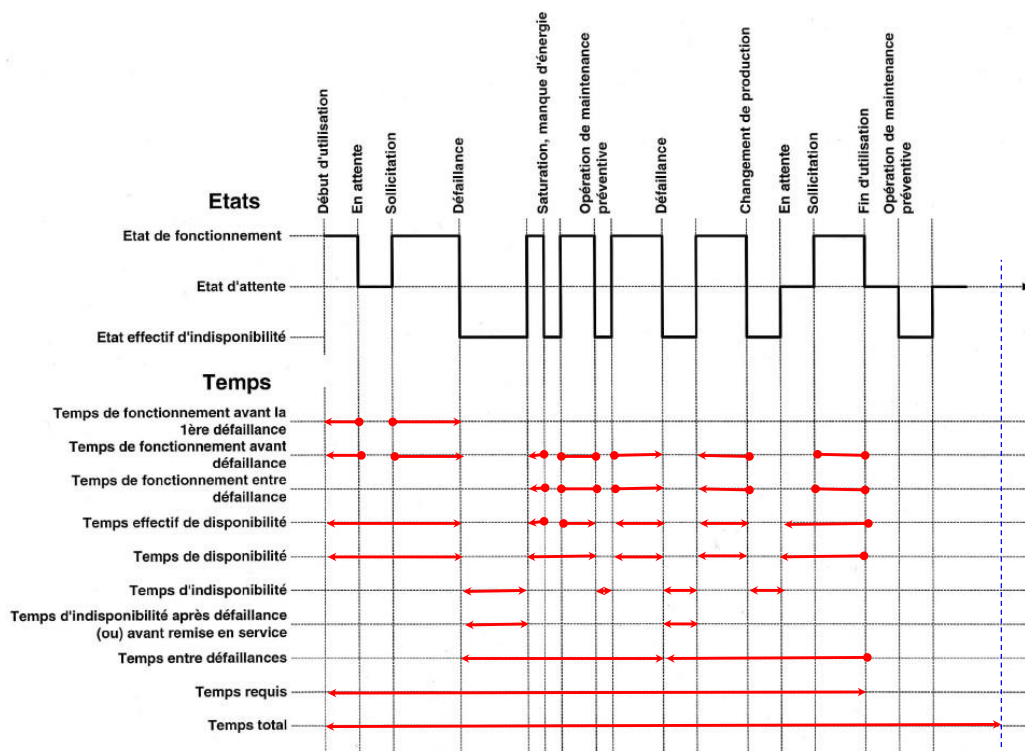
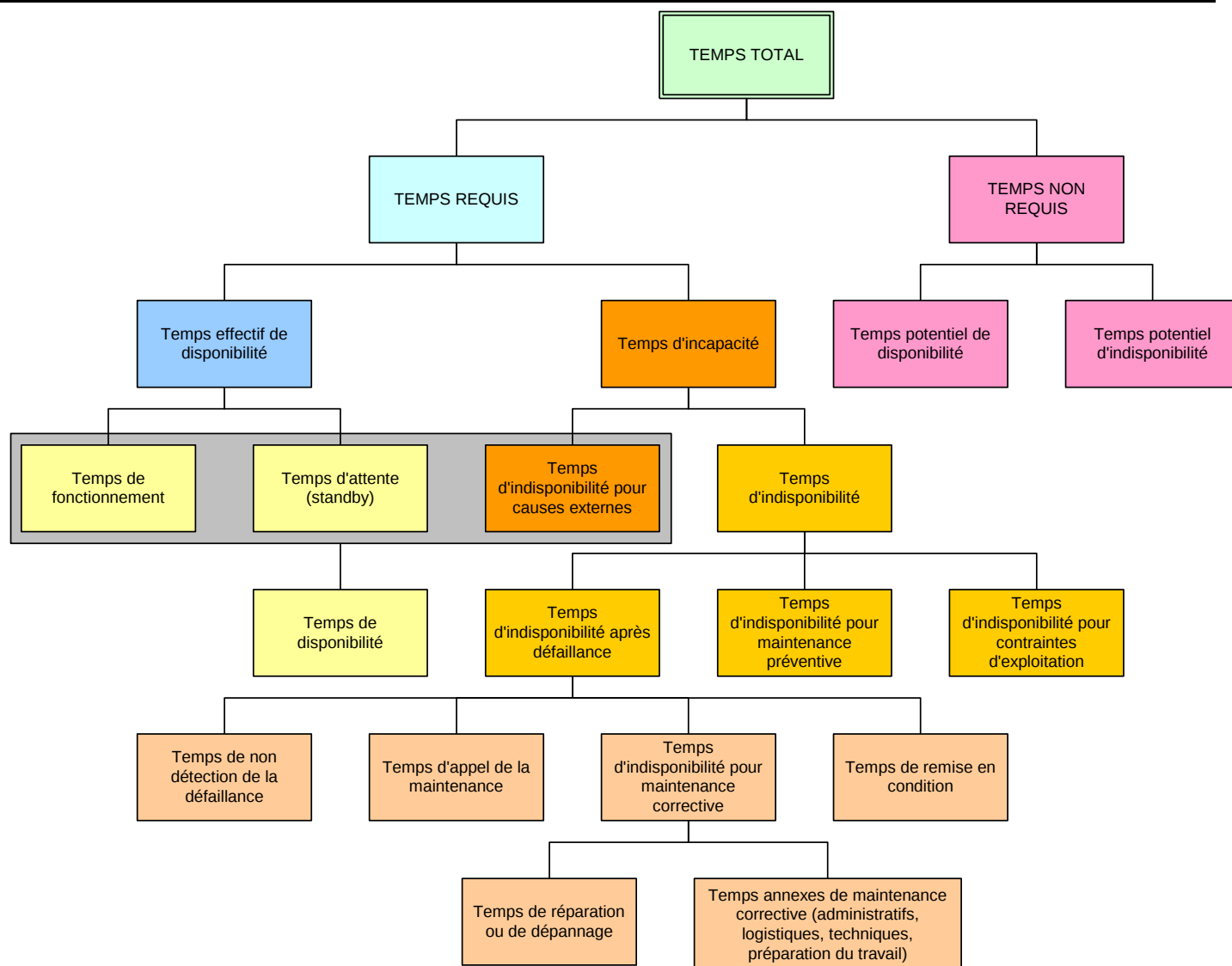
$$Do = 380 / (380 + 9 + 11) = 0,95$$

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**37 – Synthèse Di - Do :****IV – NOTIONS TEMPORELLES RELATIVES AUX ETATS D'UNE ENTITE :**

La norme NF EN 13306 définit avec précision les différents types d'arrêts associés aux états d'une entité. Elle distingue le temps effectif de disponibilité du temps de disponibilité, ce dernier incluant les temps d'arrêt pour causes extérieures.

Ex : un temps d'arrêt dur à une coupure EDF ou une grève du personnel est à considérer comme temps de disponibilité. Cette décomposition temporelle permet d'y associer plusieurs calculs de disponibilité présentant chacun un intérêt particulier.



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Etat de fonctionnement : état dans lequel le bien accomplit une fonction requise.

Etat d'attente : état dans lequel le bien, pendant une période requise, est apte à accomplir une fonction requise, mais n'est pas sollicité.

Etat effectif de disponibilité : état dans lequel l'entité est effectivement apte à accomplir une fonction requise et où la fourniture des moyens extérieurs éventuellement nécessaire est assurée.

Etat d'incapacité : état dans lequel l'entité est dans l'incapacité d'accomplir une fonction requise pour des causes imputables à l'entité ou extérieures à celle-ci.

Etat d'incapacité pour causes extérieures : état d'incapacité d'une entité apte à accomplir une fonction requise mais ne pouvant fonctionner pour des causes extérieures à l'entité (manque d'alimentation, de main d'œuvre, manque ou saturation de pièces, pièces en amont non conformes, etc.).

Etat d'indisponibilité après défaillance : état dans lequel l'entité est inapte à accomplir une fonction requise à la suite d'une défaillance et avant remise en service.

Etat d'indisponibilité pour maintenance préventive : état dans lequel l'entité est inapte à accomplir une fonction requise pendant des opérations de maintenance préventive.

Etat d'indisponibilité pour contraintes d'exploitation : état dans lequel l'entité est inapte à accomplir une fonction requise par suite d'actions relatives à son exploitation et influençant sa disponibilité (changement d'outil selon les programmes de fabrication, contrôle sur l'entité du produit fabriqué, etc.).

Etat de disponibilité : état dans lequel l'entité est apte à accomplir une fonction requise, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs éventuellement nécessaires est assurée.

Etat d'indisponibilité : état dans lequel l'entité est inapte à accomplir une fonction requise pour des causes inhérentes à l'entité.

Temps total : période de référence choisie pour l'analyse des temps.

Temps requis : période de temps pendant laquelle l'utilisateur de l'entité exige qu'elle soit en état d'accomplir une fonction requise.

Temps effectif de disponibilité : partie du temps requis correspondant à un état effectif de disponibilité. Ce temps peut comporter des opérations de maintenance n'entraînant pas l'indisponibilité de l'entité.

Temps de disponibilité : période du temps requis correspondant à un état de disponibilité.

Temps de fonctionnement : partie du temps effectif de disponibilité correspondant à un état de fonctionnement de l'entité. Ce temps constitue la base de calcul pour déterminer le nombre d'unités d'usage.

Temps d'attente : partie du temps effectif de disponibilité correspondant à un état d'attente de l'entité.

Temps d'incapacité : partie du temps requis correspondant à un état d'incapacité.

Temps d'incapacité pour causes extérieures : partie du temps d'incapacité correspondant à un état d'incapacité pour causes extérieures.

Temps d'indisponibilité : partie du temps d'incapacité correspondant à un état d'indisponibilité.

Temps d'indisponibilité après défaillance : partie du temps d'indisponibilité correspondant à un état d'indisponibilité après défaillance.

Temps de non détection de la défaillance : intervalle de temps compris entre l'instant où survient la défaillance et l'instant où elle est détectée.

Temps d'appel de la maintenance : intervalle de temps compris entre l'instant où la défaillance est détectée et l'instant où la maintenance est déclenchée.

Temps d'indisponibilité pour maintenance corrective : intervalle de temps correspondant à une intervention corrective sur l'entité.

Temps de réparation : partie du temps d'indisponibilité pour maintenance corrective pendant laquelle les opérations de maintenance corrective sont effectivement réalisées sur l'entité. Ce temps comprend le temps de localisation, de diagnostic, de correction de panne et de contrôles et d'essais finals. Ce temps suppose que la logistique de maintenance soit assurée.

Temps annexes de maintenance corrective : partie du temps d'indisponibilité pour maintenance corrective correspondant aux délais de mise en œuvre des opérations de maintenance corrective sur l'entité. Il comprend les temps administratifs, les temps logistiques, les temps techniques et les temps de préparation du travail.

Temps de remise en condition : intervalle de temps nécessaire après les activités de maintenance pour remettre l'entité en condition de réaliser une fonction requise dans sa configuration de fonctionnement.

Temps d'indisponibilité pour maintenance préventive : partie du temps d'indisponibilité correspondant à un état d'indisponibilité pour maintenance préventive.

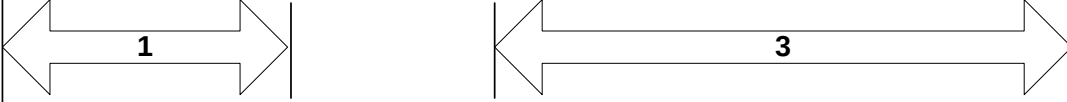
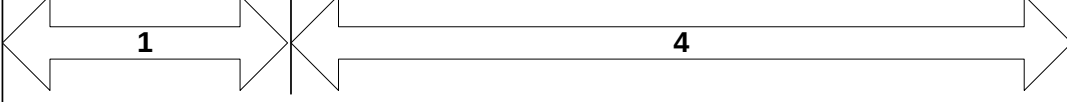
Temps d'indisponibilité pour contraintes d'exploitation : partie du temps d'indisponibilité correspondant à un état d'indisponibilité pour contraintes d'exploitation.

Temps non requis : période de temps pendant laquelle l'utilisateur de l'entité n'exige pas que l'entité soit en état d'accomplir une fonction requise.

Temps potentiel de disponibilité : fraction du temps non requis pendant laquelle l'entité est disponible.

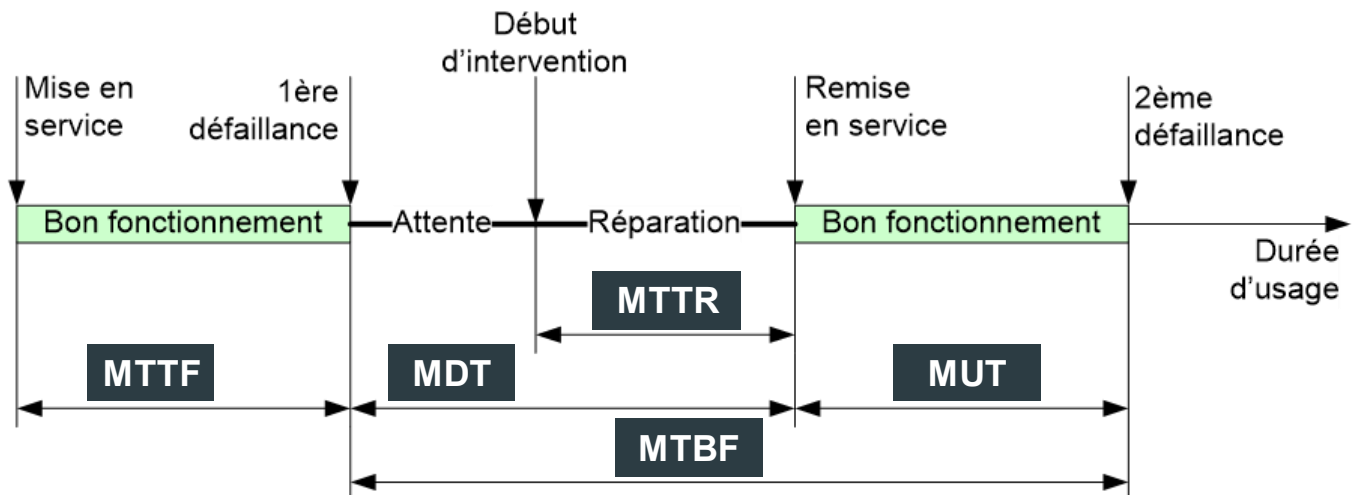
Temps potentiel d'indisponibilité : fraction du temps non requis pendant laquelle l'entité serait inapte à accomplir une fonction requise quelle qu'en soit la cause.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

NATURE DES TEMPS	TEMPS TOTAL																		
	TEMPS REQUIS														TEMPS NON REQUIS				
	TEMPS EFFECTIF DE DISPONIBILITE		TEMPS D'INCAPACITE																
	TEMPS DE DISPONIBILITE					TEMPS D'INDISPONIBILITE													
SITUATIONS CORRESPONDANTES	Fonctionnement	Attente	Incapacité pour causes extérieures				Maintenance préventive		Contraintes d'exploitation			Indisponibilité après défaillance				Temps potentiel de disponibilité	Indisponibilité après défaillance		
	Matériel accomplissant la fonction requise	Matériel non sollicité	Manque alimentation énergie	Manque main d'oeuvre	Manque ou saturation pièce	Pièces en amont non conformes	Maintenance préventive de niveau 1 et 2	Inspection - contrôles	Visites	Changement d'outils programmé	Changement de fabrication	Contrôle produits fabriqués	Tps de réparation (diagnostic, réparation, remise en service)	Remise en condition	Non détection	Appel à la maintenance	Approvisionnement en outillages	Approvisionnement en pièces de rechange	Non besoin de production
CALCULS DE DISPONIBILITE	Disponibilité intrinsèque : $D_i = (1) / (1 + 2)$																		
																			
	Du point de vue maintenance : $D_m = (1) / (1 + 3)$																		
																			
Disponibilité opérationnelle : $D_o = (1) / (1 + 4)$																			
																			
$D_i > D_m > D_o$																			
Disponibilité intrinsèque D_i			Caractérise les qualités intrinsèques d'une entité. La carence des moyens extérieurs et des moyens de maintenance ne sont pas pris en compte.																
Disponibilité du point de vue maintenance D_m			Conforme à la définition de la norme, seule la carence des moyens de maintenance est prise en compte																
Disponibilité opérationnelle D_o			Caractérise les conditions réelles d'exploitation et de maintenance																

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**V – ANALYSE FMD : INDICATEURS OPERATIONNELS :**

La figure ci-dessous schématise les états successifs que peut prendre un système réparable :



En fait, les grandeurs portées par le graphe sont des durées (comme les TBF) auxquelles on associe des moyennes (comme la MTBF) obtenues par exploitations des durées constatées et enregistrées. Les sigles utilisés, d'origine anglo-saxonne, correspondent aux notions suivantes :

MTTF	MTBF	MDT
<i>(mean time to [first] failure) : moyenne des temps avant la 1ère défaillance</i>	<i>(mean time between failures) : moyenne des temps entre 2 défaillances consécutives</i>	<i>(mean down time) : appelé encore MTI, c'est le temps moyen d'indisponibilité ou temps moyen d'arrêt propre</i>
MUT	MTTR	
<i>(mean up time) : temps moyen de disponibilité</i>	<i>(mean time to repair) : temps moyen de réparation</i>	

Ce graphe illustre l'attention qu'il faut porter aux traductions que l'on effectue en français depuis les termes anglo-saxons. En effet, les abus de langage provoquent parfois des incohérences ou des erreurs de compréhension.

La traduction que l'on fait de la MTBF « moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF » correspond en fait au MUT. La traduction que l'on fait de la MTTR « moyenne des temps techniques de réparation MTTR » correspond en fait au MDT.

Ces approximations ne sont valables que dans les cas suivants :

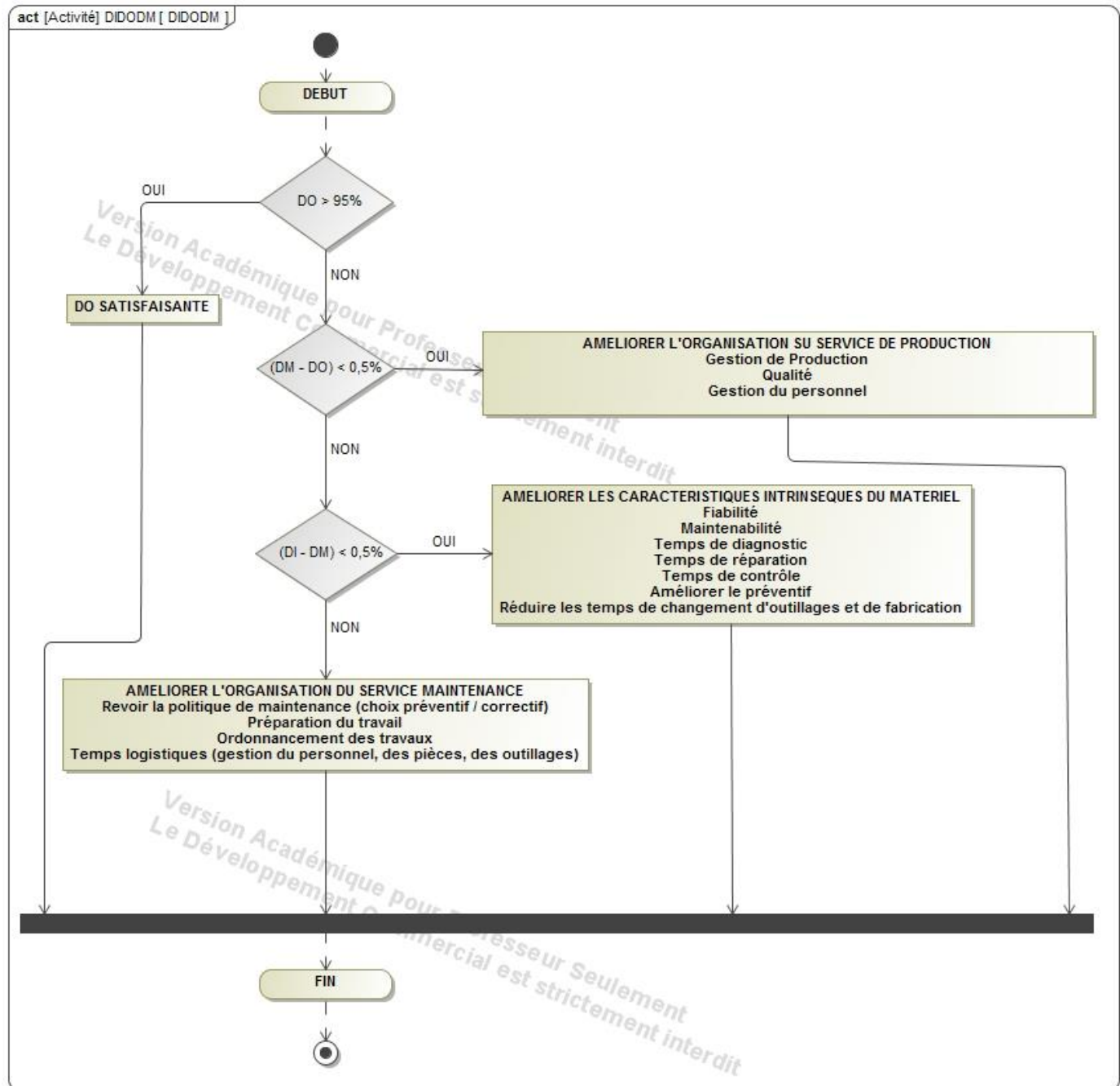
- ☐ Dans de nombreux cas, MDT = MTTR : temps d'attente à la maintenance très faibles
- ☐ Pour de nombreux systèmes, MDT est faible devant MUT ; et donc la différence entre MUT et MTBF est faible.

Dans les analyses de disponibilité, il faudra donc au préalable définir les termes et abréviations que l'on utilisera.

VI – METHODOLOGIE D'ETUDE DE LA DISPONIBILITE :**Méthodologie d'étude de la disponibilité :**

1. Identifier le temps requis ou le temps d'ouverture : TR
2. Identifier le temps de bon fonctionnement TBF (s'il n'existe pas, se reporter au point N°7)
3. Identifier les temps techniques de maintenance TTM
4. Identifier les temps techniques liés à la production (synonyme = exploitation) : TTE
5. Identifier les temps non techniques ou d'attente liés à la maintenance : $TATM$
6. Identifier les temps non techniques ou d'attente liés à la production : $TATP$
7. Calculer le TBF = $TR - (TTM + TTE + TATM + TATP)$
8. Calculer la dispo intrinsèque $Di = TBF / (TBF + TTM + TTE)$
9. Calculer la dispo vue de la maintenance
 $Dm = TBF / (TBF + TTM + TTE + TATM)$
10. Calculer la dispo opérationnelle $Do = TBF / TR$

$$Di > Dm > Do$$

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**VII – LA TPM – TOTALE PRODUCTIVE MAINTENANCE :****71 – Objectifs :**

Obtenir le rendement maximal des équipements.

Mettre en place une maintenance productive pour la durée de vie total des équipements.

Améliorer la productivité des systèmes en impliquant l'exploitation et la maintenance.

Impliquer la participation de toute la hiérarchie.

Afin de réduire les coûts en augmentant la productivité sans réduire la qualité du produit.

Cette démarche globale améliore les performances de l'ensemble de l'outil de production.

72 – Les 8 piliers de la méthode :

P1

- Améliorer l'organisation, la fiabilité des processus, méthodes et procédés utilisés.

P2

- Retrouver la fiabilité intrinsèque des équipements. Rendre les Opérateurs responsables de la qualité de leurs équipements.

P3

- Améliorer la fiabilité et la maintenabilité des équipements. Développer la maintenance préventive. Diminuer les coûts de maintenance.

P4

- Comprendre le POURQUOI & le COMMENT de son travail. Participer à l'amélioration permanente de la performance.

P5

- Concevoir des produits faciles à fabriquer et des équipements faciles à utiliser et à maintenir.

P6

- Diminuer la dispersion des processus.

P7

- Fournir à la production les informations et supports nécessaires à sa performance. Améliorer l'efficacité interne de chaque service.

P8

- Zéro accident Travail moins pénible, moins salissant, moins dangereux.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**73 – Les 6 pertes :**

La mesure des performances du système de production repose sur l'identification et la mesure des pertes à l'origine des baisses de performance.

Arrêts propres sur pannes (tps de maintenance)

Changements et arrêts induits (opérations prévues par la production)

Micro arrêts (arrêts < à 2 minutes)

Ralentissements et marches dégradées

Défauts de qualité (production de produits non conformes)

Pertes au démarrage (tps perdu lors d'un changement de production)

74 – Les sources d'écarts :

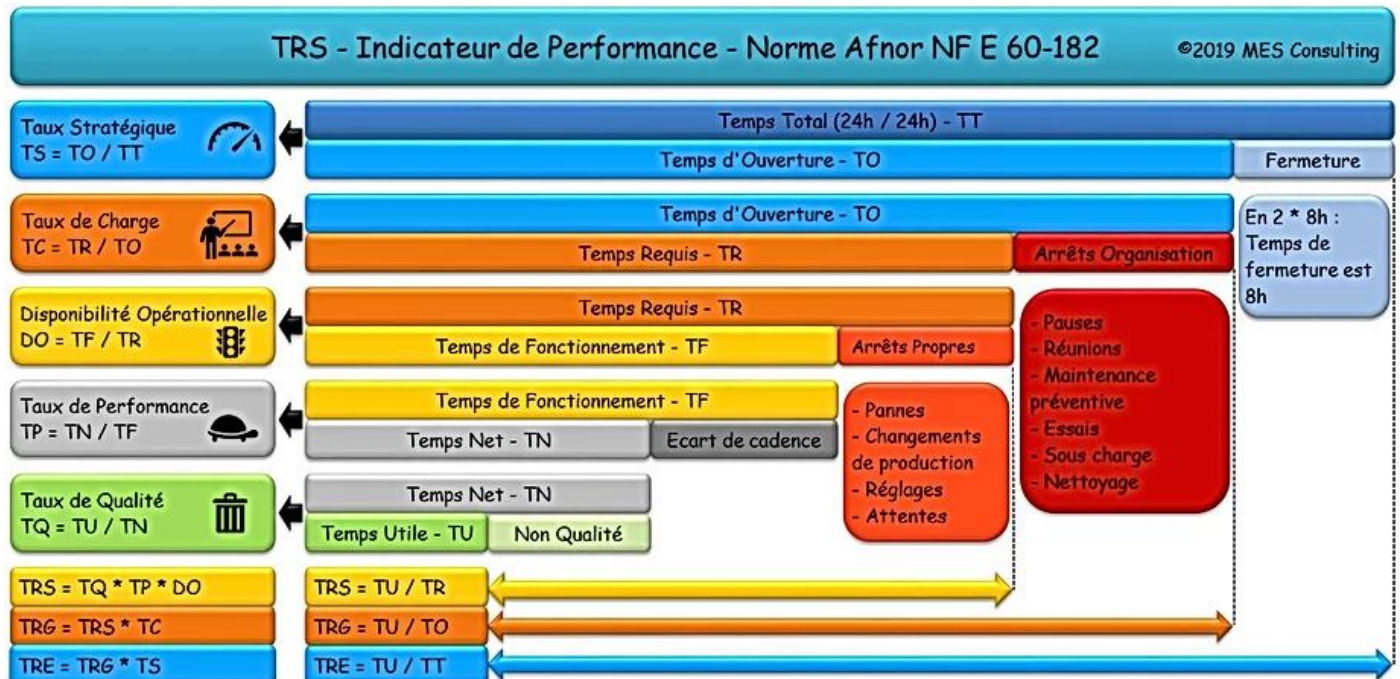
Les mesures temporelles des pertes permettent de quantifier les écarts entre ce qui est attendu et ce qui est obtenu.

Exemple 16 heures x 10 000 produits productibles = 160 000 produits

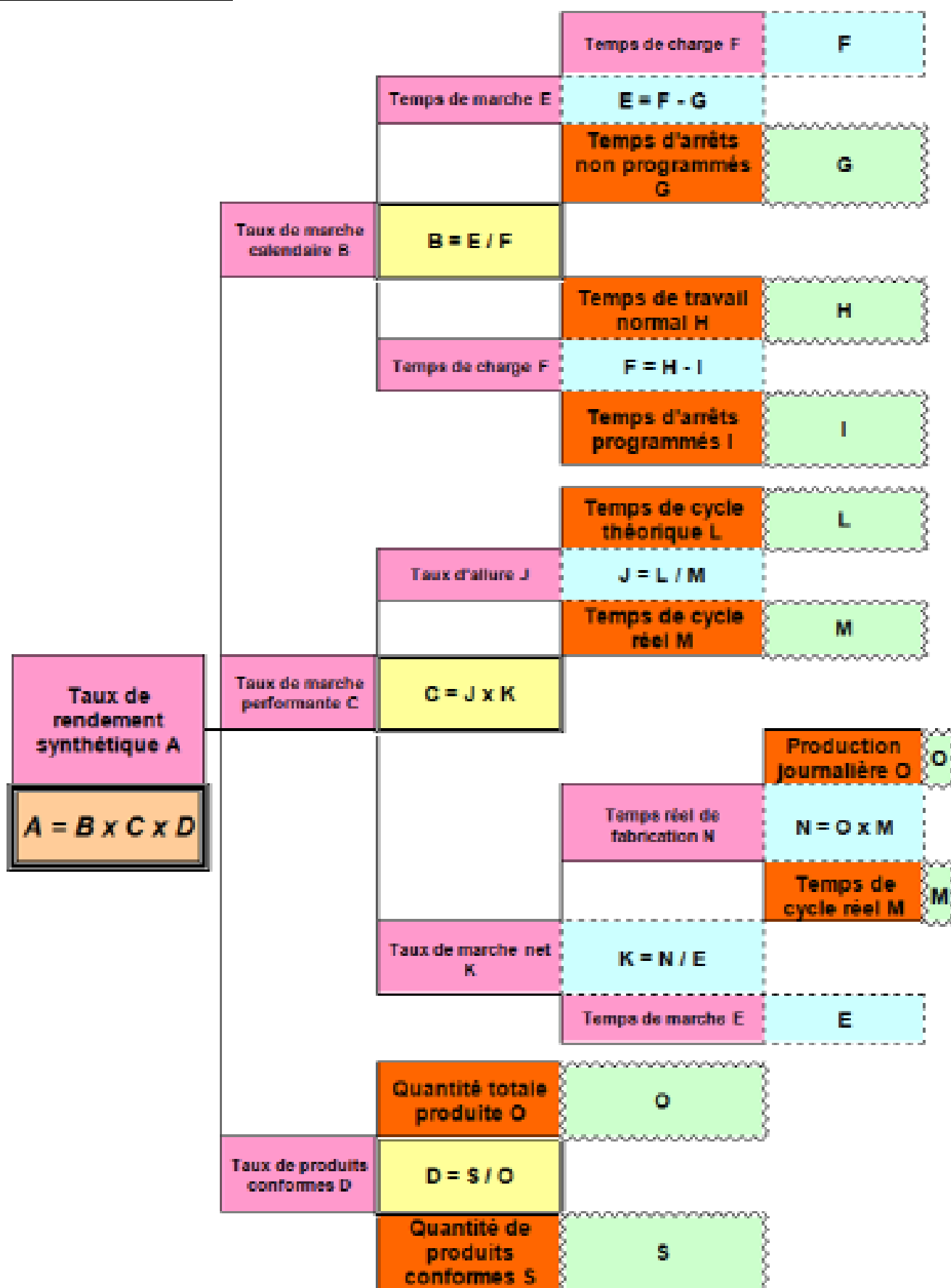


Exemple : $TRS = 96000 / 160\ 000 = 60\%$

$$TRS = \frac{\text{Nombre de pièces bonnes produites}}{\text{Nombre de pièces bonnes que l'on aurait du produire}}$$

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**75 – Calculs selon la norme NF E 60-182 :****76 – Avantages du TRS****Avantages du « TRS » :**

- Il fournit des éléments objectifs et chiffrés sur les défaillances.
- Il permet de porter remède aux causes "sélectionnées" comme particulièrement pénalisantes.
- Il permet la détection de nombreux petits arrêts, négligés parce qu' "habituels"; ils ne marquent pas les esprits comme une "grosse panne".
- Il permet de mesurer l'efficacité des actions de maintenance engagées.
- Il permet de détecter sur un équipement "stabilisé" toute variation de performance significative. Donc de prévoir la dérive et la défaillance.
- Il permet de chiffrer la fiabilité et la maintenabilité. Ces chiffres serviront de référence lors de l'installation de machines semblables :
 - - durée d'interventions (effectif, outillage ...),
 - - fréquences d'interventions systématiques, visites périodiques,
 - - possibilité et nécessité de maintenance conditionnelle sur les organes fragiles

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCEMéthodologie de calcul :

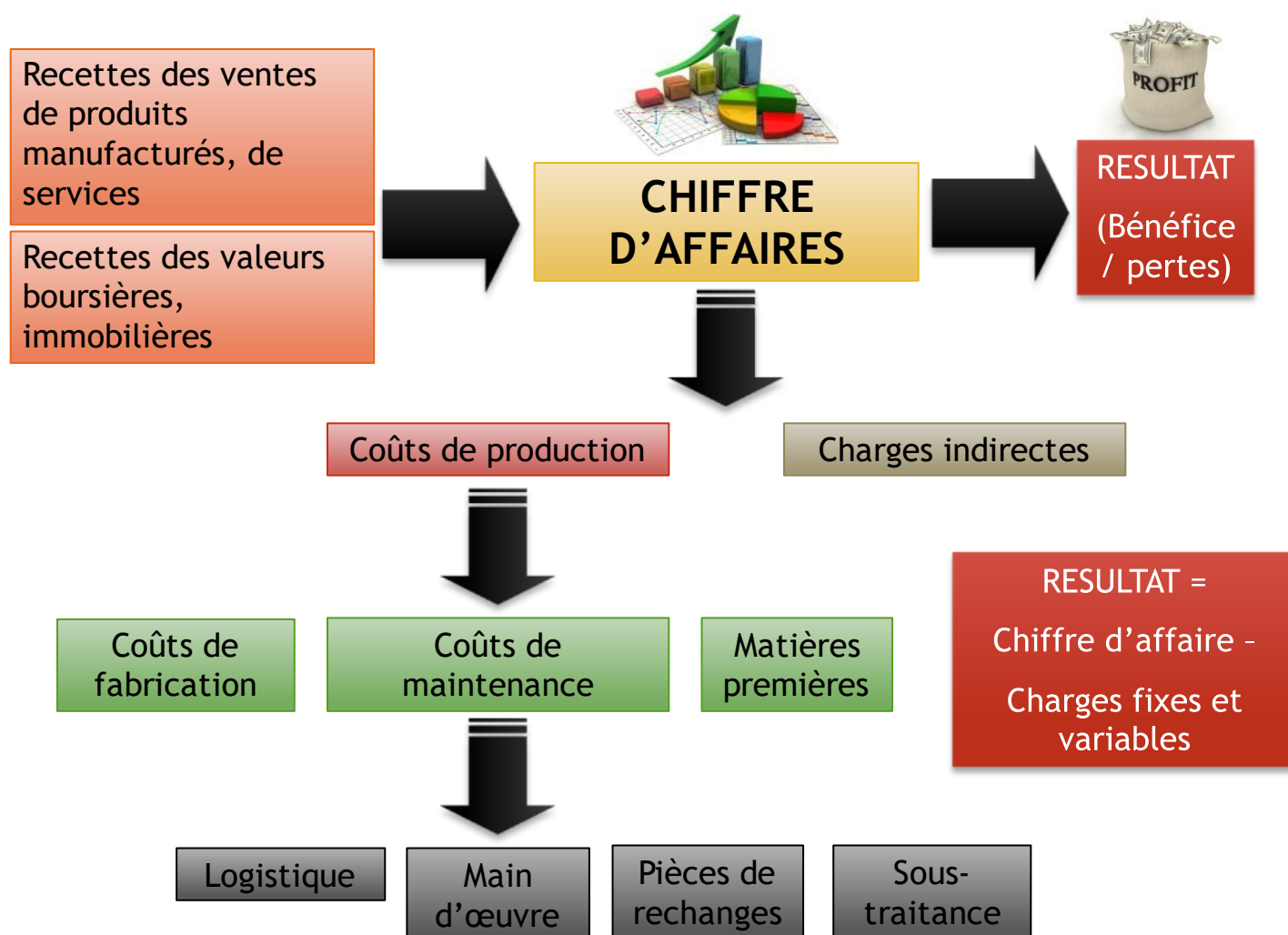
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**I – CHIFFRE D'AFFAIRE D'UNE ENTREPRISE :****11 – Chiffre d'affaire et résultat :**

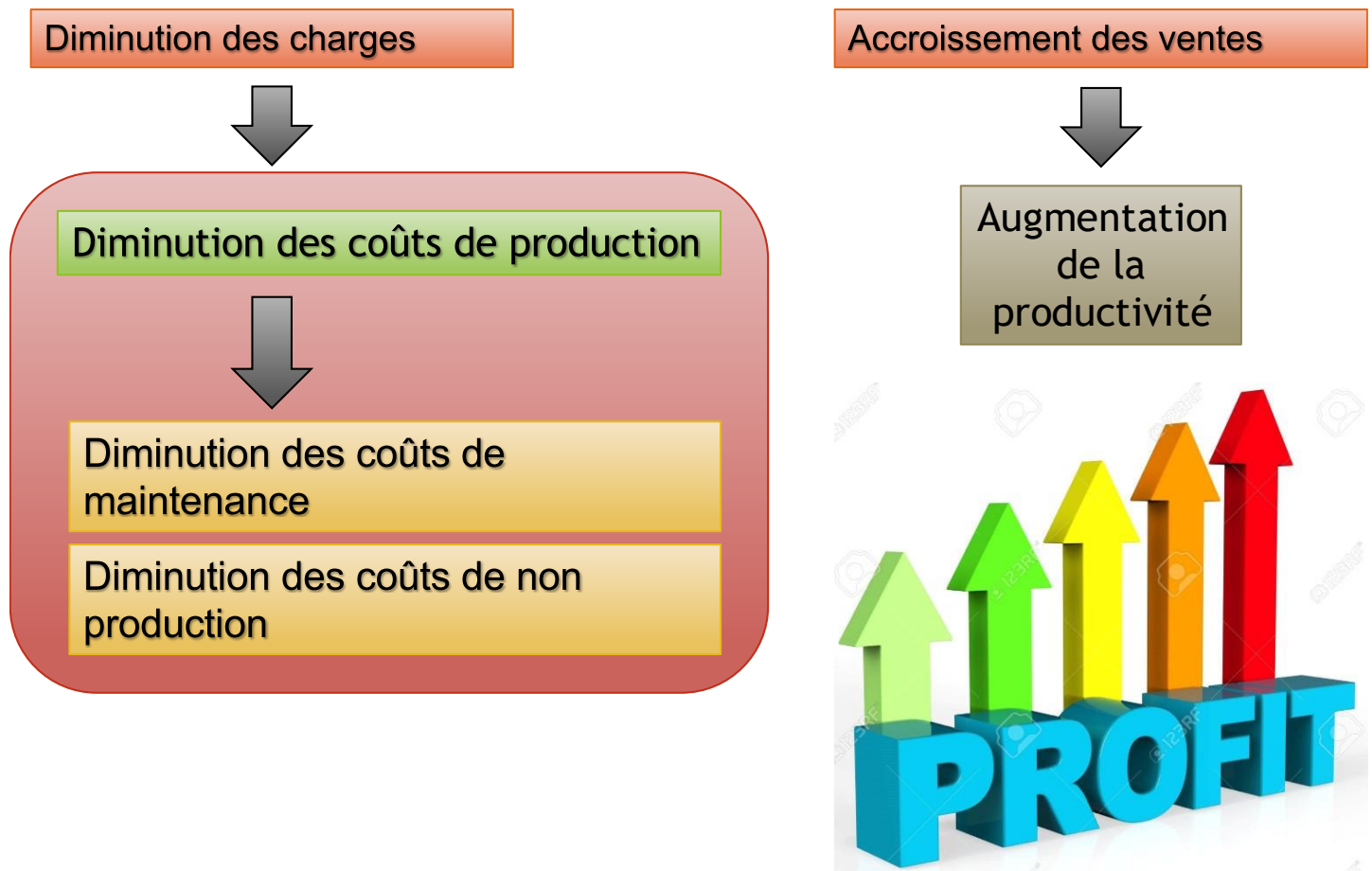
Le chiffre d'affaire est la somme totale de toutes les rentrées d'argent d'une entreprise.

CHIFFRE D'AFFAIRE = RECETTES DES VENTES DE PRODUITS MANUFACTURES + RECETTES DUES AUX PLACEMENTS BOURSIERS ET IMMOBILIERS

Le Résultat est ce qui reste (en plus ou en moins) à l'entreprise une fois qu'elle a payé ses charges (salaires, fournisseurs, etc) et ses impôts. *Le bénéfice (s'il est positif) peut être réinvesti et / ou distribué aux actionnaires.*

RESULTAT = CHIFFRE D'AFFAIRE – CHARGES FIXES ET VARIABLES



12 – Comment accroître le résultat :

L'augmentation du résultat passe soit par une diminution des coûts de production (diminution des coûts de maintenance et de non-production) et / ou par une augmentation de la productivité (améliorations liées au processus de production).

II – LE COUT DE REVIENT D'UN PRODUIT :

L'un des objectifs prioritaires des entreprises est de fournir un produit ou un service de qualité au moindre coût. Pour cela le produit ou le service doit :

- ➡ **SATISFAIRE LE CLIENT**
- ➡ **ETRE FOURNI A UN PRIX COMPETITIF**
- ➡ **GENERER UN PROFIT POUR L'ENTREPRISE**

Les coûts, comme toutes les charges de l'entreprise, sont à prendre en compte dans le calcul du **prix de revient** ou **coût de revient** du produit fabriqué et vendu. Ils doivent être les **plus faibles possibles**.

Le coût de revient peut se décomposer selon le diagramme de la page suivante.

Les coûts de maintenance ayant également une influence sur le prix de revient, il convient donc également de les maîtriser.



III – LES COÛTS EN MAINTENANCE :**31 – Rappels sur les objectifs de la maintenance :**

Le chef d'entreprise sait que les coûts de maintenance représentent un poste de dépenses important et bien visible. Le fait que la maintenance, bien que génératrice de dépenses, soit en même temps un gisement de productivité devient de plus en plus un fait établi, mais moins visible.

La maintenance est un champ d'action privilégié de recherche d'amélioration des coûts de production, et c'est la seule source significative de compétitivité **indépendante des conditions extérieures** : elle ne repose que sur le professionnalisme de l'entreprise relativement à la maîtrise de l'ensemble de son système de production.

Le maintien de la production en quantité et en qualité passe obligatoirement par l'efficacité de la maintenance de l'outil de production.

L'analyse des coûts permet de :

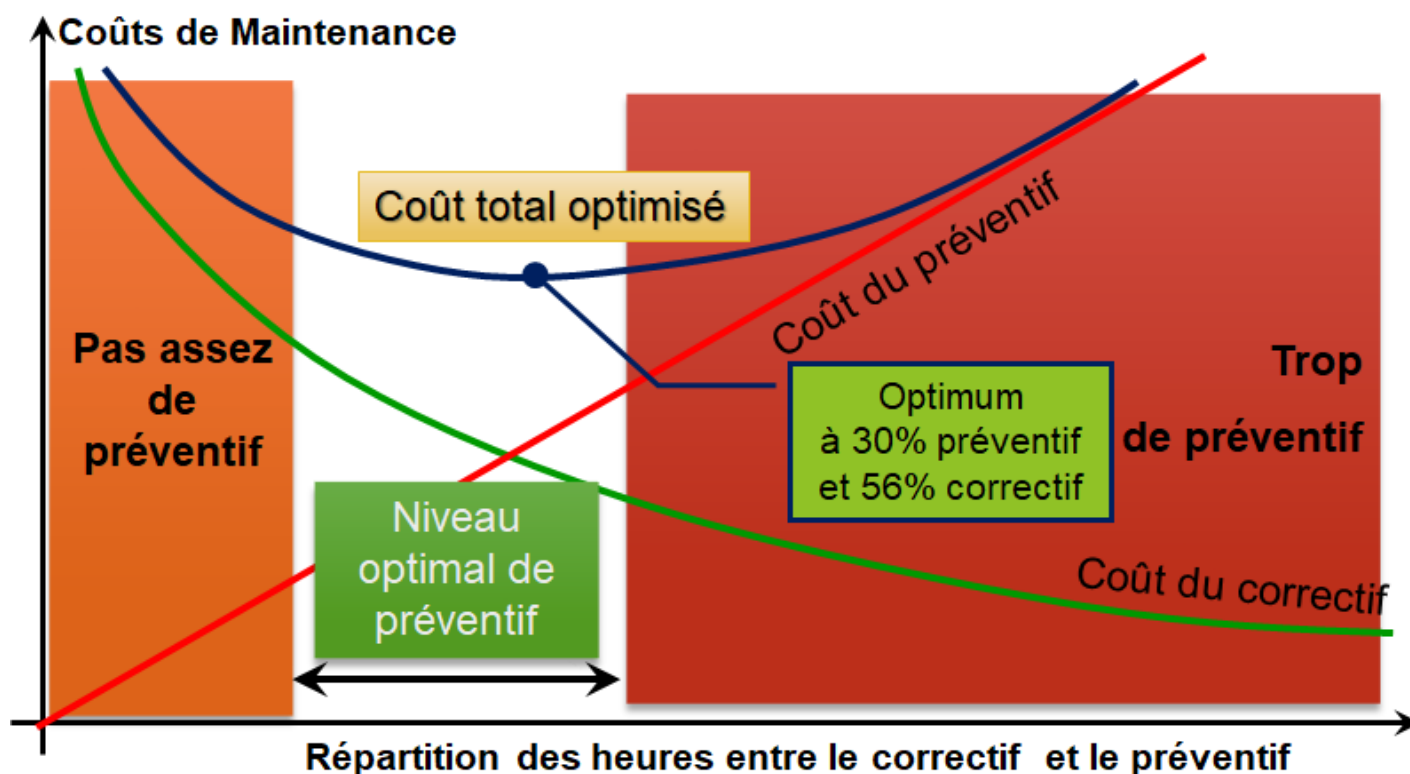
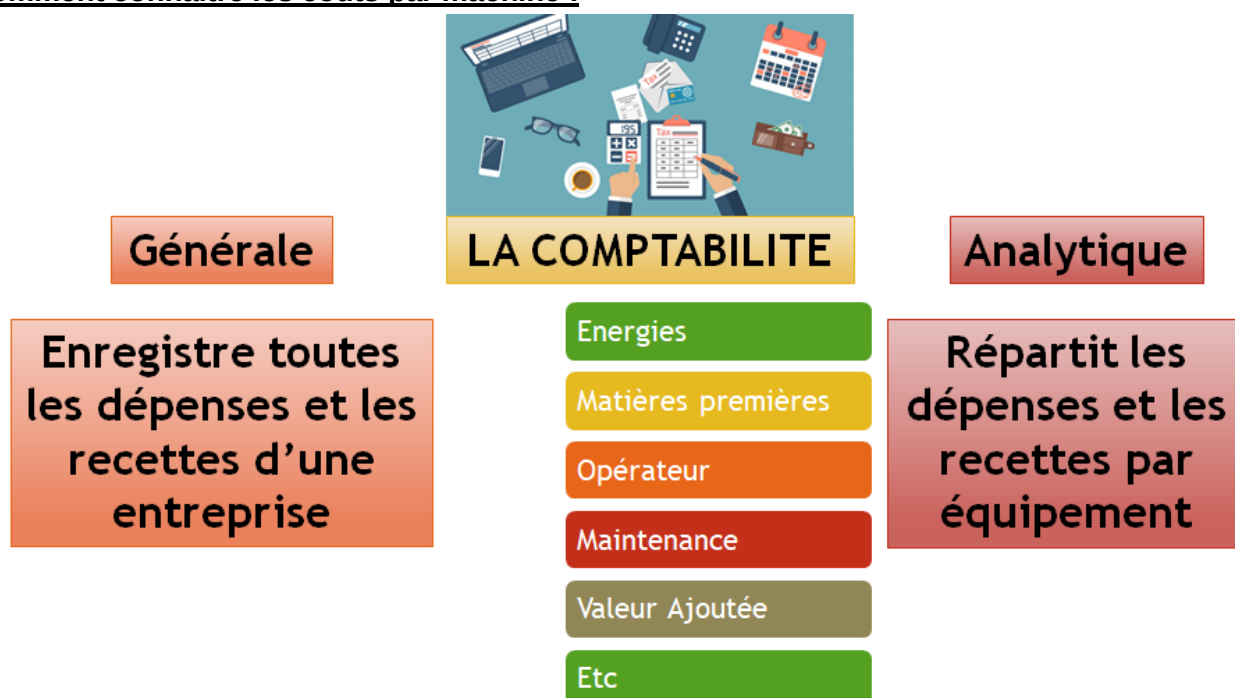
- Suivre les dépenses et de respecter le budget,
- Vérifier l'efficacité de la maintenance (suivi de ratios),
- Renouveler le matériel.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**32 – Problématique des coûts en maintenance :**

Le problème majeur est celui de la justification a priori d'une politique de maintenance préventive ; ce qui suppose au préalable de pouvoir apporter une réponse à cette question : « **que coûte la défaillance d'un équipement à l'entreprise ?** ».

L'objectif du préventif est alors de transformer cette défaillance réelle en défaillance virtuelle. **La problématique des coûts de maintenance est donc celle de la justification du coût des conséquences d'une panne puis celle de la justification du coût des mesures préventives.**

Le niveau de préventif à appliquer sur un équipement relève d'un certain nombre de critères mais le graphique ci-dessous montre qu'il existe, au niveau des coûts, un optimum qui se situe à environ 30% de préventif et 56% de correctif.

**23 – Comment connaître les coûts par machine :**

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**IV – COUT DE LA MAINTENANCE CORRECTIVE :****41 – Coûts directs induits par une défaillance :**

- **Coûts de main d'œuvre** : c'est le produit « **temps relevé x taux horaire de maintenance** ». Les temps relevés sont les temps passés TTR. **Le taux horaire, exprimé en € / heure est fourni par la comptabilité.** Ce taux est évidemment fonction de la qualification de l'intervenant, mais également de la politique sociale de l'entreprise ; ce qui explique sa dispersion importante, allant de 15€ à 45€ par heure pour un même technicien employé dans des structures différentes. **Attention, ne pas confondre taux horaire et salaire horaire.**
- **Frais généraux du service maintenance** : ce sont les frais fixes du service, estimés à l'année et ramenés à l'heure d'activité. Ils comprennent les salaires des cadres, des employés de bureau, les loyers, les assurances, les frais de chauffage, d'éclairage, de reprographie, de communication, etc.
- **Coûts de possession des stocks, des outillages et des machines** : ils donnent une évaluation des pertes et dépréciations dues au stockage. Ils intègrent également les frais de magasinage.
- **Consommation de matières, de fournitures, de produits utilisés** : l'exécution des tâches de maintenance exige de nombreuses fournitures dont le coût est connu par les factures rédigées par les fournisseurs.
- **Consommation des pièces de rechange** : c'est un poste important en maintenance, évalué à partir des factures d'achat qu'il faut actualiser (pièce dormante pendant plusieurs années mais stratégique) et corriger par la prise en compte des frais de transport, du coût de passation de commande, des frais de magasinage et de l'éventuelle dépréciation.
- **Coûts des contrats de maintenance** : la maintenance de certains matériels spécifiques est parfois externalisée (sous-traitance). Le montant du contrat de maintenance est négocié, généralement à l'année.
- **Coûts des travaux sous-traités** : ils sont connus par les factures des prestataires de service, puis éventuellement majorés par un « taux de participation du service » sous forme de prêt de matériel, renseignements et assistance, contrôle, etc.

Main d'œuvre de maintenance**Frais généraux du service****Frais de stockage et de magasinage****Pièces de rechange et outillages****Sous-traitance****42 – Calcul des coûts directs induits par une défaillance :**

$$\text{Coût de Maintenance (CM)} = \text{CMO} + \text{CC}$$

Coûts de main d'œuvre**Coûts des pièces et consommables**

$$\text{Coût de main d'œuvre} = \text{Temps de main d'œuvre} * \text{Taux horaire de maintenance}$$

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**43 – Coûts indirects conséquences de la défaillance ou coûts d'indisponibilité :**

Ces coûts peuvent aussi être nommés coûts indirects d'arrêt de production. Ils intègrent toutes les conséquences économiques induites par un arrêt propre d'un équipement requis. Ces conséquences peuvent porter sur les éléments suivants :

- **La perte de production.** Il est évident que, pendant un arrêt en fin de ligne de production (montage ou emballage), les produits non fabriqués ne sont donc pas vendus, mais vendus par la concurrence. C'est le poste principal qu'il est possible d'estimer par « **temps d'indisponibilité x taux horaire de non-production** ». Le temps d'indisponibilité est relevé pendant une période où l'équipement défaillant est requis. A défaut, le temps d'arrêt de production peut être utilisé. **Le taux horaire, exprimé en € / heure, est déterminé pour l'équipement considéré. Il dépend majoritairement de la criticité de l'équipement à l'intérieur de l'ensemble du système de production.**
- **Les coûts de la main d'œuvre de production.** En effet, celle-ci est inoccupée pendant l'arrêt.
- **Les coûts d'amortissement (non réalisé) du matériel arrêté.** Pendant l'arrêt, le matériel ne travaille pas. Donc la durée d'amortissement augmente.
- **Les coûts des arrêts induits.** Particulièrement en flux tendus, faute de stocks tampon, l'arrêt d'une unité d'une ligne de production perturbe rapidement les unités amont (saturation) et aval (pénurie). Les systèmes actuels et leur organisation sont à la fois très performants et très sensibles à la panne.
- **Les coûts des rebuts, de la non-qualité et des délais non tenus.** Ils sont souvent difficilement chiffrables car on ne peut définir le coût d'une perte d'image de marque. Cependant, il est possible d'estimer les pénalités de retard et les coûts des pièces fabriquées mais rebutées.
- **Les frais de redémarrage de production.** Souvent, le redémarrage d'un process induit une période de perte de matière ou de qualité qui oblige à éliminer des produits fabriqués.
- **Les coûts induits en cas d'accident corporel.** Une panne fortuite traitée dans l'urgence est malheureusement parfois génératrice d'accidents du travail en interne ou de dommages corporels au niveau des usagers.

**Main d'œuvre
de production
inoccupée**



**Amortissement
non réalisé**



**Coûts issus de la
non qualité**



**Pénalités de
retard**



**Coûts éventuels
liés à un
accident**

**44 – Calcul des Coûts indirects conséquences de la défaillance ou coûts d'indisponibilité :**

C_p

= Coût de perte de production

= Coût d'indisponibilité

= Temps d'arrêt de production x Taux horaire d'indisponibilité

= Temps d'arrêt de production x Taux horaire de non production

45 – Calcul du coût d'une défaillance :

Coût de la défaillance (CD)

=

COÛTS DIRECTS ou de MAINTENANCE

+

COÛTS INDIRECTS ou d'INDISPONIBILITE

Pour une période donnée : n interventions

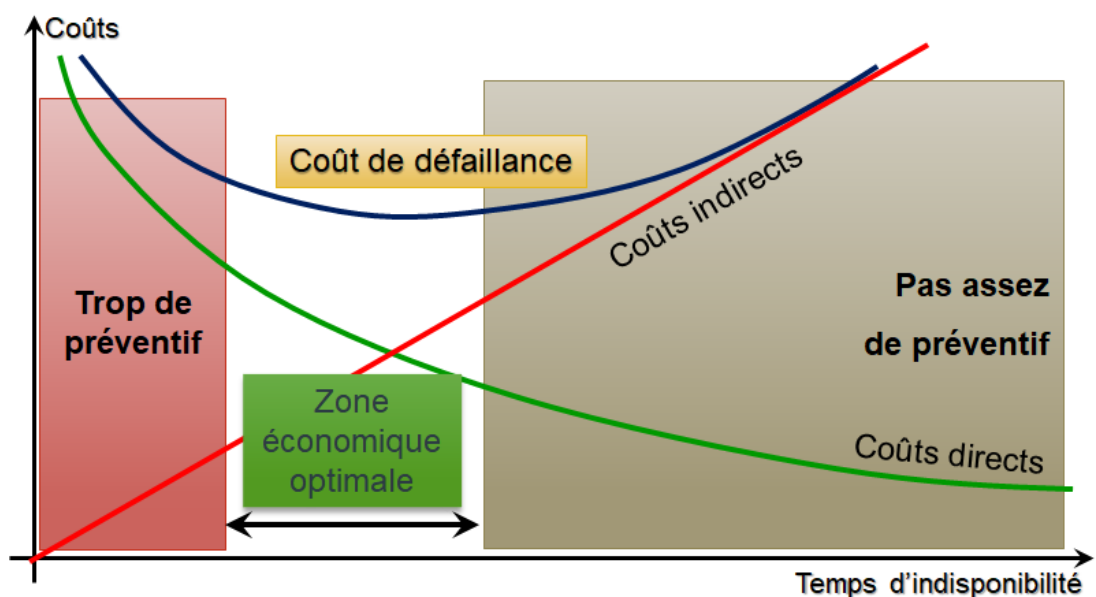


Coût de Défaillance pour la période = $n \times CD_{\text{intervention}}$

$$n = \frac{\text{nombre d'heures de production}}{MTBF}$$

46 – Optimisation des coûts défaillance :

Les coûts directs et indirects varient en sens inverse, dans la mesure où la réduction des temps d'indisponibilité est le résultat d'une maintenance préventive plus efficace. L'analyse montre qu'il existe un optimum au niveau des coûts de défaillance.



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**47 – Application :**

Définir les coûts de défaillance de chaque machine afin de définir les priorités d'actions :

Machine	Coût horaire de la main d'œuvre (€/h)	Heures de maintenance	Coût des pièces	Taux de perte de production (€/h)	Heures de non-production	Coût direct	Coût indirect	Coût de la défaillance CD
M1	15	50	760	22	30	1510	660	2170
M2	15	56	1220	22	25	2060	550	2610
M3	15	52	1070	22	22	1850	484	2334
TR1	39	50	2286	76	41	4236	3116	7352
TR2	39	47	2744	76	40	4577	3040	7617

V – COÛTS EN MAINTENANCE PREVENTIVE :**51 – Maintenance préventive systématique :**

Pour une intervention :

Coût total de maintenance systématique: $CTMS_{inter} = CM + C_p$

Coûts de maintenance CM

Coûts de perte de production C_p

Remarque:

Si pas d'arrêt de production alors le coût de perte de production (C_p) = 0

Pour une période donnée : n interventions



CTMS pour la période = n x CTMS_{intervention}

$$n = \frac{\text{nombre d'heures de production}}{\text{périodicité d'intervention}}$$

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

En règle générale, **il appartient aux méthodes maintenance de programmer des interventions préventives systématiques sans perturber la production**. Les interventions seront donc réalisées en dehors du temps requis ou en profitant d'un arrêt programmé (voire fortuit) de production ou d'une révision, soit en utilisant des plages d'intervention en dehors de l'horaire de production.

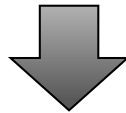
C'est le cas par exemple des équipes VSD (vendredi, samedi, dimanche). Sauf exception, les coûts de maintenance préventive systématique ne seront donc associés à aucun coût d'indisponibilité. Ils sont constitués de la même façon que les coûts de maintenance corrective : soient les pièces et la main d'œuvre.

52 – Maintenance préventive conditionnelle :

Dans le cas de ce type de maintenance :

- Le temps de réaction après alarme ne permet pas forcément de prendre des dispositions pour ne pas subir de temps d'indisponibilité dans le temps requis. Dans ce cas existera un « coût résiduel de défaillance prévenue » bien inférieur cependant au coût de la défaillance non prévenue.
- La mise en œuvre initiale passe par un investissement sous forme de chaînes d'acquisition de données ou d'appareils de mesure ou de monitoring parfois coûteux.

Pour une période donnée :
 n : nb de remises en état
 k : nb de surveillances



CTMPC pour la période = $k \times \text{CTS}_{\text{surveillance}} + n \times \text{CTR}_{\text{remise en état}}$

Coût total de maintenance préventive conditionnelle: CTMPC

Coût total de la surveillance : CTS

Coût total de la remise en état : CTR

VI – CHOIX D'UN TYPE DE MAINTENANCE :

Pour une durée d'utilisation donnée, le choix va dépendre :



Du coût total de la solution par période



De la rentabilité de l'investissement : achat et installation de matériels (amélioration, surveillance)

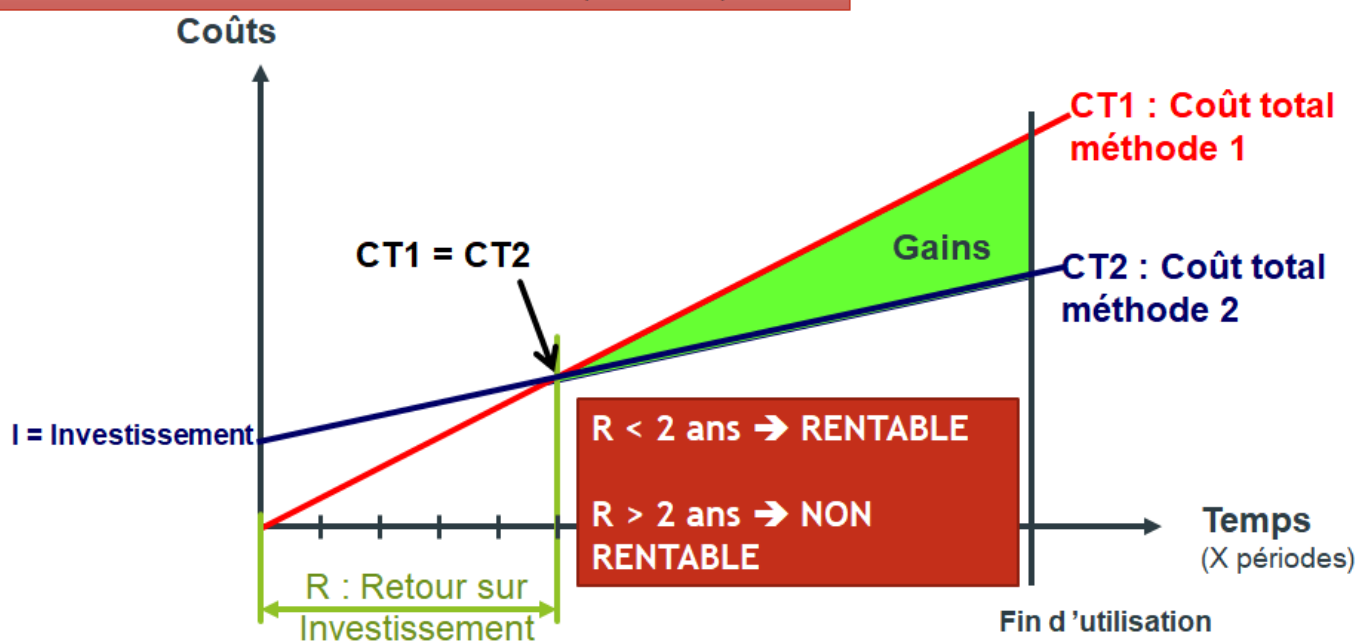
Rentabilité d'un investissement

CT1 : $x * C1$ avec $C1$: coût par période de la méthode 1

CT2 : $x * C2 + I$ avec $C2$: coût par période de la méthode 2 et I = investissement

$$\text{Retour sur investissement (X)} = \frac{I}{C1 - C2} \quad \text{Unité : périodes}$$

$$\text{Gains au bout de } k \text{ périodes} = k(C1 - C2) - I$$



APPLICATION :

Actuellement, lors d'une défaillance d'un moteur électrique sur un robot, le technicien réalise les opérations suivantes :

- Diagnostiquer, Déposer, Réparer et Poser (essais compris).

On envisage trois solutions afin de diminuer les coûts :

- Solution 1 :
 - Diagnostiquer, faire un échange standard de moteur à la suite de la défaillance, réparer le moteur défaillant et le Stocker.
- Solution 2 :
 - Remplacer systématiquement le moteur toutes les 500 heures (en dehors des heures de production), et le remettre en état et le stocker.
- Solution 3 :
 - Surveiller périodiquement toutes les 150 heures et suivant l'état, déclencher une remise en état.

Durée d'exploitation prévue : 10 ans

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Données Economiques :**

- Taux horaire du technicien de maintenance en horaire normal : 38 € ;
- Majoration de 25 % du taux horaire pour le technicien de maintenance hors horaire normal ;
- Taux horaire d'indisponibilité du robot : 762 € ;
- Prix du moteur : 2745 € ;
- Coût moyen de consommables lors d'une réparation : 458 € ;
- Investissement concernant la surveillance du moteur : 11400 € ;
- Retour d'investissement inférieur à 3 ans :

Données techniques :

- Horaire normal de maintenance : 2 équipes de 6h à 22h du lundi au vendredi et le samedi matin de 7h à 11h.
- Temps pour diagnostiquer = 20min
- Déposer le moteur = 15min
- Poser le moteur = 15min
- Réparer le moteur = 3h
- Réaliser une surveillance du moteur sans arrêt de production = 30min
- Temps d'utilisation annuel du robot : 4160 h (2x8h ,5 jours / semaine, 52 semaines / an) ;
- MTBF du moteur = 850 h ;

« Calculer les coûts annuels liés à la maintenance de chaque solution et justifier le type de maintenance à mettre en œuvre. »

Type d'opération	Cout de main d'œuvre (€)	Cout des pièces	Cout de maint.	Cout de perte de prod.	Coût Total par intervention	Nb d'interventions /an	Coût Total annuel
Corrective	$3,83 \times 38 = 145,54 \text{ €}$	458 €	603,54 €	$3,83 \times 762 = 2918,46 \text{ €}$	3522 €	$4160/850 = 4,89$	17222,58 €
Sol 1 Corrective avec échange standard	$(0,83 + 3) \times 38 = 145,54 \text{ €}$	458 €	603,54 €	$0,83 \times 762 = 632,46 \text{ €}$	1236 €	4,89	6044,04 €
Sol 2 Systématique	$3,5 \times 38 = 133 \text{ €}$	458 €	591 €	0 €	591 €	$4160/500 = 8,32$	4917,12 €
Sol 3 Cond.	Surveillance	0 €	19 €	0 €	19 €	$4160/150 = 27,73$	3416,86 €
	Remplacement	458 €	591 €	0 €	591 €	$4160/850 = 4,89$	

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Type d'opération		Coût Total annuel	Investissement	Retour sur investissement	Gain sur 10 ans
Corrective		17222,58 €	0 €		
Sol 1 Corrective avec échange standard		6044,04 €	2745 €	0,245 année soit 2,9 mois	109 040 €
Sol 2 Systématique		4917,12 €	2745 €	0,227 année soit 2,7 mois	120 310 €
Sol 3 Cond.	Surveillance	3416,86 €	11 400 €	0,826 année soit 10 mois	126 657 €
	Remplacement				

Choix : Solution 3 car le gain sur 10 ans est le plus élevé

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**VII – LE COUT DU CYCLE DE VIE D'UN BIEN (LCC : Life Cycle Cost) :****71 – Cycle de Vie :****72 – Le coût du cycle de vie ou coût de possession ou LCC :**

Le service maintenance a la charge de la santé de chaque équipement tout au long de son cycle de vie utile, de la réception jusqu'à la période de vieillesse et au déclassement. Il a également la responsabilité de la maîtrise des dépenses afférentes à la possession de chaque équipement.

Le coût du cycle de vie d'un équipement (ou coût global de référence) est « le cumul, par années successives, de toutes les dépenses relatives à la possession d'un équipement ». Il est parfois possible d'y associer les recettes que l'équipement procure quand celles-ci sont chiffrables.

Le cumul des coûts sur des périodes longues (15 à 20 ans pour du matériel de production) implique une actualisation des valeurs pour que le cumul en euros constants soit significatif.

LCC : coût du cycle de vie



But → connaître tous les coûts relatifs à un équipement tout au long de sa vie



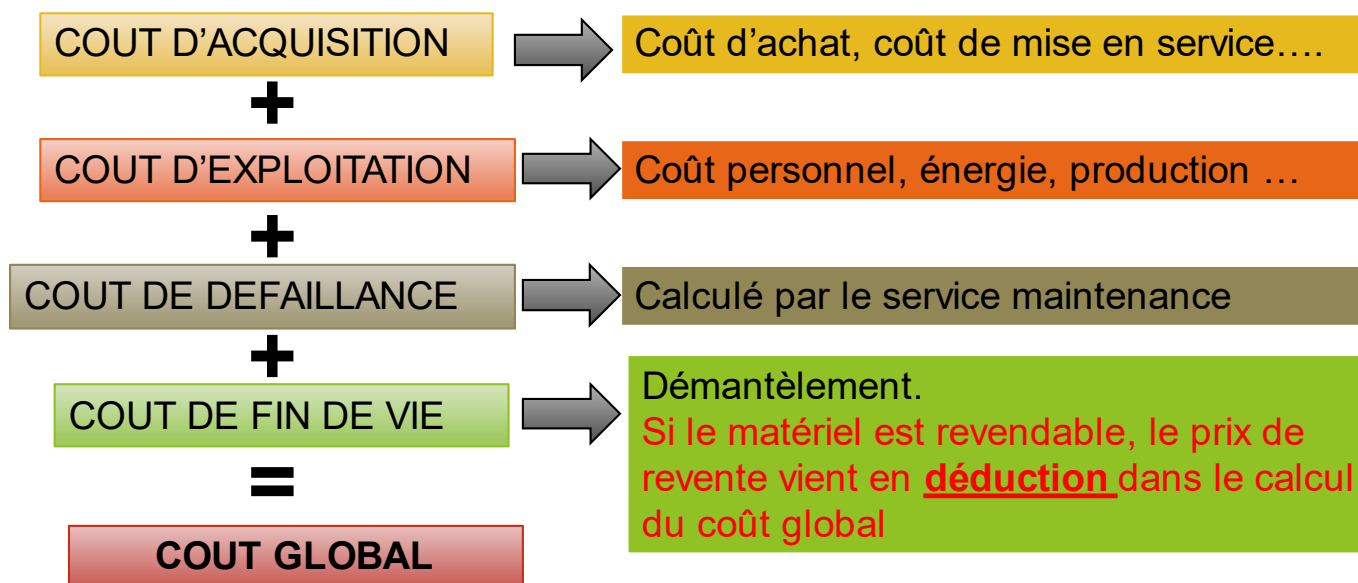
Pourquoi ? Déterminer principalement la politique de remplacement à appliquer à un équipement

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Autres appellations:

Coût de durée de vie
Coût global
Coût global de possession

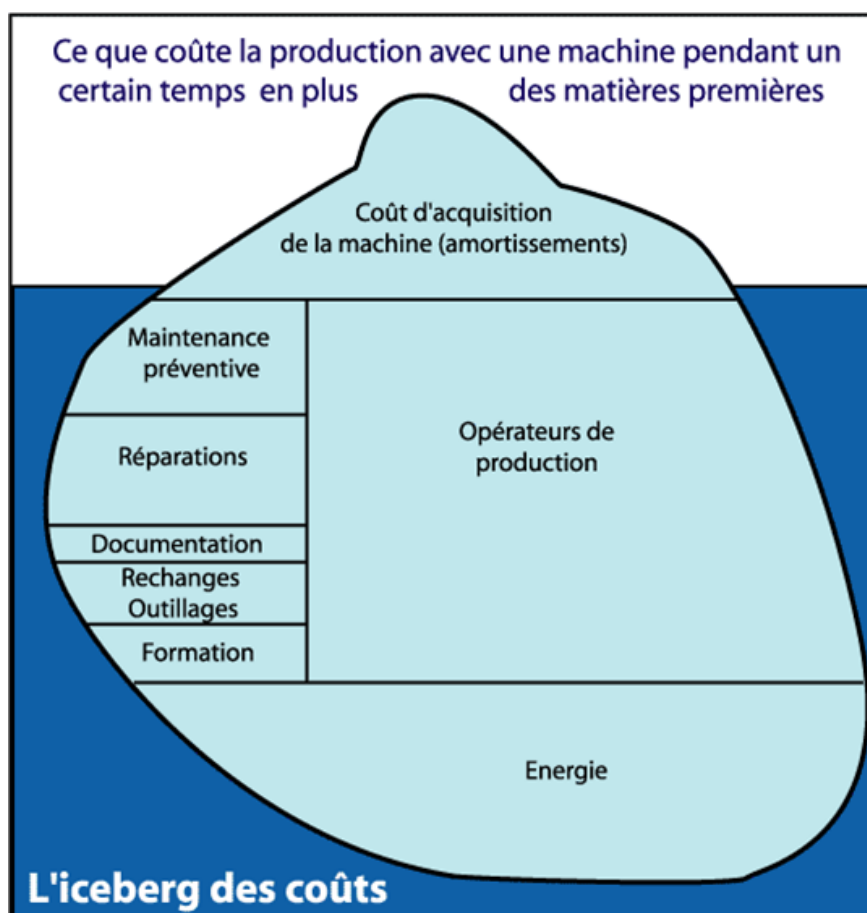
Le coût global prend en compte l'ensemble des coûts que doit supporter l'utilisateur pour bénéficier de la fonction pour laquelle le produit a été conçu et ce, pendant toute la durée de vie du produit.



On considère en général que 90% des coûts de fonctionnement et de maintenance générés par l'exploitation d'un équipement sont prédéterminés lors de sa mise en service. Ainsi, acheter une machine, c'est évidemment acheter un service attendu, mais aussi engager tous les coûts potentiels dus aux inévitables arrêts de ce service.

L'expertise relative à une défaillance entraînant une dépense di à Nième année montrera l'existence de niveaux de causes intrinsèques liées à la conception, à la santé matière, au mauvais choix de composants, au montage, etc. Il en est de même pour les dépenses de fonctionnement.

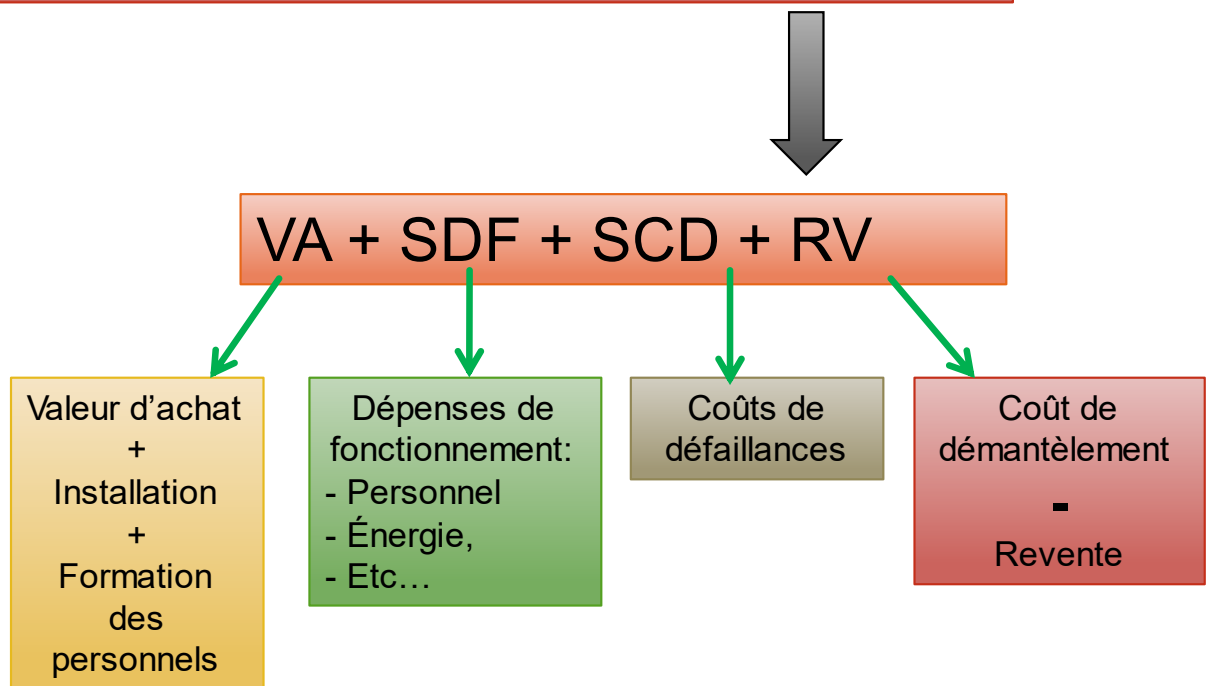
En phase d'investissement d'un équipement productif, il est donc important que la notion de « coût du service rendu » se substitue au « coût d'acquisition » de l'équipement.



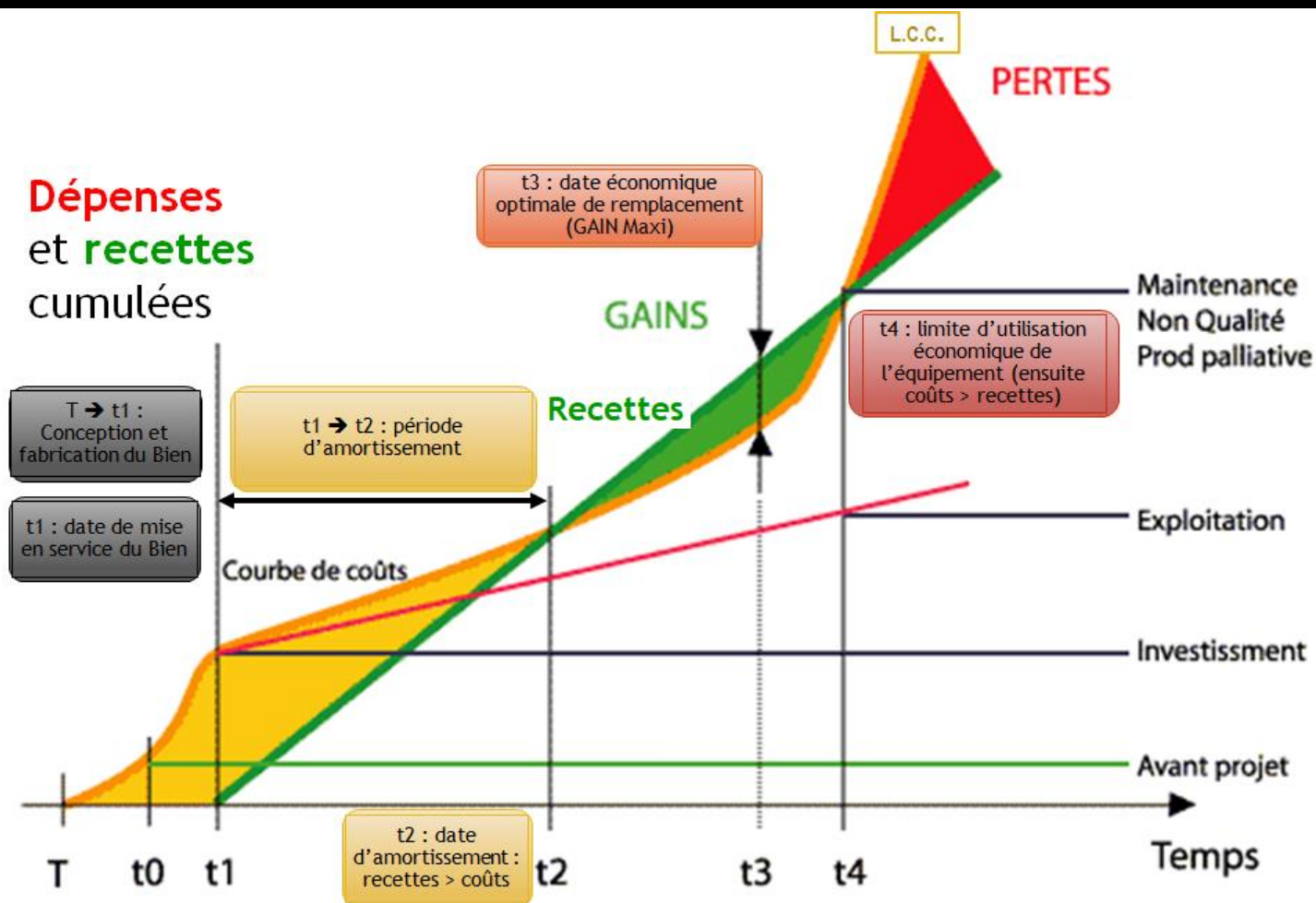
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**73 – Estimation du LCC :**

Le calcul du coût global permet de caractériser les résultats d'exploitation mais aussi d'estimer la date optimale de remplacement d'un matériel.

$$\text{Coût global de possession} = \sum \text{des recettes} - \sum \text{des dépenses}$$



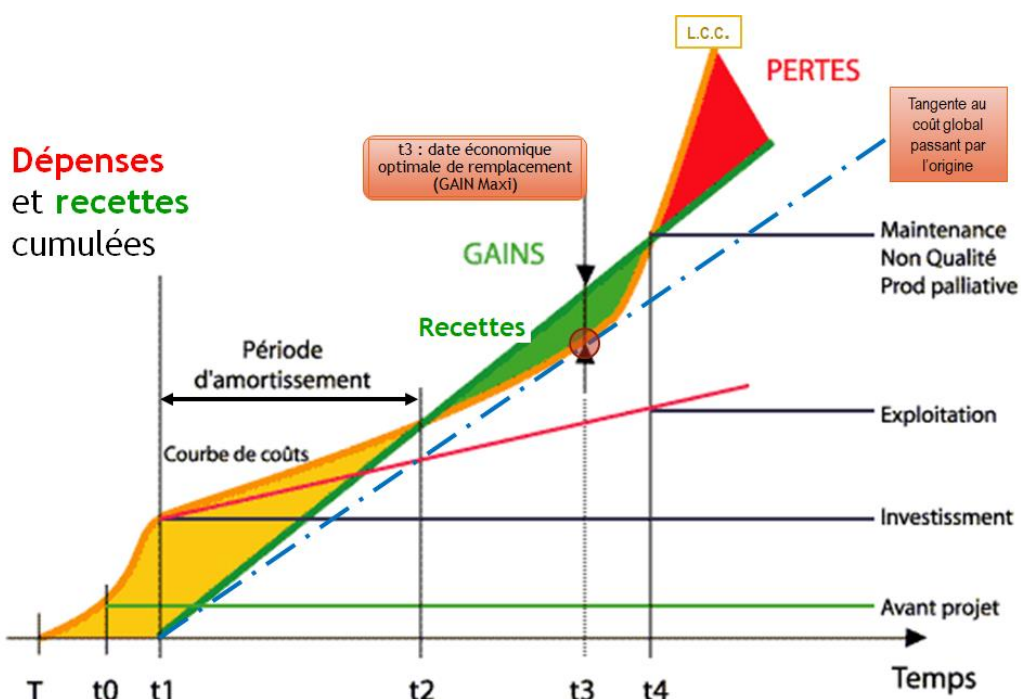
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE



Quel que soit l'équipement, les courbes « lissées » représentatives du LCC ont toujours l'allure de la courbe de la figure ci-dessus.

- T : date de décision de l'investissement
- [T, t1] : période d'études et de production du bien précédant la mise en service t1.
- [t1, t2] : période d'exploitation déficitaire, ainsi qu'au-delà de t4 où les coûts de maintenance vont croître inexorablement
- [t2, t4] : zone d'exploitation rentable. t3 représente la période d'optimisation économique de l'équipement.

La figure ci-contre permet de montrer comment obtenir la date « t3 » → tracer une droite tangente au LCC et passant par l'origine. Le point de tangence représente le gain maximum. C'est à cette date « t3 » que l'on fera le maximum de profit si on décide de revendre l'équipement.



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**74 – Application :**

Application :

Déterminer le coût de possession d'une machine et sa date optimale de remplacement

Hypothèse :

Dans le calcul du coût de dépense de l'année « n », on ne considère que le coût de défaillance.

Données : Achat de la machine (année 0) : 15000€

Date de l'étude : début de l'année 5



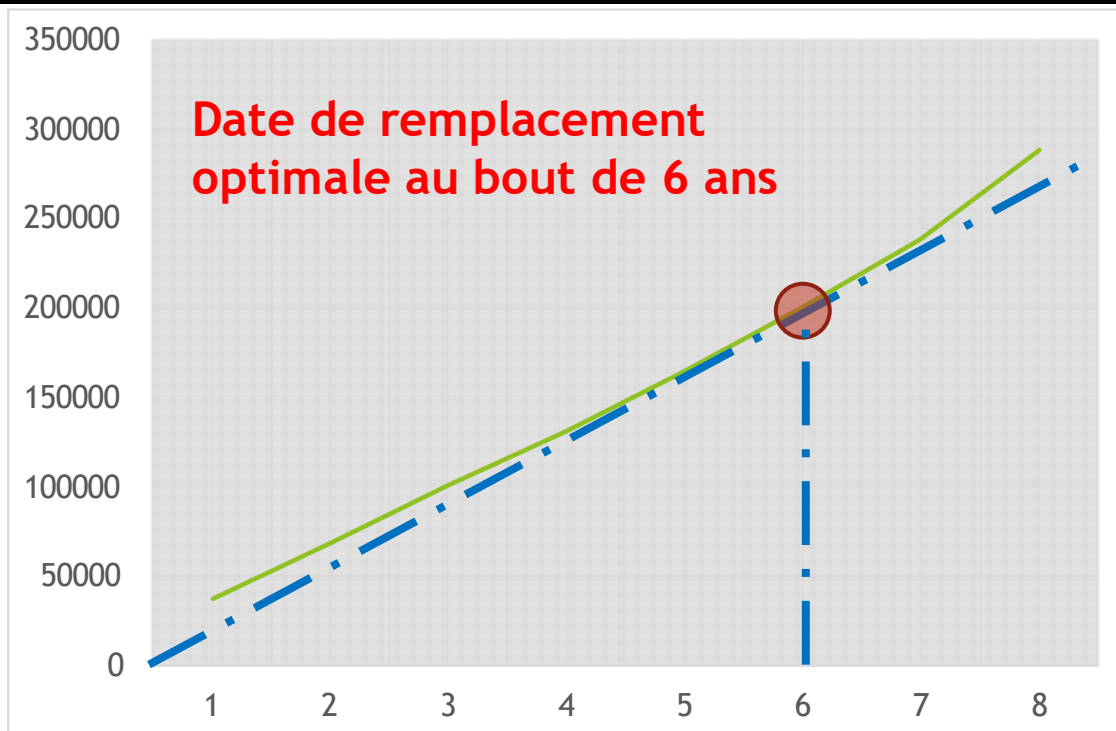
Année	1	2	3	4	5	6	7	8
Coûts en €	31970	31136	31178	29660	32912	35330	36956	49866
Recettes en €	10500	9660	8887	8176	7522	6920	6366	5857

$$LCC i = VA + \sum CD - Rv$$

Prévision car on sait qu'il faudra réaliser certaines opérations de maintenance

Année	Ci	Ri	Tot Cum	LCC
1	31970	10500	31970	36470
2	31136	9660	63106	68446
3	31178	8887	94284	100397
4	29660	8176	123944	130768
5	32912	7522	156856	164334
6	35330	6920	192186	200266
7	36956	6336	229142	237806
8	49866	5857	279008	288151

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE



VII – PROBLEME DE L'ACTUALISATION DES COÛTS :

C'est le calcul de la valeur d'un bien à une date donnée. Le responsable dans une entreprise qui doit effectuer un investissement portant sur plusieurs années doit prendre en compte des éléments de coût et de bénéfice intervenant à des moments différents. Pour ce faire, il utilise une méthode d'actualisation qui consiste à ramener le coût d'un acte réalisé dans X années à sa valeur actuelle.

Soit le Taux d'inflation: i
Soit le Taux d'actualisation : k

Exemple d'évolution du prix d'un produit avec $i = \text{constante}$

Date : 01-01-17 → So: Prix d'achat

Date : 01-01-18 → $So + So * i = So (1 + i) = S1$

Date : 01-01-19 → $S1 + S1 * i = S1 (1 + i) = So (1 + i)^2$

Prix pour l'année n : $Sn = So (1 + i)^n$ ou $Sn = So * k$

Si $i = \text{constante}$ alors $k = (1 + i)^n$

Si i est variable chaque année alors $k = (1 + i_1) (1 + i_2) \dots (1 + i_n)$

Problème majeur dans la gestion des équipements

Que vaudra 1€ dans « n » années ?

L'actualisation permet l'ajustement du coût des équipements chaque année

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Application à l'exercice précédent :

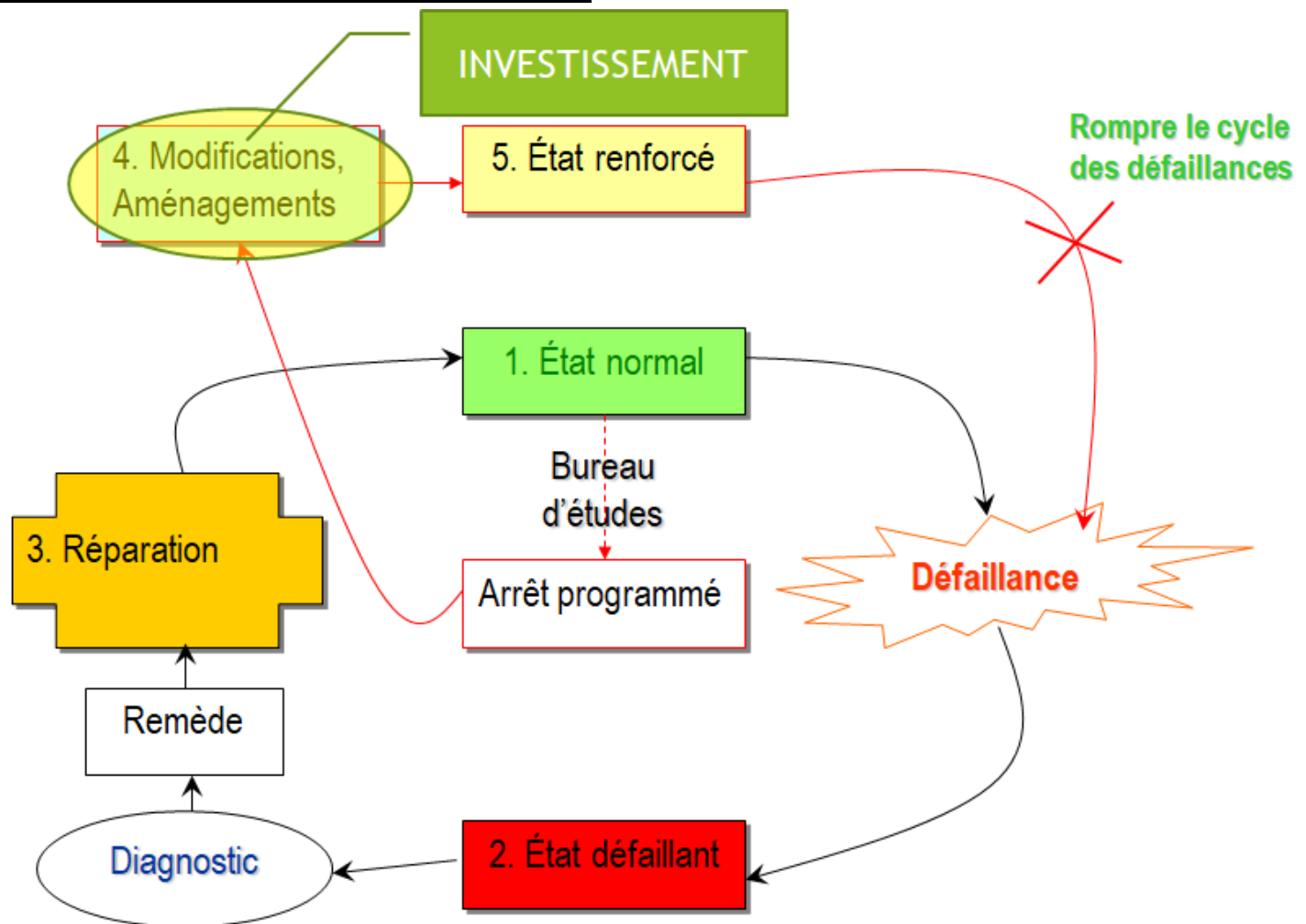
Déterminer le coût de possession (LCC) en considérant un taux d'inflation annuel (i)

Inflation : 4%

Couts et recettes
envisagés dans n
années

Couts et recettes
Ramenés à la date
actuelle

Année	Ci	Ri	k	CD	RV	Tot CD	LCC ₀
0							15000
1	31970	10500	1.04	30740	10096	30740	35644
2	31136	9660	1.082	28787	8931	59527	65596
3	31178	8887	1.125	27717	7901	87244	94344
4	29660	8176	1.170	25353	6989	112598	120609
5	32912	7522	1.217	27051	6183	139659	148467
6	35330	6920	1.265	27922	5469	167571	177102
7	36956	6336	1.316	28084	4815	195655	205840
8	49866	5857	1.369	36437	4280	232091	242812

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**IX – RENTABILITE D'UN INVESTISSEMENT :****91 – Rappel sur la maintenance d'amélioration :**

La maintenance d'amélioration a pour but de renforcer l'état d'un bien afin d'en améliorer sa fiabilité, et par conséquent, sa disponibilité.

De façon beaucoup plus large, la maintenance « améliorative » consiste à rendre un équipement plus fiable, plus sûr, plus productif, etc.

Dans tous les cas ces améliorations nécessitent au préalable de :

- Faire des études
- Acheter du matériel et des composants
- Fabriquer des éléments
- Réaliser les câblages et assemblage ainsi que les essais

Tous ces besoins doivent être financés : c'est ce qu'on appelle des **INVESTISSEMENTS**.

Mais avant d'entreprendre quoi que ce soit, il faut se poser la question : **L'INVESTISSEMENT EST-IL RENTABLE ?**

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**92 – Délai de retour d'un investissement :**

Il est donc nécessaire d'argumenter toute proposition de modification amenant la réalisation d'un investissement :

- Changement de méthode de maintenance
- Changement de politique de maintenance
- Améliorations, modifications sur un bien

En effet, à tout investissement correspond un espoir de recette sous forme de service rendu. Pour pouvoir argumenter, il faut être capable de mettre en évidence les aspects techniques et économiques du problème :

- Aspects techniques :
 - Amélioration des conditions de travail
 - Meilleure productivité
 - Amélioration de la sécurité
 - Meilleure fiabilité
 - Meilleure qualité
 - Etc.
- Aspects économiques :
 - **Coût de l'investissement et délai de récupération de l'investissement**

Problème à résoudre : INVESTISSEMENT RENTABLE ?

Coût actuel de maintenance : C_1

- Coût actuel = Coût Maintenance corrective
= C_1

Coût de maintenance envisagé après amélioration : C_2

- C_2 ($C_2 < C_1$)

Gain obtenu grâce à la modification : G

- $G = C_1 - C_2$

Investissement envisagé pour réaliser la modification : I

- Investissement = I

$R < 2 \text{ ans} \rightarrow$ RENTABLE

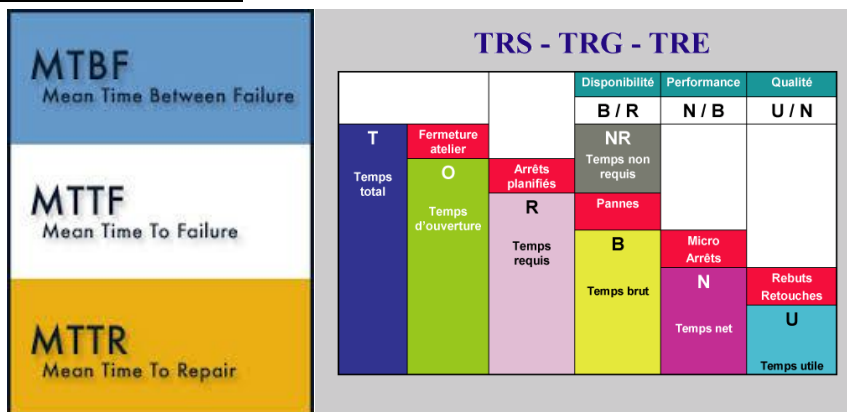
$R > 2 \text{ ans} \rightarrow$ NON
RENTABLE

Seuil de rentabilité : R

- $R = I / G$

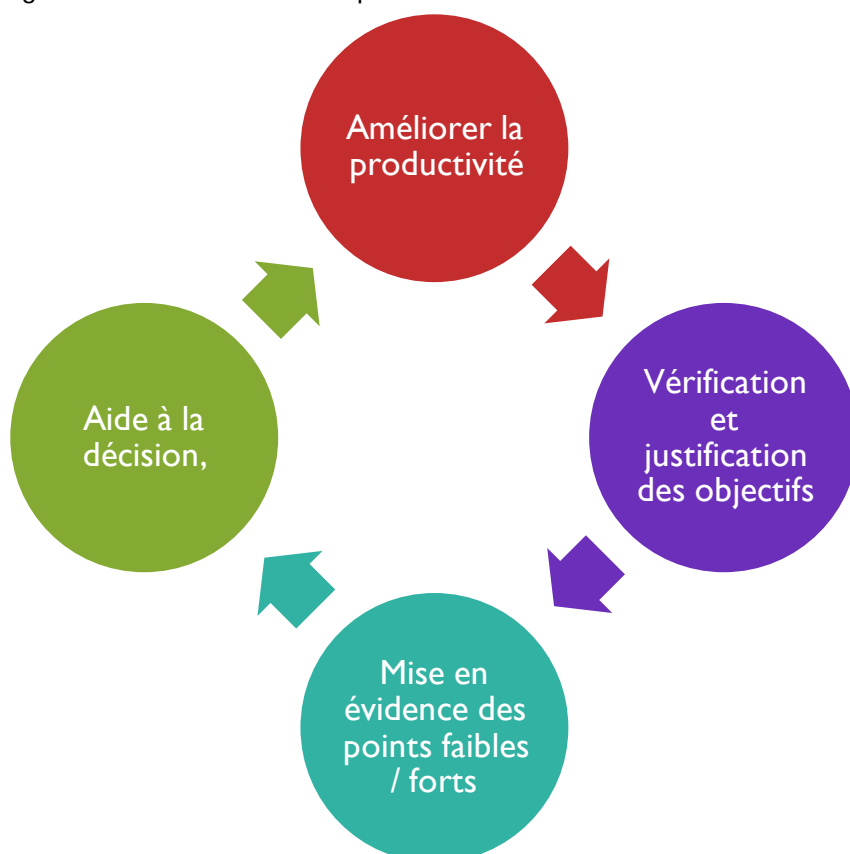
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**I – INDICATEURS ET TABLEAUX DE BORD :****11 – Définitions :**

- **Indicateur** : chiffre significatif d'une situation économique pour une période donnée.
- **Tableau de bord** : ensemble d'informations traitées et mises en forme de façon à caractériser l'état et l'évolution d'une situation donnée. Les tableaux de bord sont en général constitués de tableaux, de graphiques permettant de suivre l'évolution d'une ou plusieurs variables au cours du temps.

12 – Indicateurs connus en Maintenance**13 – Nécessité d'indicateurs et de tableaux de bord :**

L'importance de la quantification de la maintenance, au même titre que les autres grands postes de l'entreprise, doit amener les responsables de maintenance à choisir et à utiliser des **indicateurs caractéristiques et significatifs** afin de **connaître la situation (financière, matérielle et en personnels) de leur service et de justifier toutes les actions passées, en cours et à venir** ; ces indicateurs devant s'appuyer sur des données explicites.

L'utilisation de ces indicateurs doit donc permettre de fixer des objectifs tant aux niveaux économique, technique, humain et de suivre les résultats pour apprécier les écarts et les analyser. Les indicateurs constituent donc des outils indispensables pour une gestion efficace de l'outil de production et de la fonction maintenance :



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

II – GERER LA MAINTENANCE A PARTIR DE TABLEAUX DE BORD :

21 – Principe et mise en forme :

Appliquée à la maintenance, l'utilisation de tableaux de bord permet de conduire vers une disponibilité maîtrisée des équipements et / ou vers une réduction des coûts par la connaissance des événements et des activités du service.

Ces événements et activités étant paramétrées et mesurées à un instant t1, le tableau de bord doit permettre au responsable d'effectuer l'analyse à la situation t1, d'en déduire des axes d'actions puis de vérifier à t2 s'ils ont été efficaces ou non.

Le tableau de bord est donc un **outil d'aide à l'analyse objective des résultats obtenus** dans la situation de la période t1 pour cibler des objectifs à atteindre à l'horizon t2 ; puis pour vérifier à l'instant t2 si ces résultats ont été atteints ou non. Ces résultats sont mis sous la forme **d'indicateurs** facilitant l'analyse et l'interprétation.

La mise en forme de ces indicateurs nécessaires à décrire une situation doit faciliter la réflexion du décideur. Les indicateurs doivent donc être :

- Globalisés pour synthétiser la masse des informations saisies puis sélectionnées
- Peu nombreux, mais descriptifs de la fonction à piloter
- Simples, visuels, clairs pour être facilement compréhensibles et interprétables
- Objectifs pour donner une image incontestable d'une situation
- Structurés suivant l'objectif à atteindre
- Sélectionnés : trop d'informations nuisent à l'analyse mais pas assez ne permet pas une description complète de la situation
- Etablis sur une période de référence identifiée et significative

22 – Les différentes formes possibles d'indicateurs :

Regardons un tableau de bord d'une voiture : des indicateurs numériques (témoin de niveau d'huile) côtoient des indicateurs analogiques (fréquence de rotation du moteur).

Une indication numérique 0/1 (lampe témoin) convient à la description d'un état (alarme, seuil) mais pas à une analyse de situation.

Par contre, n'importe quelle valeur mesurée analogique est une indication de situation : $n = 7500 \text{ tr/min}$. Elle devient alors plus intéressante à interpréter dès lors qu'elle permet une réflexion tirée d'une dérive par rapport à une valeur de référence ($n_{\text{maxi}} = 6000 \text{ tr/min}$) ou une évolution temporelle mise en évidence par un graphe.

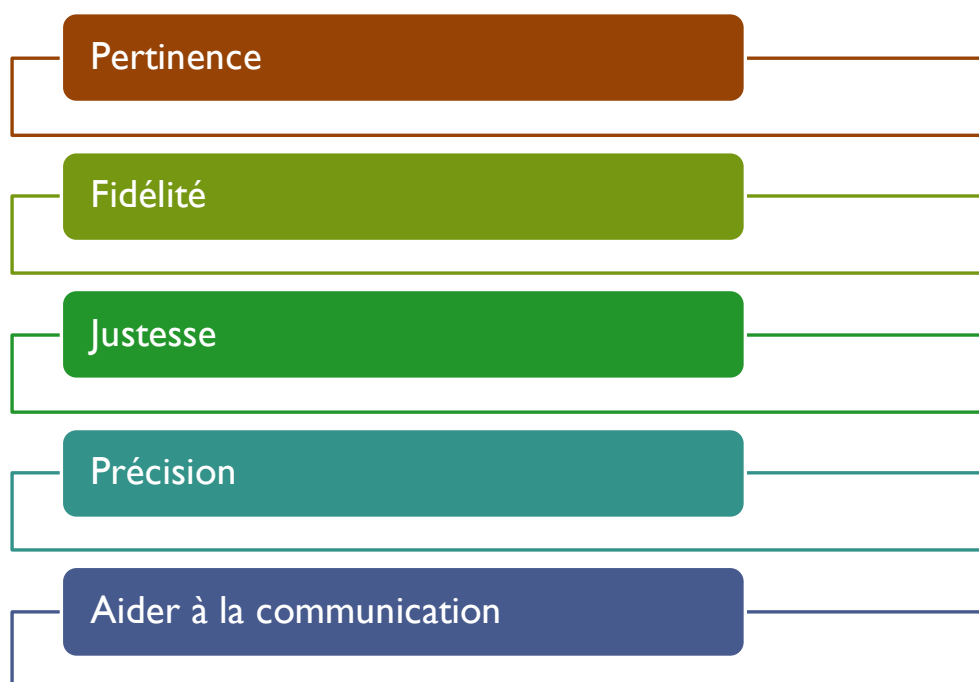


Le phénomène « la fréquence de rotation moteur est supérieure à la fréquence maxi admissible » mérite un diagnostic suivi de mesures correctives. Autrement dit, l'indicateur analogique « valeur mesurée » n'a pas une grande signification en valeur absolue, mais devient intéressante en valeur relative :

- Sous forme de pourcentage (c'est l'intérêt de l'analyse de Pareto)
- Sous forme de moyenne (par traitements statistiques ou probabilistes)
- Par comparaison à une référence (dérive) ou à une norme
- Par comparaison à lui-même dans le temps (évolution)
- Par comparaison à d'autres indicateurs de nature semblable

Il y a donc un intérêt certain à utiliser les outils « visuels » de la statistique descriptive pour traiter un échantillon de N valeurs. Ces outils graphiques sont préférables aux tableaux de valeurs qui sont moins faciles à interpréter.

Graphe d'évolution	Diagramme à barres	Graphe à secteurs

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**23 – Qualités d'un indicateur :**

La pertinence : l'indicateur a pour objet la prise de décision en connaissance de cause. La pertinence permet l'interprétation facile du phénomène étudié et la prise d'une décision efficace.

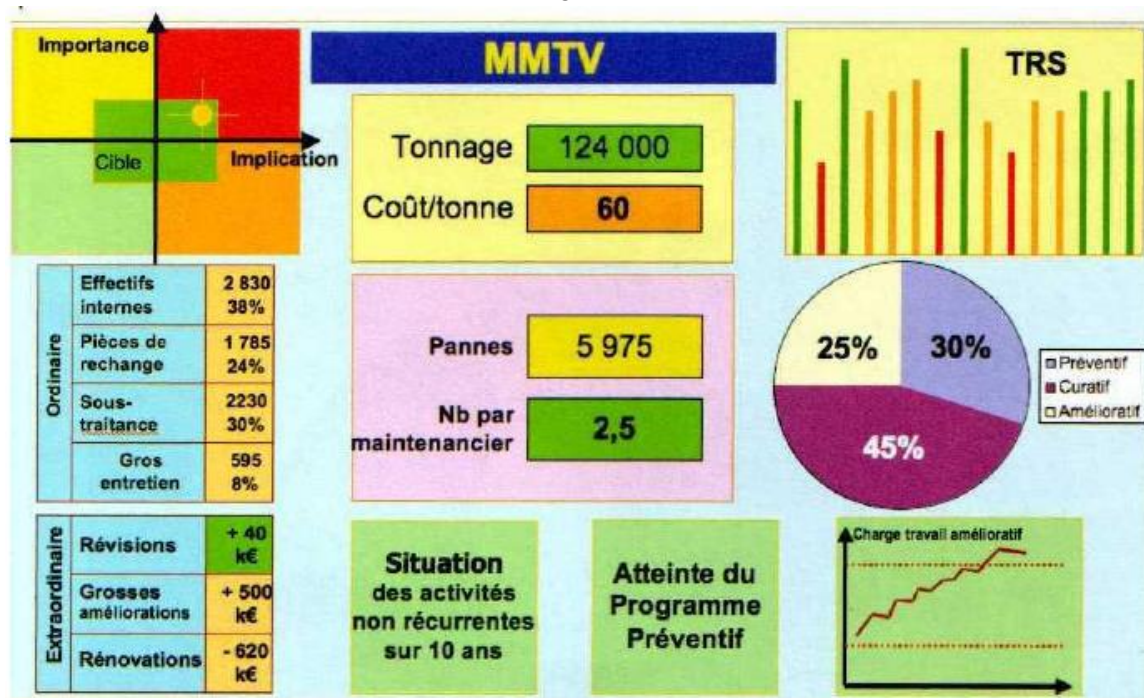
La fidélité : l'indicateur doit renvoyer une image sans distorsion du phénomène.

La justesse et la stabilité : l'indicateur doit donner une image exacte (centrée) et stable (renouvelable et répétitive).

La précision et la sensibilité : les variations significatives du phénomène doivent être reflétées par des variations lisibles de l'indicateur.

La consolidation : il peut être utile afin de réaliser des synthèses ou des analyses, d'agréger (réunir en un tout des éléments distincts), de cumuler ou de consolider (présenter des résultats de manière synthétique) des indicateurs quantifiés.

L'aide à la communication : lorsque plusieurs populations de préoccupations différentes sont intéressées à l'interprétation d'un indicateur, celui-ci doit faciliter le dialogue.



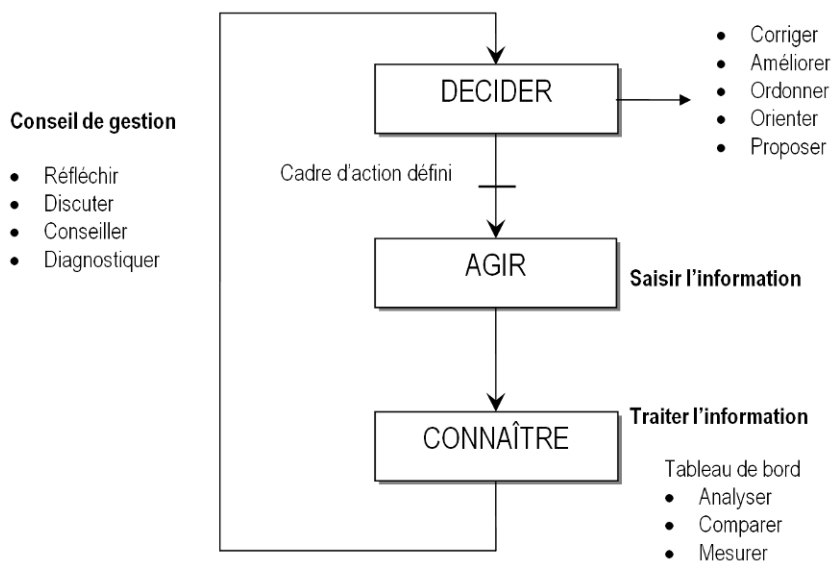
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**24 – Les tableaux de bord dans la démarche d'amélioration continue :**

Le tableau de bord est un ensemble d'informations traitées et mise en forme de façon à caractériser l'état et l'évolution du service maintenance. **C'est un outil d'aide à la décision.**

Le tableau de bord délivre à la demande des gestionnaires des **indicateurs** :

- Des états chiffrés ou exprimés en %
- Des graphiques d'évolution ou de répartition
- Des ratios

Les indicateurs permettent des comparaisons par référence à des données externes (les autres) ou internes (comparaison à soi-même dans le temps) Ils permettent aussi de mesurer les écarts entre les prévisions et les résultats opérationnels.

Modèle itératif de gestion :

Gérer c'est prendre des décisions en connaissance de causes

La décision n'est plus isolée mais *participative* (Qualité totale, TPM). Elle est prise à partir des *indicateurs du tableau de bord*.

Domaines à gérer en maintenance :

- Les activités du service
- Le matériel
- Les stocks de rechanges et l'approvisionnement
- La gestion budgétaire : ventilation des coûts par matériel, service, type de maintenance.
- Les investissements
- Les ressources humaines
- La sous-traitance

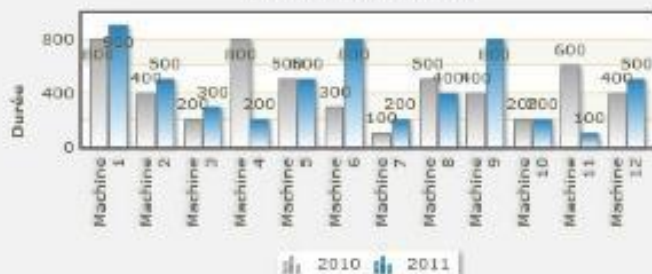
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Exemples de tableau de bord en GMAO

Rapports mensuels



MTBF
Comparatif 2010/2011

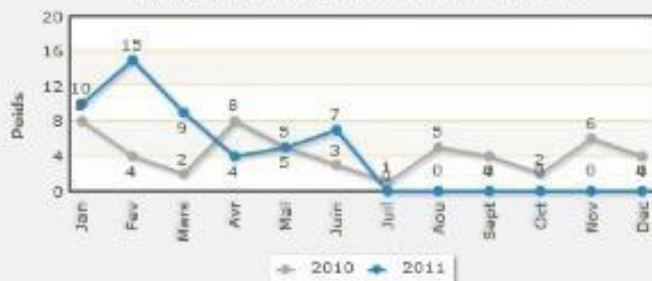


MTTR
Comparatif 2010/2011



Suivi des coûts financiers de la maintenance

Nombre d'interventions réalisées
Comparaison 2011/2012 pour tous les sites



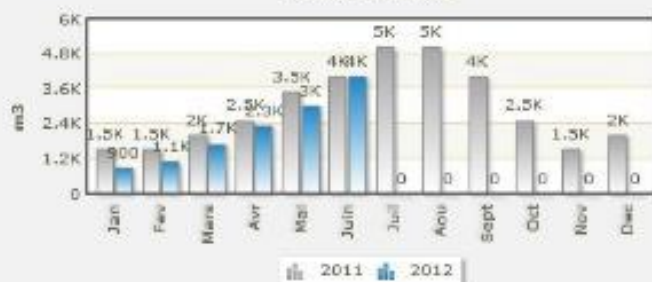
Nature des interventions
2011 pour tous les sites



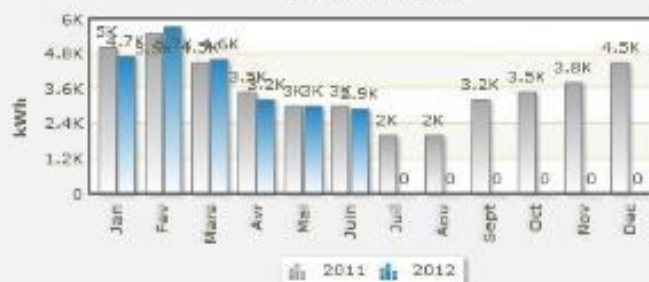
Suivi consommation des fluides



Consommation eau en m3
relevés mensuels



Consommation électrique en kWh
relevés mensuels



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**III – LES RATIOS :****31 – Définition :**

Les indicateurs peuvent aussi prendre la forme de **ratios** : **rapport conventionnel de 2 grandeurs sans lien direct, mais ayant une force d'évocation facilitant la réflexion et les comparaisons.**

Ex : nombre de litres de carburant consommé sur 100 km ; le nombre de pannes par tonne d'acier produit ; le coût de la maintenance par litre produit, etc.

32 – Ratios normalisés :

Les ratios des pages suivantes sont extraits de la norme NF X 60-020. Ils ne sont pas limitatifs. De plus, chaque entreprise peut avoir des ratios qui lui sont propres.

Indicateurs de maintenance et performance générale de l'entreprise	
$r1 = \frac{\text{Coûts de maintenance}}{\text{Valeur du bien à maintenir}}$	Permet d'évaluer les exigences économiques du bien concerné et de prendre notamment des décisions d'investissements ou de choix d'une technologie donnée.
$r2 = \frac{\text{Coûts de maintenance}}{\text{Valeur ajoutée produite}}$	Il permet des comparaisons inter entreprises dans des secteurs identiques.
$r3 = \frac{\text{Coûts de maintenance}}{\text{Chiffre d'affaire relatif à la production}}$	C'est un indicateur financier.
$r4 = \frac{\text{Coûts de maintenance}}{\text{Quantité produite}}$	Permet de mesurer l'évolution des coûts de maintenance à court terme et de juger du bon usage ou de la bonne maintenance d'un matériel.
$r5 = \frac{\text{Coûts de maintenance} + \text{Coûts d'indisponibilité}}{\text{Chiffre d'affaire relatif à la production}}$	Indicateur d'évolution de l'efficacité économique de la maintenance.
$r6 = \frac{\text{Coûts de défaillance}}{\text{Coûts de maintenance} + \text{Coûts de défaillance}}$	Indicateur d'évolution de l'efficacité technique de la maintenance.

Indicateurs de maintenance et gestion des biens durables : analyse des coûts de maintenance	
$r7 = \frac{\text{Valeur du ou des biens à maintenir}}{\text{Quantité produite}}$	Indicateur de l'évolution du coût d'exploitation par unité produite.
$r8 = \frac{\text{Coûts de la maintenance sous-traitée}}{\text{Coûts totaux de la maintenance}}$	
$r9 = \frac{\text{Coûts de la maintenance préventive}}{\text{Coûts de la maintenance préventive} + \text{corrective}}$	Importance relative des coûts de maintenance préventive.
$r10 = \frac{\text{Coût de maintenance}}{\text{Coût de remplacement}}$	Indicateur de décision de remplacement des équipements.
$r11 = \frac{\text{Coûts de l'outillage et des équipements de maintenance}}{\text{Coûts du personnel d'intervention}}$	Evolution de l'importance de l'outillage par rapport aux moyens correspondants de main d'œuvre.
$r12 = \frac{\text{Coûts de la documentation technique}}{\text{Coûts de maintenance}}$	

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

$r13 = \frac{\text{Couts des consommés}}{\text{Couts du personnel d'intervention} + \text{Couts des consommés}}$	Indicateur des dépenses courantes. Choix entre politique de remplacement rapide des pièces de rechange et d'usure, et réparations approfondies du matériel par le personnel de maintenance.
$r14 = \frac{\text{Valeur du stock maintenance}}{\text{Valeur des biens à maintenir}}$	

Indicateurs de maintenance et gestion des biens durables : suivi des activités de maintenance

$r15 = \frac{\text{Temps actifs de maintenance}}{\text{Temps effectif de disponibilité}}$	Anticipation des charges en personnel d'intervention par rapport aux prévisions de disponibilité.
$r16 = \frac{\text{Temps actifs de maintenance conditionnelle}}{\text{Temps actifs de maintenance préventive systématique} + \text{conditionnelle}}$	Importance de la maintenance conditionnelle dans les opérations actives de maintenance préventive.
$r17 = \frac{\text{Temps actifs de maintenance corrective}}{\text{Temps actifs de maintenance}}$	Importance de la maintenance corrective dans les opérations actives de maintenance.
$r18 = \frac{\text{Temps annexes de maintenance corrective}}{\text{Temps de maintenance corrective}}$	Importance de tous les temps de mise en œuvre des opérations de maintenance corrective (temps administratifs, logistiques, techniques, de préparation).
$r19 = \frac{\text{Temps de préparation du travail}}{\text{Temps actifs de maintenance}}$	Importance des activités de préparation du travail par rapport aux interventions effectives sur le bien.
$r20 = \frac{\text{Temps de travaux préparés}}{\text{Temps actifs de maintenance}}$	Part des interventions préparées dans toutes les interventions effectuées sur les biens.

Indicateurs de maintenance et gestion des biens durables : suivi des performances et de l'exploitation des biens durables.**Mesure de la disponibilité des biens.**

$r21 = \frac{\text{Temps requis}}{\text{Temps total}}$	C'est le taux d'engagement du bien.
$r22 = \frac{\text{Temps effectif de disponibilité}}{\text{Temps requis}}$	Indicateur d'évaluation de la disponibilité opérationnelle des biens.
$r23 = \frac{\text{Temps de fonctionnement}}{\text{Temps effectif de disponibilité}}$	C'est le taux d'utilisation des biens appelé encore TRS ou taux de rendement synthétique.
$r24 = \frac{\text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{Temps requis}}$	Permet une comparaison des performances d'exploitation du bien.

Mesure de l'indisponibilité pour maintenance

$r25 = \frac{\text{Temps propre d'indisponibilité pour maintenance corrective}}{\text{Temps requis}}$	Expression de la pénalité d'indisponibilité subie par l'utilisateur pour effectuer la maintenance corrective.
---	---

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

$r_{26} = \frac{\text{Temps propre d'indisponibilité pour maintenance}}{\text{Temps effectif de disponibilité}}$	Mise en évidence des causes d'indisponibilité dues à la maintenance par rapport à celles inhérentes à des causes externes ou indépendantes des actions de maintenance proprement dites.
$r_{27} = \frac{\text{Temps propre d'indisponibilité pour maintenance}}{\text{Temps de fonctionnement ou quantité produite}}$	Anticipation de la charge de personnel de maintenance par rapport à des prévisions de fonctionnement ou de production.
$r_{28} = \frac{\sum \text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{Nombre de défaillances}}$	MTBF : temps moyen de fonctionnement entre 2 défaillances. L'inverse donne le taux de défaillance
$r_{29} = \frac{\sum \text{Temps actifs de maintenance corrective}}{\text{Nombre de défaillances}}$	TMRS : temps moyen avant remise en service → MTTR .

Indicateurs de gestion du personnel de maintenance : formation du personnel.

$r_{30} = \frac{\text{Temps ou couts de formation maintenance}}{\text{Effectif maintenance}}$	$r_{31} = \frac{\text{Temps ou couts de formation maintenance}}{\text{Temps ou couts de formation entreprise}}$
$r_{32} = \frac{\text{Couts de formation}}{\text{Masse salariale}}$	

Indicateurs de gestion du personnel de maintenance : évolution des effectifs de maintenance.

$\text{Variation} = \frac{\text{Effectif de la période P}}{\text{Effectif de la période P-1}} \times 100$	$\text{Rotation} = \frac{\text{Effectif remplacé durant la période P}}{\text{Effectif moyen de la période P-1}} \times 100$
$\text{Personnel temporaire} = \frac{\text{Nb d'heures du personnel temporaire}}{\text{Nb d'heures totales travaillées}}$	

Indicateurs de gestion du personnel de maintenance : sécurité des personnes.

Nb d'accidents du travail par mois avec ou sans arrêts.	Nb de « presque accidents » par mois par non respect des consignes ou par non connaissance des consignes.
$\text{Taux de fréquence des accidents} = \frac{\text{Nb d'accidents avec arrêts} \times 10^6}{\text{Nb d'heures travaillées}}$	
$\text{Taux de gravité des accidents} = \frac{\text{Nb de journées perdues} \times 10^3}{\text{Nb d'heures travaillées}}$	

Indicateurs de gestion du personnel de maintenance : absentéisme et présentéisme.

$\text{Présentéisme} = \frac{(\text{Nb de personnes}) \times (\text{Nb d'heures de présence effective})}{(\text{Nb de personnes inscrites}) \times (\text{Nb d'heures standard prévues})}$
$\text{Absentéisme} = \frac{(\text{Nb de personnes}) \times (\text{Nb d'heures d'absence effective})}{(\text{Nb de personnes inscrites}) \times (\text{Nb d'heures standard prévues})}$

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**IV – EXPLOITATION DES INDICATEURS ET DES RATIOS :****41 – Objectif de l'analyse des indicateurs :**

La mise en place d'indicateurs, de ratios ou de tableaux de bord doit obligatoirement faire l'objet d'un suivi. En effet, il ne sert à rien de mettre en place des éléments (mesurant les performances et l'efficacité de la maintenance) si ces mêmes éléments ne sont ni exploités, ni analysés.

Ces indicateurs alimentent chaque jour la base de données de connaissance de l'entreprise par l'intermédiaire d'outils tels que la GMAO, les fichiers historiques, fichiers tableurs, etc.

Et pour corser la difficulté d'analyse, les indicateurs sont multiples et variés : MTBF, TRS, coûts, TTR, disponibilité, etc.

Le responsable maintenance se trouve donc confronté à une masse énorme de données hétérogènes à traiter.

Le problème qui se pose donc à cet instant est le suivant : parmi toute la masse de données existantes, comment mettre en évidence celles qui pourront améliorer l'efficacité de la maintenance ?

Dégager l'important d'une masse d'informations, faire apparaître objectivement ce qui est confusément perçu ; afin d'organiser de façon efficace la maintenance.

V - LA METHODE ABC OU L'ANALYSE DE PARETO OU LA METHODE DES 80-20 :

Il s'agit d'une méthode de choix qui permet de déceler entre plusieurs problèmes, ceux qui doivent être abordés en priorité.

La courbe ABC permet donc de distinguer de façon claire les éléments importants de ceux qui le sont moins ; et ceci sous la forme d'une représentation graphique.

Cette règle de répartition a été définie par Vilfredo PARETO (1848-1923, économiste italien qui, en étudiant la répartition des impôts aux Etats-Unis constata que 20% des contribuables payaient 80% de la recette de ces impôts). On l'appelle aussi la règle des 80-20.

D'autres répartitions analogiques ont pu être constatées ; ce qui a permis d'en tirer la loi des 20-80 ou la loi de Pareto. Cette loi peut s'appliquer à beaucoup de problèmes. C'est un outil efficace pour le choix et l'aide à la décision.

Elle permet de ne pas se laisser influencer par des travaux certes utiles, mais de très faible importance par rapport au volume des autres travaux.

Exemple de répartitions appliquées à la maintenance :

- 20% des systèmes représentent 80% des pannes.
- 20% des interventions représentent 80% des coûts de maintenance.
- 20% des composants représentent 80% de la valeur des stocks.



Mise en application de la loi :

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets :

- Diminuer les coûts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes.
- Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.
- Etc.

L'objectif de cette méthode est de suggérer objectivement **un choix** ; c'est-à-dire **classer par ordre d'importance** des éléments (produits, machines, pièces, coûts, etc.) à partir d'une base de connaissance d'une période antérieure (historique de pannes par exemple).

Les **résultats se présentent sous la forme d'une courbe appelée courbe ABC** dont l'exploitation permet de **détecter les éléments les plus significatifs** du problème à résoudre et de prendre les **décisions permettant sa résolution**.

METHODE :

L'étude suppose obligatoirement que l'on dispose d'un historique d'une période antérieure ou de prévisions. Pour une analyse donnée, l'application de la **loi de Pareto** impose plusieurs étapes :

1. Définition de l'objectif de l'étude et de ses limites :

Ces éléments peuvent être des matériels, des causes de pannes, des natures de pannes, etc.

2. Choisir le critère de classement.

Organiser le classement selon les critères de valeurs retenus (les coûts, les temps, les rebuts, etc.).

3. Construire un graphique.

Ce graphe fera apparaître les constituants sur la situation étudiée.

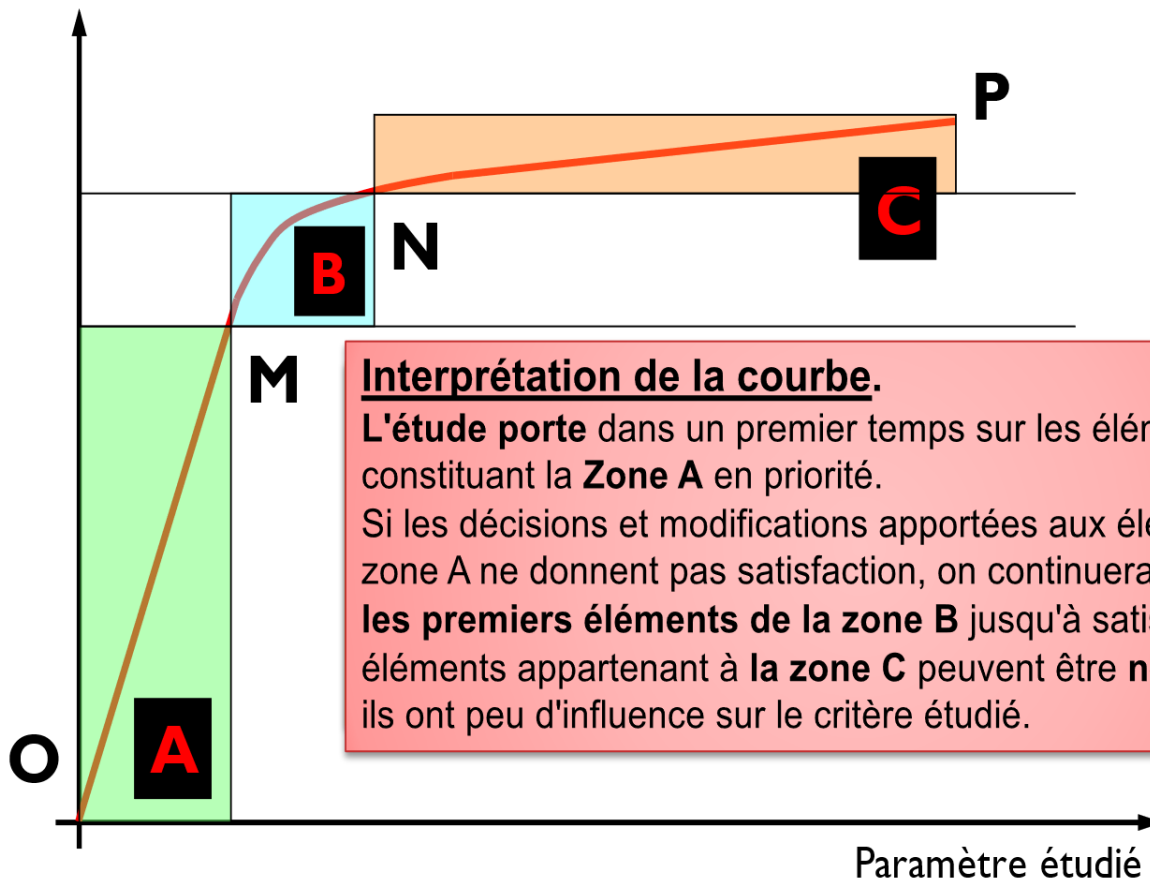
4. Déterminer les zones ABC.

Il s'agit de délimiter, sur la courbe obtenue, des zones fonction de l'allure de la courbe. En général la courbe possède deux cassures, ce qui permet de définir trois zones :

- La partie droite de la courbe **OM** détermine la zone **A**.
- La partie courbe **MN** détermine la zone **B**.
- La partie assimilée à une droite **NP** détermine la zone **C**.

5. Interprétation de la courbe.

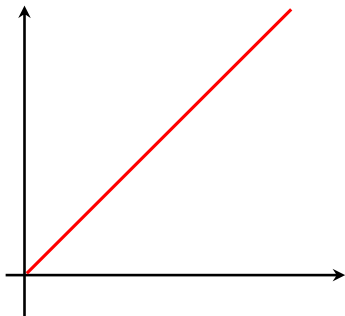
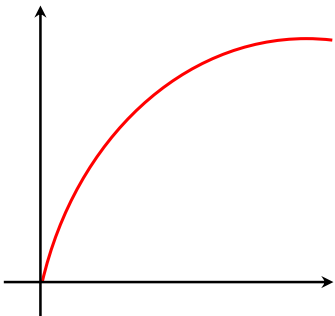
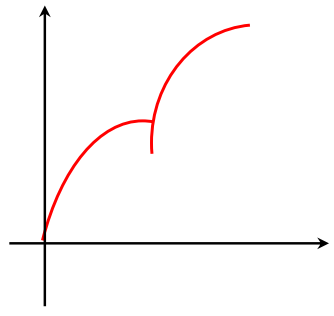
Critère cumulé en %

**Interprétation de la courbe.**

L'étude porte dans un premier temps sur les éléments constituant la **Zone A** en priorité.

Si les décisions et modifications apportées aux éléments de la zone A ne donnent pas satisfaction, on continuera l'étude sur les premiers éléments de la zone B jusqu'à satisfaction. Les éléments appartenant à la zone C peuvent être **négligés**, car ils ont peu d'influence sur le critère étudié.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**CAS PARTICULIERS DE COURBES :**

		
<i>Il n'y a pas de priorité à dégager, tous les éléments ont la même valeur.</i>	<i>Il n'y a pas de zones séparées. Les objectifs seront fixés à partir d'un pourcentage déterminé.</i>	<i>C'est une courbe impossible, il y a une erreur de classement.</i>

53 – Exemple :

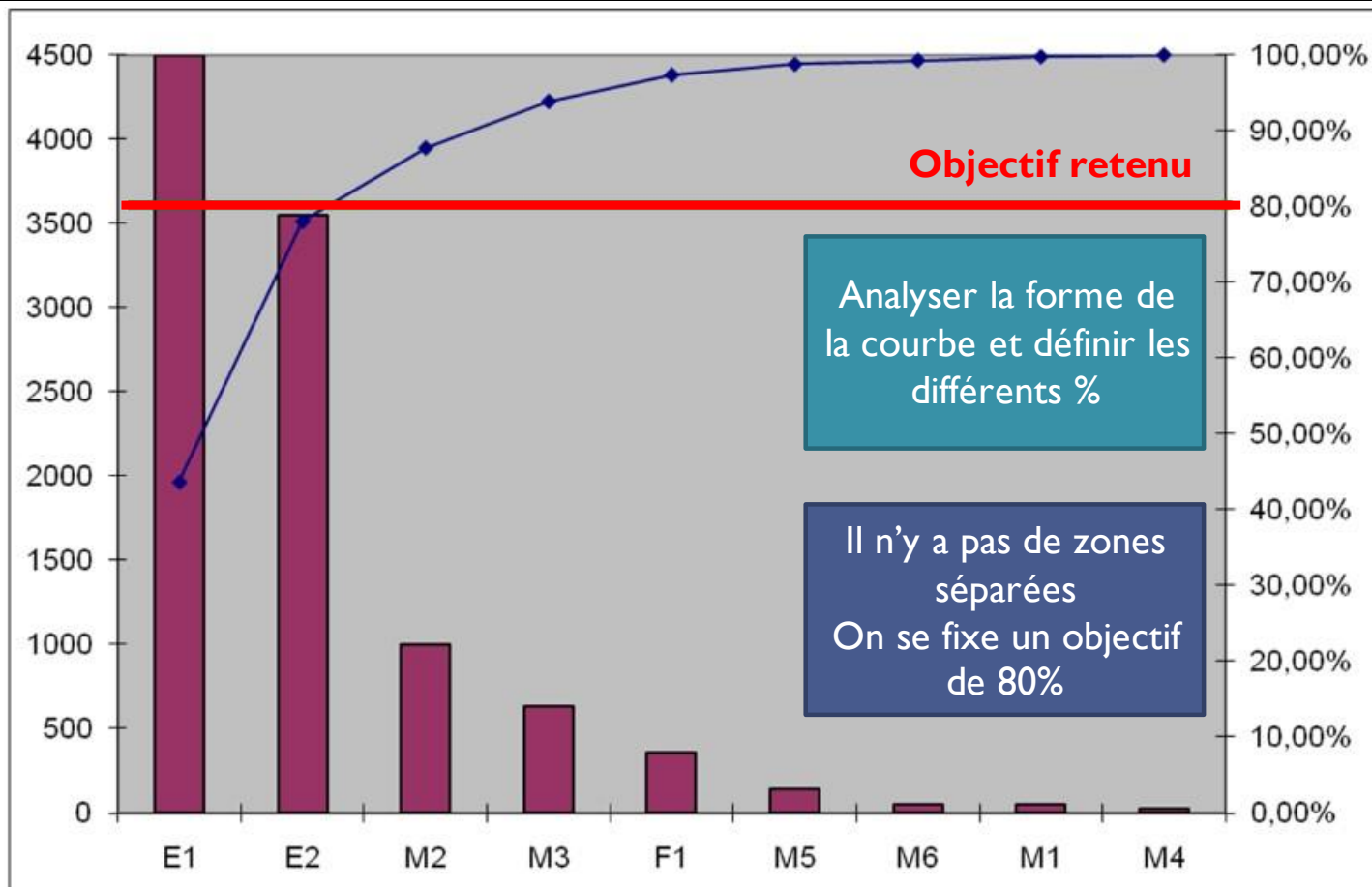
Sur une machine à souder, grâce à la mise en place d'indicateurs, le service maintenance a dressé le tableau ci-dessous :

Type de panne codé	Famille de pannes	Panne	Nb d'interventions par an	MTTR (minutes)	Durée annuelle (minutes)
M1	Mécanique	Dérèglages	10	5	50
M2	Mécanique	Blocages de la tête	2	500	1000
M3	Mécanique	Grippage de la tête	158	4	632
M4	Mécanique	Défaillance moteur groupe hydraulique	0.2	120	24
M5	Mécanique	Défaillance pompe haute pression groupe hydraulique	0.8	180	144
M6	Mécanique	Défaillance pompe basse pression groupe hydraulique	0.3	180	54
F1	Fluidique	Fuites d'huile	12	30	360
E1	Electrique	Défaillances de composants dues à l'humidité	90	50	4500
E2	Electrique	Défaillances de composants dues à la poussière	71	50	3550

Il a été décidé d'analyser le paramètre « durée annuelle d'intervention ». En effet, ce paramètre représente un indicateur de non disponibilité de l'équipement.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

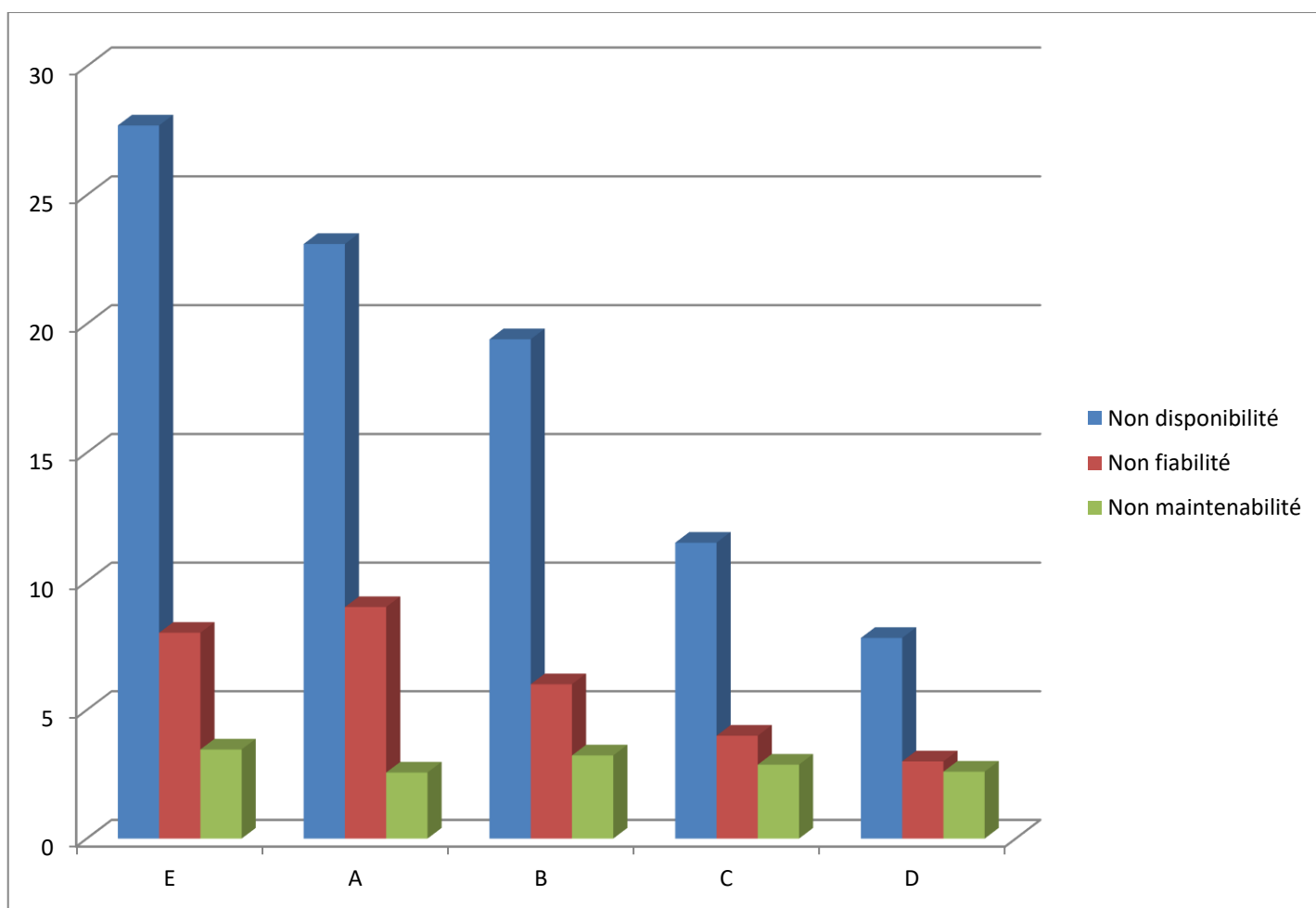
Type de panne classé	Durée annuelle des interventions (minutes)	Durées cumulées	Pourcentages cumulés
E1	4500	4500	43,63%
E2	3550	8050	78,05%
M2	1000	9050	87,74%
M3	632	9682	93,87%
F1	360	10042	97,36%
M5	144	10186	98,76%
M6	54	10240	99,28%
M1	50	10290	99,77%
M4	24	10314	100,00%



Analyse et conclusion :

Les défaillances de type E1 et E2 cumulent 80% des durées annuelles d'intervention. L'historique montre que ces types de pannes sont d'origine électrique. Les défaillances des composants sont liées à l'humidité et la poussière.

Il faut donc envisager des axes d'amélioration afin de protéger ces composants contre les 2 causes citées.

VI – ANALYSE EN N/T :

Graphes dédiés à l'analyse FMD (Fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité) des équipements

C'est un outil dédié à l'analyse des défaillances. Il consiste à tracer 3 graphes portant successivement en ordonnées :

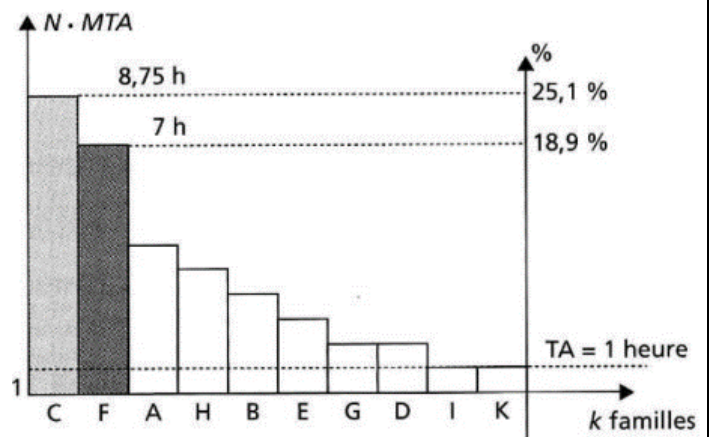
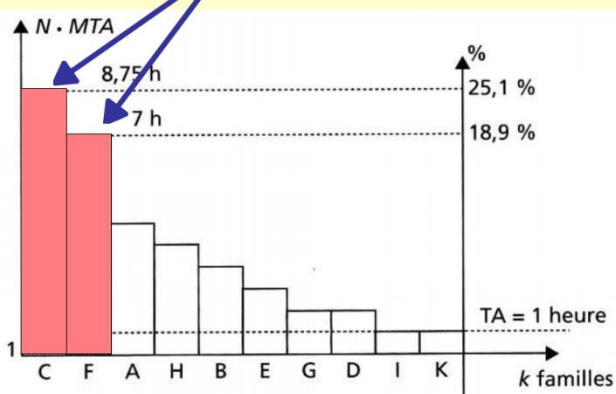
- $N \times MTTR = \Sigma TTR$, cumul des N durées d'intervention. Ce sera un indicateur de **non disponibilité**
- N : nombre de pannes enregistrées par familles. Ce sera un indicateur de **non fiabilité**
- MTTR : moyenne des durées d'intervention. Ce sera un indicateur de **non maintenabilité**

Les abscisses seront ordonnées par criticité décroissante des familles analysées sur le 1^{er} graphe en N/T.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Graphe en N./T :

- Il estime la perte de disponibilité (INDISPONIBILITE) due à chaque famille
- Il permet de sélectionner l'ordre de prise en compte des types de défaillance en fonction de leur criticité (= importance)
- Il a pour objectif l'amélioration de la disponibilité d'un équipement par action sur les sous-ensembles qui pénalisent la performance globale de la machine
- Ce graphe permet de déterminer objectivement les problèmes à analyser afin de les réduire et de voir leur impact sur la disponibilité

**Problème de DISPONIBILITE sur les familles C et F**

Constat → Familles C et F posent problèmes

C et F pénalisent le plus la disponibilité

Graphe en N./T

Origine du problème

Graphe à analyser

Problème de disponibilité

Fiabilité ?

Maintenabilité ?

Ou les 2 ?

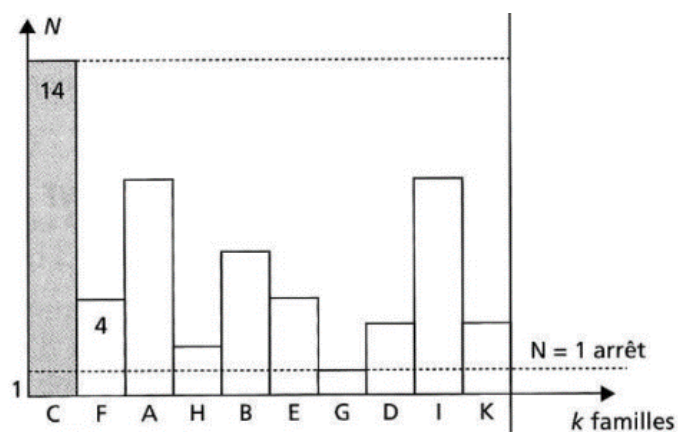
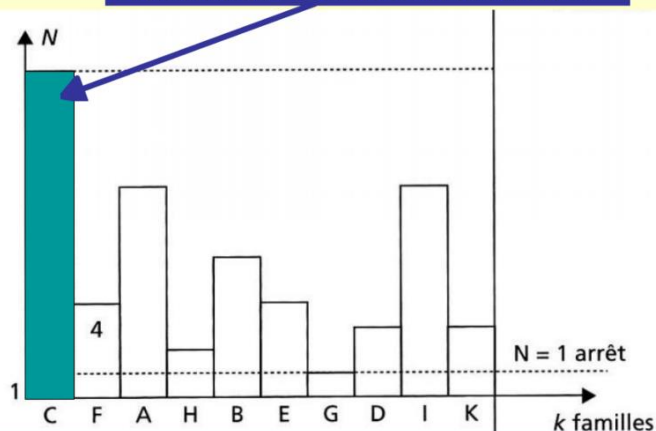
Graphe en N

Graphe en /T

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Graphe en N :

- Il estime la perte de fiabilité due à chaque famille
- Il a pour objectif l'amélioration de la fiabilité d'un équipement par action sur les sous-ensembles qui tombent le plus souvent en panne
- Ce graphe permet de déterminer objectivement les pannes à analyser afin de les réduire et de voir leur impact sur la disponibilité

**Problème de FIABILITE sur la famille C**

Constat → Famille C a le plus de pannes

C pénalise le plus la fiabilité

Graphe en N

Problème de fiabilité

Pistes de solutions

Maintenance améliorative

Maintenance préventive

Consignes de conduite

Etc,

Exemples

Modifications techniques

Composants plus fiables

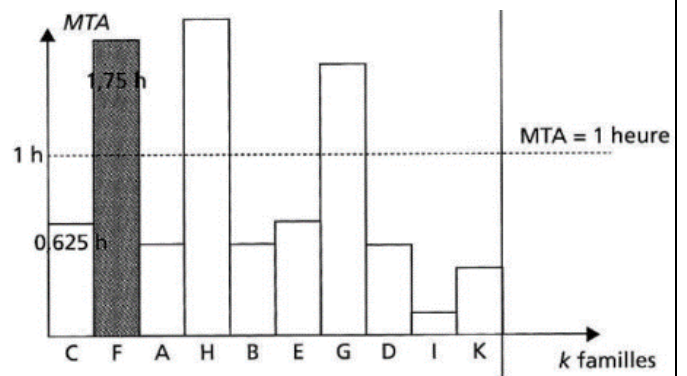
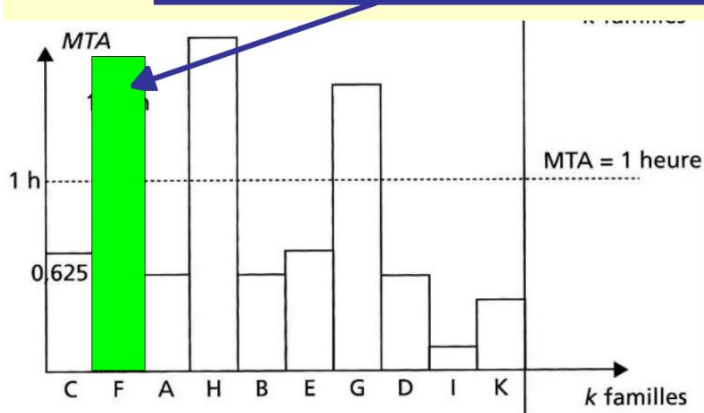
Plan de maintenance

Maintenance conditionnelle

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Graphe en /T :

- Il estime la non maintenabilité due à chaque famille
- Il a pour objectif l'amélioration de la maintenabilité d'un équipement par action sur les sous-ensembles qui ont une MTTR élevée
- Ce graphe permet de déterminer objectivement sous-ensembles à analyser afin de réduire leur MTTR et de voir leur impact sur la disponibilité

**Problème de MAINTENABILITE sur la famille F**

Constat → Famille F a la plus grande MTTR

F pénalise le plus la maintenabilité

Graphe en /T

Problème de maintenabilité

Pistes de solutions

Logistique de maintenance

Organisation

Etc,

Exemples

Pièces de rechange

Aides au diagnostic

Gammes de travail

Analyse des temps

SYNTHESE DES 2 METHODES PARETO / FMD

Analyse d'indicateurs à partir d'historiques

Analyse de défaillances (FMD)

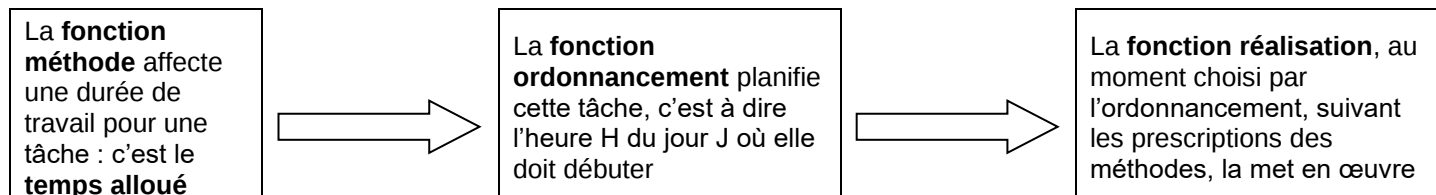
- Analyse en N./T
 - Déterminer les temps d'arrêt T (ou TTR ou TA) par sous-ensemble
 - Déterminer le nombre de pannes (N) par sous ensemble
 - Calculer $/T = T/N$
 - Trier l'ensemble des données par ordre décroissant de T
 - Tracer sur le même graphe T, N et /T
 - Déterminer les sous-ensembles qui pénalisent T (non disponibilité)
 - Déterminer ceux qui posent des problèmes de fiabilité (graphe en N)
 - Déterminer ceux qui posent des problèmes de maintenabilité (graphe en /T)
 - Proposer des pistes de solutions

Recherche d'éléments pénalisants en fonction d'un critère donné

- Analyse par PARETO
 - Déterminer le paramètre d'étude
 - Déterminer le critère à analyser
 - Trier les données par ordre décroissant du critère
 - Cumuler le critère
 - Calculer les % cumulés
 - Tracer la courbe
 - Analyser la courbe
 - Conclure en proposant des solutions

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**I – TERMINOLOGIE ET METHODES D'ORDONNANCEMENT :****11 – Définitions :**

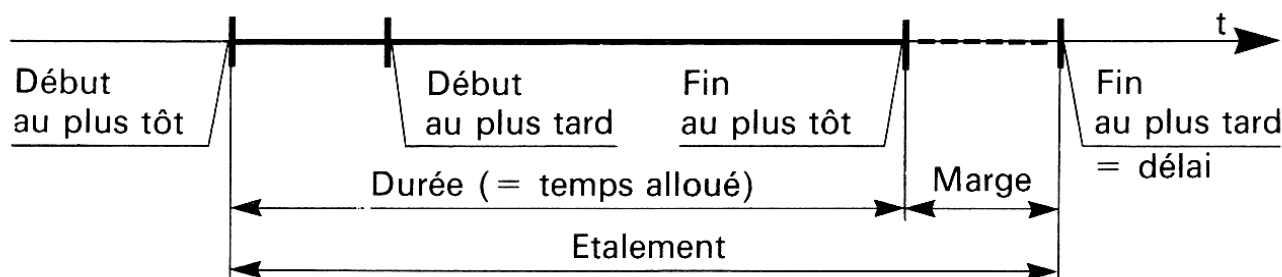
Fonction ordonnancement : c'est la fonction de l'entreprise chargée de gérer les temps d'activités. Elle occupe une position chronologique dans le déroulement d'une intervention entre les méthodes et la réalisation.

**Notion de charge :**

- **Capacité de charge** : c'est le nombre d'heures de travail qu'il est possible à une équipe de réaliser pendant son horaire normal de travail. Ex : 12 ouvriers représentent une capacité de charge de $12 \times 35h = 420$ heures hebdomadaire.
- **Charge** : c'est la somme des temps alloués pour une période de référence et pour une équipe.
- **Surcharge** : elle se manifeste quand la charge est supérieure à la capacité.
- **Sous charge** : elle se manifeste quand la charge est inférieure à la capacité. Momentanée, elle rend disponible le personnel. Permanente, elle pose le problème des sureffectifs.

Notion de tâche ou d'étape :

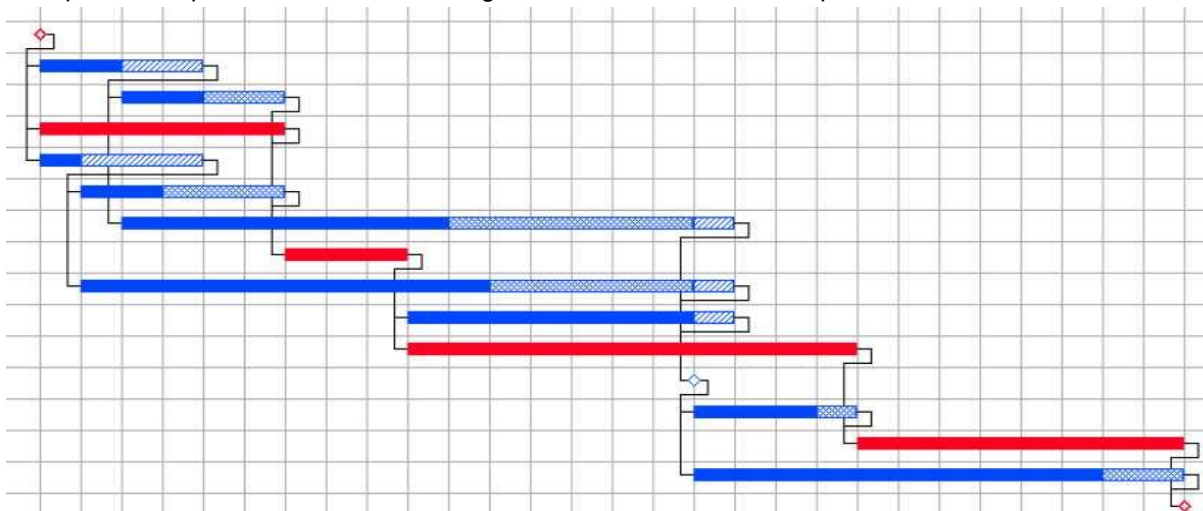
- **Tâche** : en maintenance, c'est une intervention caractérisée par une durée propre, estimée par les méthodes, et portée sur l'ordre de travail. La situation dans le temps de cette tâche entraîne la définition des termes suivants :



- **Projet** : c'est un ensemble de tâches ; chaque tâche étant une phase, c'est à dire un élément de décomposition du projet auquel les méthodes ont affecté une durée propre. Ex : révision annuelle d'un process, arrêt d'une tranche de centrale nucléaire.
- **Chemin critique** : c'est l'ensemble des tâches « en série » qui conditionnent la durée totale d'un projet.
- **Délai** : c'est une contrainte technique ou commerciale s'appliquant à l'achèvement d'une tâche (fin au plus tard) ou d'un projet.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCENotion de planning :

- **Diagramme de Gantt** : c'est une forme graphique visualisant la succession des tâches, chaque durée de tâche étant représentée par une barre dont la longueur est à l'échelle des temps.



- **Plannings** : ce sont des tableaux visualisant la programmation des travaux. Ces tableaux sont des diagrammes de Gantt.
- **Lissage** : opération qui consiste à rechercher une optimisation des charges en jouant sur les marges. Le lissage ne concerne pas les tâches du chemin critique qui, par définition, n'ont pas de marge.
- **Jalonnement** : ensemble des dates situant sur un planning les tâches et leurs marges, dans la réalisation d'un projet.

Actions d'ordonnancement :

- **Programmation** : action d'intégrer une tâche « en attente » sur un planning, donc de lui choisir ses dates de début et de fin.
- **Lancement** : c'est une sous fonction de l'ordonnancement ayant pour mission de rassembler tous les « moyens » pour assurer leur disponibilité au moment choisi.
- **Avancement** : autre sous fonction assurant le suivi des travaux. Il contrôle l'état d'avancement des « en-cours », leur achèvement, et enregistre les éventuelles discordances entre les prévisions et les réalisations ; ce qui permet les corrections nécessaires à la tenue à jour des plannings.
- **Débloquer** : action de libérer le lancement d'une tâche après l'enregistrement de la fin de la tâche antécédente.
- **Approvisionnement** : de la responsabilité de l'ordonnancement, il veille à la disponibilité des « consommables », donc il s'assure des approvisionnements nécessaires. C'est une fonction économiquement très importante :
 - Approvisionner trop tôt, en trop grand nombre, conduit à stocker inutilement ; ce qui revient très cher.
 - Approvisionner trop tard entraîne des retards et du personnel inoccupé.

12 – Caractéristiques de l'ordonnancement :

L'ordonnancement est le « chef d'orchestre », chargé de conduire les événements. Son rôle consiste à :

- Prévoir la chronologie du déroulement des tâches, optimiser l'utilisation des moyens nécessaires, et les rendre disponibles
- Lancer les travaux au moment choisi
- Contrôler l'avancement et la fin des tâches, et prendre en compte les écarts entre les prévisions et les réalisations.

Prévoir un instant T et un endroit X où un personnel P, muni de l'outillage O et des matières M, exécutera la tâche Y.

Caractéristiques :

- **Optimisation des moyens** : trouver le compromis coût / temps. Pour réduire la durée d'une tâche, il faut augmenter les moyens à mettre en œuvre, donc les coûts directs imputés à cette tâche.
- **Méthodes et ordonnancement** :
 - Les méthodes répondent aux questions : Quelle tâche ? Comment la réaliser ?
 - L'ordonnancement répond aux questions : Quand ? Qui ?
- Sans ordonnancement efficace, un service **subit** les événements au lieu de les **maîtriser**.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**13 – Les 5 niveaux d'ordonnancement :**

1^{er} niveau : prévisions à long terme. Il correspond à la notion de « plan de charge » et se situe à un horizon compris entre 1 et 5 ans. Les prévisions concernent la direction et sa politique. Elles permettent, en fonction des prévisions économiques de l'entreprise, de prévoir globalement une charge de travail ; donc du personnel et des investissements en matériels. Ces prévisions impliquent la définition d'une politique de maintenance adaptée à ces investissements.

2^{ème} niveau : prévisions à moyen terme. Horizon de 1 à 12 mois. Elles concernent le bureau d'ordonnancement. Les commandes sont enregistrées. Un planning des charges mensuelles est possible, l'approvisionnement des stocks est lancé, ainsi que les pièces et les outillages à fabriquer ou à modifier.

3^{ème} niveau : le lancement (court terme). Il concerne le bureau de lancement, charnière entre la prévision et l'exécution. Il gère le « planning de lancement » et déclenche la mise à disposition du chef d'équipe des matières et des outillages, ainsi que des préparations des méthodes et des procédures de sécurité (consignations).

4^{ème} niveau : répartition du travail (futur immédiat). C'est la mise en main, par le chef d'équipe, des tous les éléments permettant aux exécutants de faire le travail dans les conditions de temps, qualité et sécurité prévues.

5^{ème} niveau : contrôle de l'avancement. Le respect des délais nécessite un contrôle permanent de l'avancement des travaux, une étude des écarts par rapport aux prévisions et une adaptation éventuelle.

14 – Les problèmes de surcharge :

Surcharge permanente	Surcharge conjoncturelle
Revoir la politique de maintenance : - Le préventif diminue la charge globale - L'amélioratif diminue le taux de défaillance, donc la charge de correctif - Des méthodes performantes diminuent les temps opératifs - Une sous-traitance bien négociée diminue la charge interne 1^{er} niveau de maintenance à la production	Recours aux heures supplémentaires Sous-traitance Chercher des priorités : quels travaux peut-on reporter ? Méthodes : remplacer une réparation par un échange standard, plus coûteux mais plus rapide.
Embaucher du personnel (intérimaires)	

15 – Les ordres d'urgence :

Les travaux de maintenance peuvent être classés en 2 catégories :

- Les travaux prévisibles à l'avance :** maintenance préventive, travaux d'améliorations, révisions, etc.
- Les travaux imprévisibles :** c'est tout le domaine de la maintenance corrective.

Les travaux prévisibles feront donc l'objet d'une planification. Le rôle de l'ordonnancement sera alors de caler l'apparition de travaux imprévisibles sur le planning en fonction de leurs degrés d'urgence :

- Urgence 1 :** travaux à effectuer immédiatement ou dans la journée. Ce sont en général des travaux de dépannage exécutés par du personnel qualifié et polyvalent.
- Urgence 2 :** travaux à effectuer avant une date limite ou au cours d'une période déterminée.
- Urgence 3 :** travaux dont le délai d'exécution est dans une large mesure indifférent car ces travaux concernent des installations sans lien avec la production ou sans spécifications particulières de sécurité.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**II – PLANIFICATION PAR DIAGRAMME DE GANTT :**

Un projet comporte un nombre de tâches plus ou moins grand à réaliser dans les délais impartis et selon un agencement bien déterminé. Le diagramme de GANTT est un outil permettant de planifier le projet et de rendre plus simple le suivi de son avancement.

Le diagramme de GANTT est un planning présentant une liste de tâches en colonne et en abscisse l'échelle de temps retenue. La mise en oeuvre de technique de planification nécessite que les tâches soient identifiées, quantifiées en terme de délais, de charges ou de ressources et que la logique de l'ensemble des tâches ait été analysée

Afin de mener à bien la réalisation de cet outil, il faut donc procéder comme suit :

1. **Déterminer et structurer la liste des tâches à réaliser**
2. **Estimer les durées et les ressources** : il faut remplir un tableau présentant, pour chaque tâche, la durée de celle-ci et les ressources affectées (matériels et personnels). L'unité de temps pour exprimer la durée est fonction du type de projet réalisé. Elle peut aller de la minute à l'année. Le tout est d'utiliser la même unité de temps pour toutes les tâches dans un souci d'harmonisation du diagramme.
3. **Réaliser le réseau logique** : le réseau doit reprendre les hypothèses de priorités des tâches. Il se présente souvent sous la forme de tâches reliées entre elles par des liens logiques. Pour chaque tâche, il est primordial de trouver les relations d'antécédence et de succession. Une fois le réseau tracé, on retrouvera la chronologie du projet.
4. **Tracer le diagramme de GANTT** : avec en abscisse l'échelle de temps et en ordonnée la liste des tâches, il faut tracer un rectangle d'une longueur proportionnelle à sa durée, le tout suivant la logique d'ordre d'exécution du réseau. Il peut apparaître des tâches se réalisant pendant la même période. En effet, c'est un peu le but recherché car plus les tâches pourront se faire simultanément, plus la durée du projet sera courte et plus le coût du projet risque de baisser. Il faut toutefois vérifier la disponibilité des ressources en regardant dans le tableau d'affectation, les ressources utilisées plusieurs fois.

Le diagramme de GANTT permet de visualiser facilement le déroulement du projet, ainsi que de prévoir suffisamment à l'avance les actions à penser ou à faire comme la commande de matériel qui prend parfois beaucoup de temps. On pourra aussi gérer plus facilement les conflits de ressources et les éventuels retards en visualisant l'impact de ceux-ci sur le déroulement du projet. En outre, le diagramme de GANTT est un bon outil de communication avec les différents acteurs du projet.

Le diagramme de GANTT sera modifié au fur et à mesure de l'avancement du projet. Il faut mettre à jour ce diagramme régulièrement. Le chemin critique peut évoluer en fonction de l'avancement, du retard, ou de toute modification sur une tâche ; les chemins « presque critiques » pouvant alors devenir critiques.

Exemple :

Une commune décide de construire une bibliothèque municipale sur un terrain qu'elle vient d'acquérir. L'entrepreneur chargé de cette construction a fourni le tableau des enchaînements des différentes tâches, avec indication des durées respectives de chaque activité :

N°	Nom de la tâche	Durée (en mois)	Tâches pré requises (immédiatement antérieures)
A	Acceptation des plans par les services compétents	4	
B	Préparation du terrain	2	
C	Commande des matériaux (sauf portes et fenêtres)	1	A
D	Creusage des fondations	1	A, B
E	Commande des portes et fenêtres	2	A
F	Livraison des matériaux	2	C
G	Coulage des fondations	2	D, F
H	Livraison des portes et fenêtres	8	E
I	Pose des murs, de la charpente, du toit	4	G
J	Mise en place des portes et fenêtres	1	H, I

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Le diagramme de Gantt d'enchaînement des tâches est le suivant :

	Nom de la tâche	Durée	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	Acceptation des plans par les services compétents	4																				
B	Préparation du terrain	2																				
C	Commande des matériaux (sauf portes et fenêtres)	1																				
D	Creusage des fondations	1																				
E	Commande des portes et fenêtres	2																				
F	Livraison des matériaux	2																				
G	Coulage des fondations	2																				
H	Livraison des portes et fenêtres	8																				
I	Pose des murs, de la charpente, du toit	4																				
J	Mise en place des portes et fenêtres	1																				

Les tâches critiques sont les tâches A, E, H, J.

Les conséquences d'un retard de 2 mois dans l'exécution de la tâche A entraîne un retard de 2 mois dans la date de fin de projet.

III – PLANIFICATION EN MAINTENANCE PREVENTIVE : METHODE ABACABAD :

Lorsque l'on pratique une méthode préventive, tous les points d'un même matériel ne doivent pas être contrôlés avec la même périodicité.

La visite la plus importante est affectée de la période P. Les visites intermédiaires sont organisées au terme de périodes sous multiple P/2 P/4 P/8 etc...

La liste des points à contrôler pour ces périodes est établie en fonction des lois d'usure de la fiabilité et de la sécurité. Ainsi chaque type de visite A.B.C.D. etc... sera une combinaison de la liste d'intervention.

Exemple de planification :

Type de visite	Périodicité (en heure de fonctionnement)
1	1000
2	2000
3	4000
4	8000

La combinaison de ces listes donne les différentes catégories de visite :

Catégorie A : interventions de la liste 1

Catégorie B : interventions des listes 1+2

Catégorie C : interventions des listes 1+2+3

Catégorie D : interventions des listes 1+2+3+4

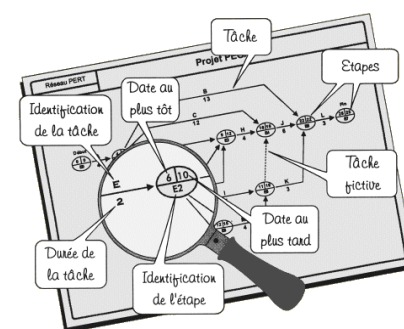
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Planification des visites

Type de visite	Périodicité (en heures de fonctionnement)								
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
1									
2									
3									
4									
Nature des visites	A	B	A	C	A	B	A	D	A
	1	1+2	1	1+2+3	1	1+2	1	1+2+3+4	1

IV – PLANIFICATION PAR RESEAUX PERT :

A la fin des années cinquante, la marine américaine conçoit une nouvelle technique d'ordonnancement qui devait conduire à des gains de temps importants dans la réalisation de ses missiles à ogive nucléaire Polaris : c'est la technique PERT (Programm Evaluation and Review Technic - technique d'ordonnancement et de contrôle des programmes). Cette technique a permis de coordonner les travaux de près de 6000 constructeurs dans les délais imposés par le gouvernement américain. Le projet POLARIS représentait entre autres 250 fournisseurs, 9000 sous-traitants, 7 ans de réalisation. L'utilisation du PERT a permis de ramener la durée globale de réalisation du projet de 7 à 4 ans.



Cette méthode s'est ensuite étendue à l'industrie américaine puis à l'industrie occidentale.

Le PERT est « une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur dépendance et à leur chronologie concourent toutes à l'obtention d'un produit fini ».

La méthode PERT est le plus souvent synonyme de gestion de projets importants et à long terme. C'est pourquoi un certain nombre d'actions sont nécessaires pour réussir sa mise en œuvre :

- Définir de manière très précise le projet d'ordonnancement
- Définir un responsable de projet, auquel on rendra compte et qui prendra les décisions importantes
- Analyser le projet par grands groupes de tâches, puis détailler certaines tâches si besoin est
- Définir très précisément les tâches et déterminer leur durée
- Rechercher les coûts correspondant ce qui peut éventuellement remettre en cause certaines tâches
- Effectuer des contrôles périodiques pour vérifier que le système ne dérive pas.

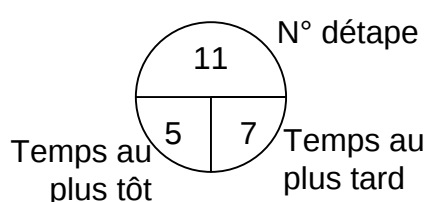
Contrairement à celle du GANTT, la méthode PERT s'attache surtout à mettre en évidence les liaisons qui existent entre les différentes tâches d'un projet et à définir le **chemin dit « critique »**.

Le graphe PERT est composé d'**étapes** et de **tâches** (ou opérations).

On représente les tâches par des flèches. La longueur des flèches n'a pas de signification; il n'y a pas de proportionnalité dans le temps.

Définitions :

Tâche ou opération : elle fait avancer le projet vers son état final. Habituellement, on nomme les tâches et on indique leur durée.



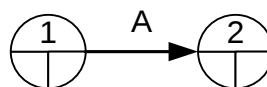
Etape : on appelle étape, le début ou la fin d'une tâche. Habituellement on numérote les étapes. On indique aussi leur temps de réalisation au plus tôt et au plus tard.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

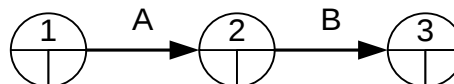
Réseau: On appelle réseau ou diagramme PERT, l'ensemble des tâches et des étapes qui forment le projet. Un réseau possède toujours une étape de début et une étape de fin. On lit un réseau de la gauche vers la droite. Les flèches sont orientées dans ce sens. Il n'y a jamais de retours. On ne peut représenter une tâche que par une seule flèche.

Représentation, règles :

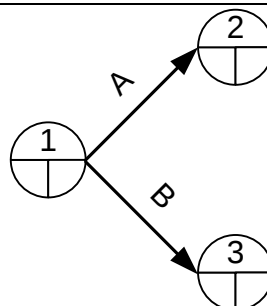
Toute tâche a une étape de début et une étape de fin. Une tâche suivante ne peut démarrer que si la tâche précédente est terminée.



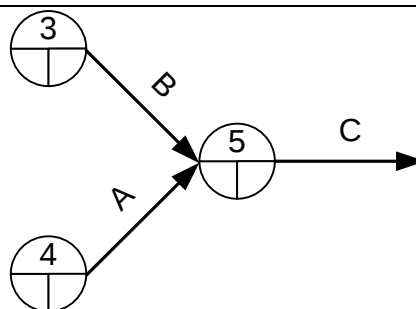
Deux tâches qui se succèdent immédiatement sont représentées par des flèches qui se suivent.



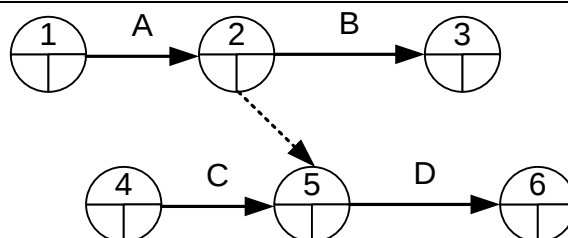
Deux tâches A et B qui sont simultanées (c'est à dire qui commencent en même temps) sont représentées de la manière suivante :



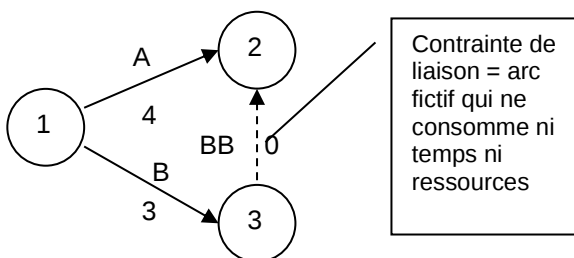
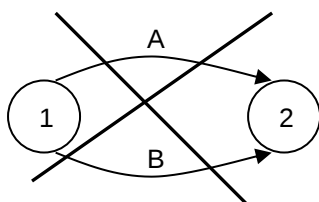
Deux tâches A et B qui sont convergentes (c'est à dire qui précèdent une même tâche G) sont représentées de la manière suivante :



Parfois, il est nécessaire d'introduire des tâches fictives. Une tâche fictive a une durée nulle. Elle ne modifie pas le délai final. Par exemple, si la tâche D succède aux tâches A et C, et que la tâche B succède seulement à la tâche A, on représentera le problème de la manière suivante :



2 tâches ne peuvent être identifiées par 2 arcs ayant la même origine et la même extrémité. Ainsi, si 2 tâches sont **simultanées**, elles seront représentées par 2 arcs différents en partant de la même origine



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Transcription du réseau PERT en document de travail : la gamme d'ordonnancement :**

Gamme d'ordonnancement		Matériel : Groupe moto pompe type 23 Révision annuelle							
schéma d'enclenchement	Phases	Temps alloué			Temps à valoriser		Temps passés		Date
		phase	élec	méca	alloué	passé	élec	méca	
	10 dépose groupe	5h	1h	5h	6h	5h30	1h30	4h	21/05
	20 démontage pompe	7h		7h	7h	8h		8h	21-22/05
	30 expertise	2h	1h	2h	3h	2h30	0h30	2h	22/05
	40 connexions électriques	1h	1h		1h	1h	1h		23/05
	50 démontage moteur	4h		4h	4h	5h		5h	23/05
	60 échange de la garniture pompe	3h		3h	3h	2h30		2h30	26/05
	70 visite roulements moteur	5h		5h	5h	5h		5h	26/05
	80 remontage moteur	4h		4h	4h	3h		3h	29/05
	90 remontage pompe	8h		8h	8h	8h		8h	29/05
	100 remontage, essai du groupe	6h	2h	6h	8h	11h30	3h30	8h	29/05
OT n° 2674		Temps alloué : 34 h (chemin critique)			Temps passé : 36 h Date début : 21/05/XX - Date fin : 29/05/XX				

L'ordonnancement prendra en compte pour la programmation le temps alloué : 34 h.

La valorisation prendra en compte les temps passés : 6h30 électricien et 45h30 mécanicien aux taux horaires respectifs pour facturation.

Les bons intermédiaires permettent d'expliquer les écarts de prévision, d'estimer les coûts des rechanges et consommables utilisés, donc de valoriser l'ordre de travail (OT).

Exemple traité :

Soit à effectuer les tâches suivantes:

Tâches	Antécédents	Durée	Tâches	Antécédents	Durée
A	/	3	G	E-F	9
B	A	1	H	/	5
C	A	5	I	H	8
D	B	6	J	H	2
E	B	4	K	I	3
F	C-I-D	2	L	K-J	7

Approche cartésienne :

- **Etape 0 :** on réalise un tableau. En abscisse et en ordonnée, on inscrit les noms des tâches. On met une croix dans les cases correspondant aux tâches qui ont des antécédents. Par exemple, comme il faut avoir fait A, pour faire B, on met une croix dans la case B-A (ligne – colonne) ; de même pour C-A.
- **Etape 1 :** ensuite, on compte, ligne par ligne le nombre de croix et on inscrit le résultat dans la colonne « n1 ». Nous avons alors établi le premier niveau. Les lignes qui n'ont plus de croix correspondent aux tâches qui n'ont plus d'antécédents. Au niveau « n1 », les tâches A et H n'ont pas de croix. Elles n'ont pas d'antécédents. On les réalisera donc en premier.
- **Etape 2 :** l'étape suivante consiste à barrer les tâches qui n'avaient plus de croix précédemment. En effet, on considère qu'elles sont réalisées. A nouveau, on compte ligne par ligne le nombre de croix. Au niveau « n2 », les tâches B-C-I et J n'ont plus de croix. On réalisera donc ces tâches, car elles n'ont plus d'antécédents.
- **Etape 3 :** on procédera de la même manière, ligne par ligne, colonne par colonne.

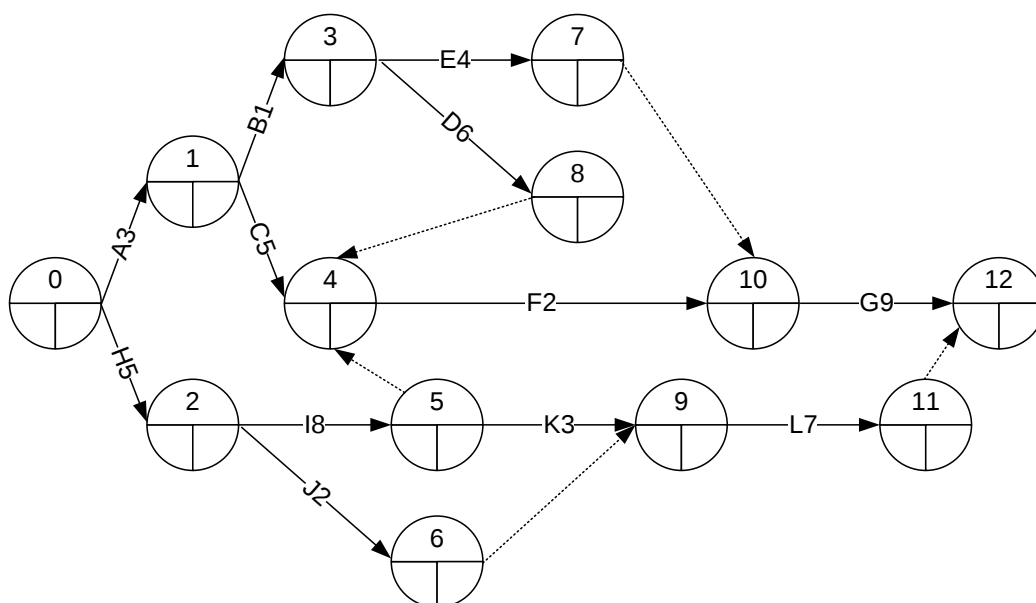
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

- **Etape 4 :** on récapitule pour chaque colonne « ni » les tâches qui ont un zéro. Par exemple, pour la colonne « n1 », les tâches A et H ont un zéro.
- **Etape 5 :** on obtient le tableau final de la page suivante.
- **Etape 6 :** on trace le graphe PERT brut issu du tableau précédent.
- **Etape 7 :** on procède à l'élimination des tâches fictives inutiles.
- **Etape 8 :** on trace le graphe PERT final.
- **Etape 9 :** on détermine les dates au plus tôt et au plus tard.
- **Etape 10 :** on détermine le chemin critique ; c'est-à-dire le chemin qui relie toutes les étapes dont la marge est nulle ou dont toutes les marges sont égales.

Tableau final :

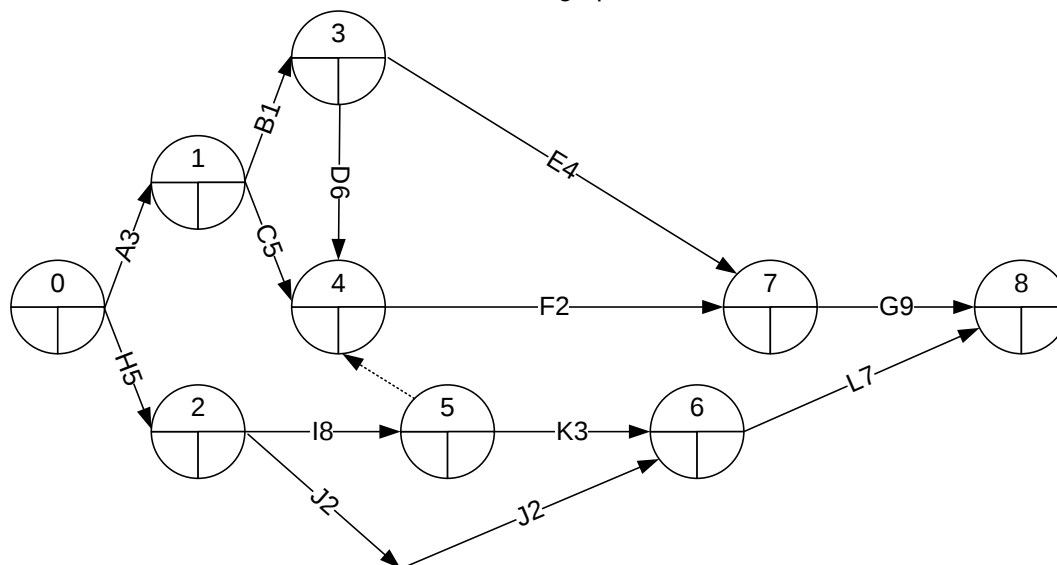
Il faut avoir terminé													n1	n2	n3	n4	n5
Pour faire cette tâche	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	0				
	X												1	0			
	X												1	0			
		X											1	1	0		
		X											1	1	0		
			X	X					X				3	3	1	0	
					X	X							2	2	2	1	0
													0				
								X					1	0			
								X					1	0			
									X				1	1	0		
										X	X		2	2	1	0	

A	B	D	F	G
H	C	E	L	
	I	K		
	J			

Graphe PERT brut :

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Graphe PERT final :**

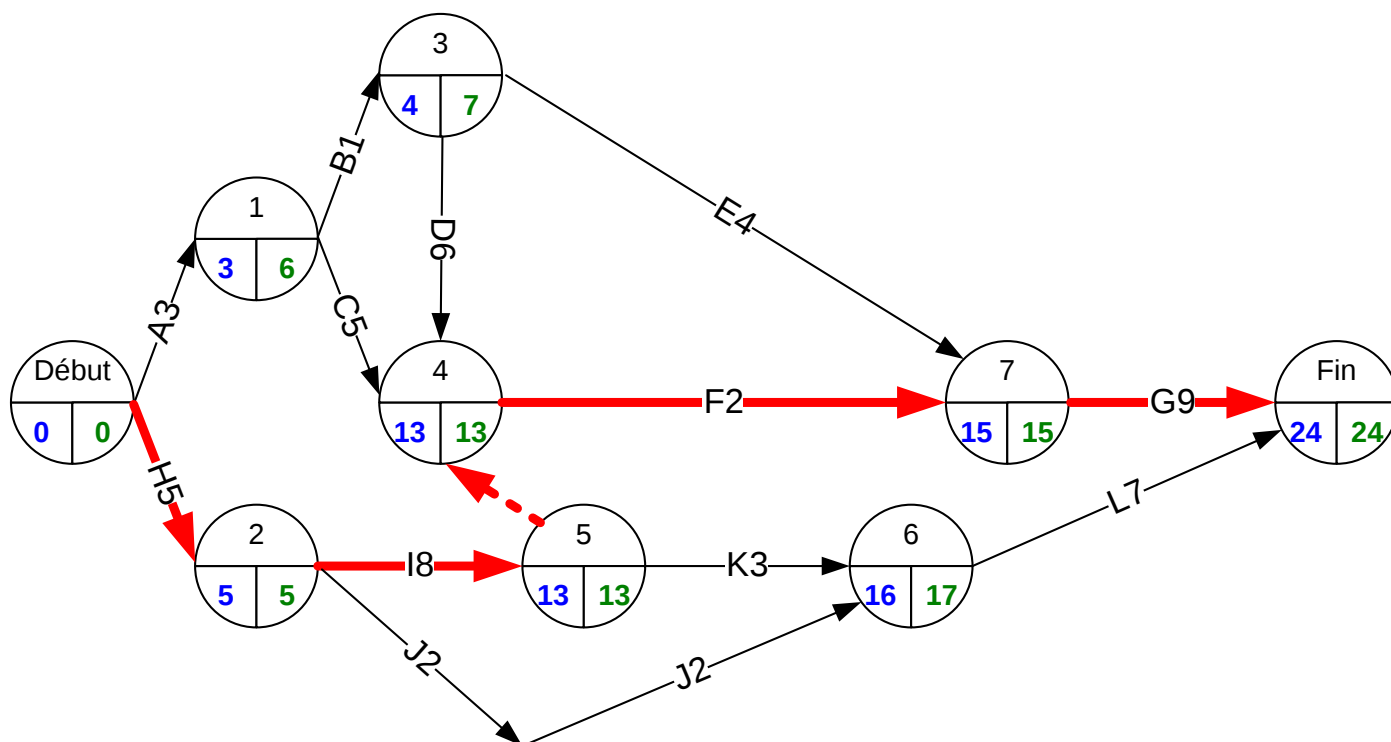
Après simplifications des tâches fictives inutiles, on obtient le graphe définitif suivant :

**Exploitation du graphe :**

La méthode PERT introduit 2 notions attachées à chaque étape :

- **La date au plus tôt:** c'est la date à laquelle on peut commencer à effectuer les tâches débutant par cette étape.
- **La date au plus tard:** c'est la date à laquelle doivent être finies les tâches menant à cette étape, sous peine de retarder potentiellement le projet tout entier (la date au plus tôt de l'étape finale).
- La différence entre la date au plus tard et la date au plus tôt s'appelle: **la MARGE**.

On peut maintenant définir les temps au plus tôt et au plus tard de chaque étape et aussi le chemin critique en reliant les étapes qui n'ont aucune marge.



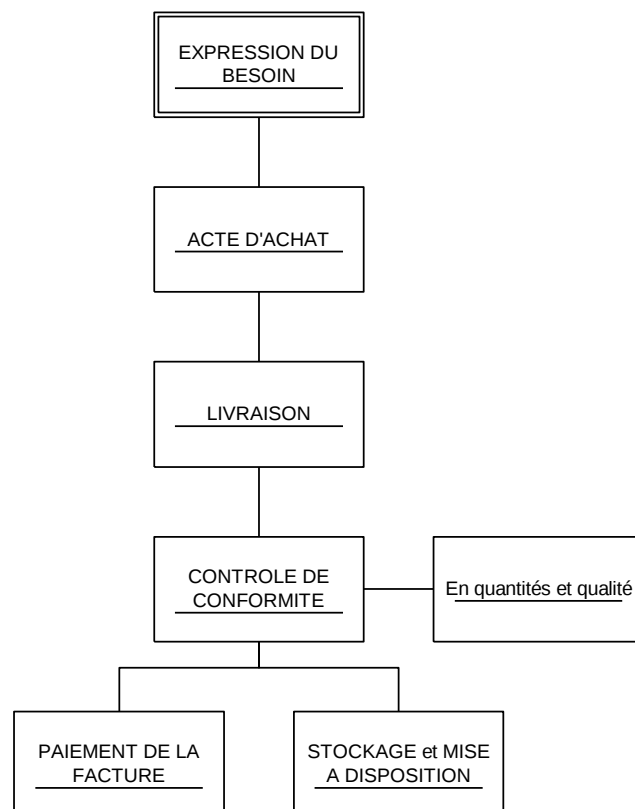
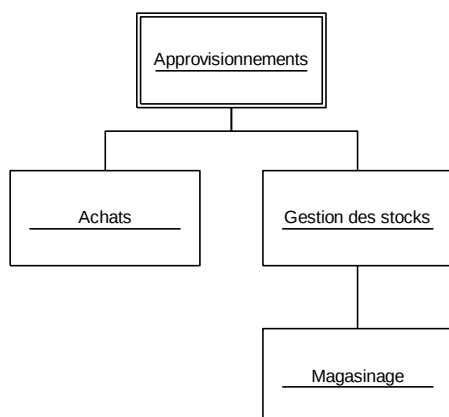
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**I – LA FONCTION APPROVISIONNEMENTS :**

La « fonction approvisionnements » est responsable de la satisfaction des besoins exprimés en matières premières, composants et fournitures nécessaires pour la réalisation des opérations de fabrication et de maintenance de l'entreprise.

Un approvisionnement se déroule généralement suivant le schéma ci-contre.

L'ensemble des activités relatives à un approvisionnement doit être réalisé en **temps opportun** et avec un **coût global minimum**.

La structure générale de la fonction approvisionnements met en évidence 2 sous fonctions : **les achats et la gestion des stocks**.

**II – LE STOCK MAINTENANCE :****21 – Constitution :**

C'est l'ensemble des articles stockés, nécessaires à la réalisation optimale de la fonction maintenance, c'est à dire dans les meilleures conditions de délais, de coûts et de sécurité (NF X 60-000).

Le stock maintenance est constitué, selon la politique de maintenance de l'entreprise :

- 1) Par les **articles appartenant à la nomenclature des biens à maintenir** selon le niveau de maintenance défini par l'entreprise.
- 2) Par les articles tels qu'**outils, outillages ou équipements nécessaires à la réalisation des travaux de maintenance**.

Les articles du stock maintenance peuvent être classés par exemple suivant leur nature :

- Consommables : fusibles, joints, visserie, huiles, etc.
- Pièces de rechanges : capteurs, moteurs, courroies, roulements, vérins, etc.
- Outillages classiques : outillage courant de l'agent de maintenance, équipements de graissage, appareils de mesure, etc.
- Outillages spéciaux : engins de levage, caméra de thermographie infrarouge, analyseur vibratoire, etc.

Il est nécessaire de faire une distinction au niveau des pièces de rechange :

- D'une part celles qui sont **spécifiques** à un matériel et qui ne peuvent être acquises que chez le constructeur du bien.
- D'autre part celles qui sont **banalisées**, qui peuvent se monter sur plusieurs matériels et qui peuvent être acquises chez différents fournisseurs.

Les pièces spécifiques entrant en compte dans la sécurité des personnes et des biens doivent être parfaitement identifiées et faire l'objet d'un suivi rigoureux.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**22 – Eléments du coût de gestion :**

En gestion des stocks, il faut prévoir les quantités à commander, les dates de réapprovisionnement tout en minimisant le coût total de ces opérations. Ce coût comprend :

- **Le coût de passation de commande ou coût d'acquisition** : ce coût varie en fonction du nombre de commandes à passer à un même fournisseur (commandes unique ou groupées). Dans l'entreprise, il occasionne des coûts dans les services suivants : achats, gestion des stocks, réception (contrôle qualité et quantités), magasin, comptabilité. Le coût d'acquisition est égal au coût d'acquisition unitaire multiplié par le nombre de commandes.
- **Le coût des matériels achetés (coût d'achat)** : c'est le produit de la quantité commandée en une année par le coût unitaire d'achat de l'article.
- **Le coût de possession des matériels** : c'est ce que pourrait rapporter à l'entreprise les capitaux dégagés par une diminution du stock moyen. Calculé sur une année, ce coût est égal au produit du taux de possession par la valeur du stock immobilisé. Le taux de possession est fonction de l'intérêt du capital immobilisé et des frais de stockage (locaux, surface de stockage, installations de manutention, impôts, assurances, obsolescence des matériels).

$$\text{Coût total} = \text{coût de passation} + \text{coût d'achat} + \text{coût de possession}$$

23 – Quantité économique de commande : formule de WILSON :

Paramètres utilisés :

K → consommation annuelle prévisionnelle (en nombre)

Q → quantité commandée à chaque réapprovisionnement

N → nombre de commandes annuelles

Pu → prix d'achat unitaire des matériels

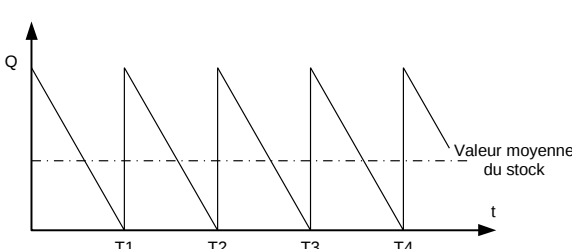
i → taux d'intérêt appliqué à la valeur moyenne du stock ; c'est le taux de possession

Ca → coût d'acquisition unitaire

Cp → coût de possession

Cu → coût d'achat

CT → coût de stockage d'un matériel

Coût d'acquisition annuel	$Ca.N = Ca. \frac{K}{Q}$
Coût d'achat	$K.Pu$
Coût de possession	Par commande, on réapprovisionne Q matériels avec $Q = \frac{K}{N}$ On peut en 1^{ère} approche représenter l'évolution du stock de la manière suivante :  La valeur moyenne est égale à $\frac{Q}{2}$ Le coût de possession est donc égal à $\frac{Q}{2}.Pu.i$

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Le coût total par an a donc comme expression :

$$CT = K.Pu + \frac{K}{Q}.Ca + \frac{Q}{2}.Pu.i$$

L'objectif est de déterminer s'il existe un optimal entre passer un grand nombre de commandes de faibles quantités et passer un faible nombre de commandes de fortes quantités.

Cette quantité économique Q_e doit être telle que CT soit minimale.

$$\frac{dCT}{dQ} = 0$$

$$\frac{dCT}{dQ} = 0 - K.Ca.\frac{1}{Q^2} + \frac{1}{2}Pu.i$$

$$\Rightarrow \frac{K.Ca}{Q^2} = \frac{1}{2}Pu.i$$

$$\Rightarrow Q^2 = \frac{2K.Ca}{Pu.i}$$

On obtient donc la **formule de WILSON** :

$$Q_e = \sqrt{\frac{2K.Ca}{Pu.i}}$$

La quantité économique de commande Q_e correspond en moyenne à N commandes par an. La durée optimale T_0 entre commandes s'en déduit :

En année	En mois
$T_0 = \frac{1}{N} = \frac{Q_e}{K}$	$T_0 = \frac{12.Q_e}{K}$

Exemple 1	Exemple 2
$K = 55$ $Ca = 100\text{€}$ $Pu = 20\text{€}$ $i = 15\%$ → Déterminer Q_e et T_0 $Q_e = \sqrt{\frac{2 \times 55 \times 100}{20 \times 0,15}} = 60,55 = 60 \text{ objets}$ $T_0 = \frac{60}{55} = 1,09 \text{ ans} = 12 + 0,09 \times 12 = 13 \text{ mois}$	$K = 550$ $Ca = 100\text{€}$ $Pu = 20\text{€}$ $i = 15\%$ → Déterminer Q_e et T_0 $Q_e = \sqrt{\frac{2 \times 550 \times 100}{20 \times 0,15}} = 191,48 = 191 \text{ objets}$ $T_0 = \frac{191}{550} = 0,347 \text{ an} = 0,347 \times 12 = 4 \text{ mois}$

III – TYPES DE GESTION DES STOCKS :**31 – Modèles utilisés :**

Mode de gestion	Quantités commandées	Temps entre commandes
Point de commande	Fixes	Variable
Plan d'approvisionnement	Variables	Fixe
Programme d'approvisionnement	Fixes	Fixe
Cas des pièces de sécurité	Variables	Variable

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**32 – Méthode du point de commande :**

C'est une méthode qui consiste à commander la quantité économique Q_e lorsque le **stock diminuant atteint le stock d'alerte**.

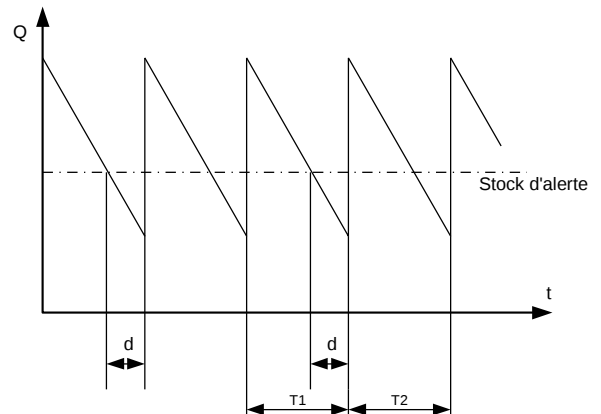
Le stock d'alerte est déterminé par la relation suivante :

$$Sa = Cd + Ss$$

$Sa \rightarrow$ stock d'alerte

$Cd \rightarrow$ consommation moyenne pendant le délai d

$Ss \rightarrow$ stock de sécurité pendant le délai d

**321 – Sortie gaussienne des matériels :**

La sortie des matériels suit une loi normale $\rightarrow$ grandes quantités.

$$Sa = \bar{C}.d + k.\sigma.\sqrt{d}$$

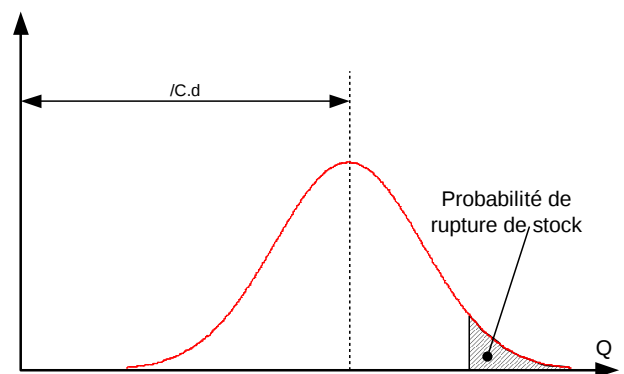
$\bar{C} \rightarrow$ consommation moyenne mensuelle

$d \rightarrow$ délai d'approvisionnement

$\sigma \rightarrow$ écart-type de la distribution des quantités sorties mensuellement

$k \rightarrow$ nombre d'écarts types correspondant au niveau de couverture souhaité (risque acceptable de rupture du stock)

La quantité maxi à détenir en stock $Q_{max} = Q_e + Ss$

**322 – Sortie des matériels suivant une loi de Poisson :**

La sortie des matériels suit une loi de poisson.

Si m est la moyenne des sorties durant l'unité de temps, la moyenne M durant la **période à risque (d)** est :

$$M = m.\text{période de risque}$$

$$M = m.d$$

La loi de Poisson est : $P(x \leq k) = \sum_{x=0}^{x=k} \frac{e^{-M} . M^x}{x!}$ (avec $M = \lambda$ dans la loi mathématique)

Suivant le niveau de couverture désiré (risque de ne pas manquer de rechanges), on détermine **k qui correspond au stock d'alerte**.

323 – Remarques :

Dans ces 2 cas, on lance la commande lorsque l'on atteint le stock d'alerte « Sa » ou aussi appelé « **point de commande PC** ».

Si le délai est soumis à d'importantes variations, il faut en tenir compte pour le calcul du stock de sécurité « Ss » en y ajoutant alors **un stock de sécurité pour le délai « Ssd »** tel que : $Ssd = k.\sigma.d.\bar{C}$. « k » correspond au niveau de couverture souhaité et « $\sigma.d$ » l'écart type du délai.

Cette méthode concerne 80% de la gestion des pièces de rechange.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**324 – Exemple 1 : la sortie des matériels suit une loi normale :**

Les coûts liés à une commande ont pour valeur totale 700€. Le taux de possession des stocks est de 30%.

La consommation d'un matériel liée à des opérations de maintenance est donnée ci-contre.

Le coût d'un matériel est de 50€.

Le délai de réapprovisionnement est d'un mois.

On accepte un risque de rupture de 5%

☒ Déterminer les paramètres de gestion par la méthode du point de commande.

Quantité économique :

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 \times 285 \times 700}{50 \times 0,30}} = 163$$

Consommation mensuelle moyenne : $285/11 = 26$

Ecart type de la distribution :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2} = 10,2$$

Estimation de k : utilisation de la table de la loi normale centrée réduite.

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5039	0,5078	0,5117	0,5155	0,5194	0,5232	0,5270	0,5311	0,5358
0,1	0,5398	0,5438	0,5477	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6665	0,6702	0,6738	0,6774	0,6811	0,6847	0,6883
0,5	0,6919	0,6954	0,6989	0,7025	0,7061	0,7096	0,7132	0,7167	0,7202	0,7237
0,6	0,7272	0,7307	0,7342	0,7377	0,7412	0,7446	0,7481	0,7516	0,7550	0,7584
0,7	0,7619	0,7653	0,7687	0,7721	0,7755	0,7789	0,7823	0,7857	0,7891	0,7925
0,8	0,7959	0,7992	0,8026	0,8059	0,8092	0,8125	0,8158	0,8191	0,8224	0,8257
0,9	0,8289	0,8321	0,8354	0,8386	0,8418	0,8450	0,8481	0,8513	0,8544	0,8576
1,0	0,8607	0,8638	0,8669	0,8699	0,8729	0,8759	0,8788	0,8818	0,8847	0,8876
1,1	0,8906	0,8935	0,8964	0,8993	0,9022	0,9051	0,9079	0,9108	0,9136	0,9164
1,2	0,9192	0,9220	0,9248	0,9276	0,9304	0,9332	0,9359	0,9387	0,9414	0,9441
1,3	0,9468	0,9494	0,9520	0,9547	0,9573	0,9599	0,9625	0,9651	0,9677	0,9702
1,4	0,9728	0,9753	0,9778	0,9803	0,9828	0,9853	0,9878	0,9902	0,9926	0,9950
1,5	0,9974	0,9998	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

k estimé par la table = 1,65

1 – risque
envisagé

Détermination du stock d'alerte : $S_a = 26 \times 1 + 1,6 \times 10,2 \cdot \sqrt{1} = 43$

325 – Exemple 2 : la sortie des matériels suit une loi de Poisson :

La consommation d'un matériel liée à des opérations de maintenance est donnée ci-contre.

On accepte un risque de rupture de 5%. Le délai de livraison est d'un mois.

☒ Déterminer les paramètres de gestion par la méthode du point de commande.

Consommation mensuelle moyenne : $m = 6/11 = 0,55$

Estimation de k : utilisation de la table de la loi de Poisson.

K	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$
0	0,9048	0,8187	0,7420	0,6703	0,6026	0,5388	0,4796	0,4249	0,3746
1	0,9952	0,9823	0,9631	0,9388	0,9098	0,8781	0,8442	0,8088	0,7727
2	0,9998	0,9988	0,9964	0,9920	0,9856	0,9776	0,9679	0,9566	0,9438
3	1	0,9999	0,9997	0,9992	0,9978	0,9956	0,9926	0,9889	0,9846
4		1	1	0,9999	0,9998	0,9995	0,9989	0,9980	0,9969
5				1	1	1	0,9999	0,9999	0,9997
6							1	1	1

Moyenne mensuelle

1 – risque
envisagé

Détermination du stock d'alerte : K estimé par la table → compris entre 1 et 2 → K=2

Mois	Quantité
Janvier	20
Février	30
Mars	25
Avril	15
Mai	30
Juin	10
Juillet	35
Septembre	40
Octobre	25
Novembre	40
Décembre	15

Mois	Quantité
Janvier	1
Février	1
Mars	0
Avril	1
Mai	0
Juin	1
Juillet	1
Septembre	0
Octobre	1
Novembre	0
Décembre	0

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**33 – Méthode du plan d'approvisionnement :**

Elle consiste à passer commande d'une **quantité variable à dates fixes**. Le nombre annuel moyen de commandes s'obtient à partir du modèle de Wilson en déterminant la quantité économique Q_e .

$$N = \frac{K}{Q_e} = \sqrt{\frac{K^2 \cdot Pu \cdot i}{2K \cdot Ca}} \Rightarrow N = \sqrt{\frac{K \cdot Pu \cdot i}{2Ca}}$$

On en déduit la périodicité :

$$T_0 = \frac{1 \text{ an}}{\text{Nb de commandes par an}} = \frac{12}{N} = 12 \sqrt{\frac{2Ca}{K \cdot Pu \cdot i}}$$

La quantité à commander « Q_c » doit faire face à la consommation pendant le délai « d » ainsi qu'au temps séparant 2 commandes « T_0 » :

$$Q_c = \bar{C} \cdot T_0 + S_s - M$$

Avec $\bar{C} = \frac{K}{12}$ la consommation annuelle moyenne et « M » la quantité restante en magasin (afin de ne pas augmenter inutilement les stocks).

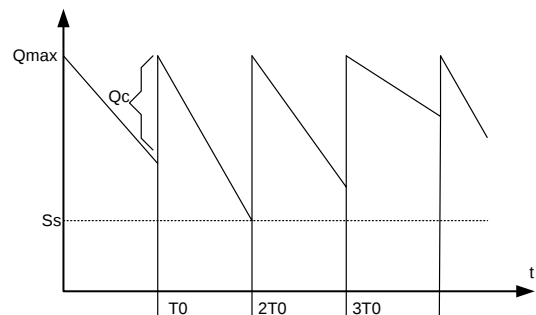
Le stock de sécurité se calcule de la même façon que le « point de commande », mais il faut tenir compte également de la périodicité « T_0 » :

$$S_s = k \cdot \sigma \cdot \sqrt{d + T_0}$$

$$Q_{\max} = \bar{C} \cdot T_0 + k \cdot \sigma \cdot \sqrt{d + T_0}$$

k est la variable de la loi normale centrée réduite correspondant au risque de rupture des stocks :

- $k = 1,645$ pour une probabilité de rupture des stocks de 5%
- $k = 2$ pour une probabilité de rupture des stocks de 2,5%
- $k = 3$ pour une probabilité de rupture des stocks de 0,15%



C'est une méthode qui facilite les achats et l'ordonnancement des commandes du fait de sa périodicité constante. Par contre, on risque une rupture du stock en cas de forte augmentation de la demande.

Cette méthode concerne 10% de la gestion des pièces de rechange, en particulier pour les articles très banalisés.

34 – Méthode du programme d'approvisionnement :

Elle consiste à passer commande d'une **quantité fixe à périodes fixes**. Cette gestion concerne surtout les articles tels que les fournitures de bureau.

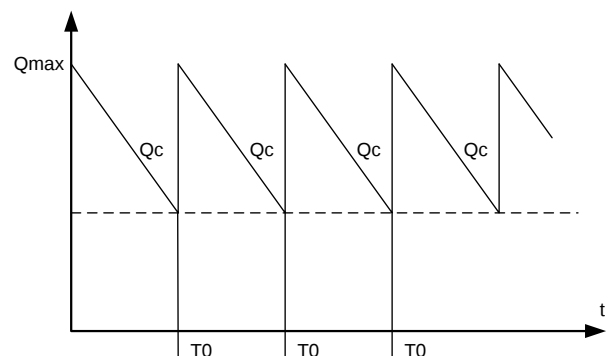
Le risque de rupture de stock est d'autant plus grand que la période couverte est longue.

La périodicité est :

$$T_0 = \frac{12}{N} = 12 \sqrt{\frac{2Ca}{K \cdot Pu \cdot i}}$$

La quantité à approvisionner est :

$$Q_c = \bar{C} \cdot T_0$$



Il est possible de prévoir un stock de sécurité « S_s » ; cela dépend du type et du coût des articles.

35 – Cas des pièces de sécurité :

Il s'agit de pièces vitales pour l'entreprise ; ce qui interdit le risque de ne pas en disposer en cas de besoin. Il faut donc toujours avoir au moins un article en stock et en commander un autre dès qu'il est utilisé.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**36 – Rupture de stock – Taux de pénurie :**

Le calcul par la formule de Wilson permet de déterminer les quantités économiques à commander et leurs fréquences de réapprovisionnement ; évitant ainsi les ruptures de stock.

Cependant, il convient de prendre en compte les coûts consécutifs à une rupture de stock (arrêt de production, perte de clients, pénalités de retard).

Notons « W » le coût de pénurie par pièces manquantes et par an. Ce coût intègre les pertes de production et le coût des solutions compensatoires mises en œuvre.

L'expression du coût total devient donc :

Coût total réel = coût de passation + coût d'achat + coût de possession + coût de pénurie

$$CTr = K.Pu + \frac{K}{Q}.Ca + a^2 \cdot \frac{Q}{2}.Pu.i + \frac{(1-a)^2}{2}.Q.W$$

Il faut alors déterminer « Q » et « a » tels que le CTr soit minimal : $\frac{dCTr}{da} = 0$ et $\frac{dCTr}{dQ} = 0$

Dérivation par rapport à « a » :

$$a = \frac{W}{Pu.i + W}$$

Dérivation par rapport à « Q » :

On obtient donc la quantité économique :

$$Q_e = \sqrt{\frac{2K.Ca.(W + Pu.i)}{W.Pu.i}}$$

Le taux de pénurie est :

$$(1-a) = \frac{Pu.i}{Pu.i + W}$$

37 – Coût de défaillance / coût des stocks :

Hypothèses à connaître :

- Coût de la défaillance
- Coût de possession des pièces de rechange
- Loi de rupture en service des pièces

En fonction de la probabilité de rupture des pièces et du coût de défaillance engendré, il faut déterminer le stock optimum à détenir. Ceci peut se faire avec des lois probabilistes, mais aussi de manière plus pragmatique à l'aide de l'abaque donné en annexe.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Exemple :

On connaît pour une pièce :

- Le délai d'approvisionnement : 6 semaines
- Nb de défaillances : 3 en 12 mois
- Coût de la pièce : 4573€
- Coût de la défaillance : 1744€
- Taux de possession : $i = 20\%$

✎ **Déterminer le stock optimum à détenir**

Nb de casses pendant le délai d'approvisionnement :

$$\lambda = \frac{\text{nb de casses} \times \text{délai d'approvisionnement}}{\text{Période d'observation}} = \frac{3 \times 1,5}{12} = 0,375$$

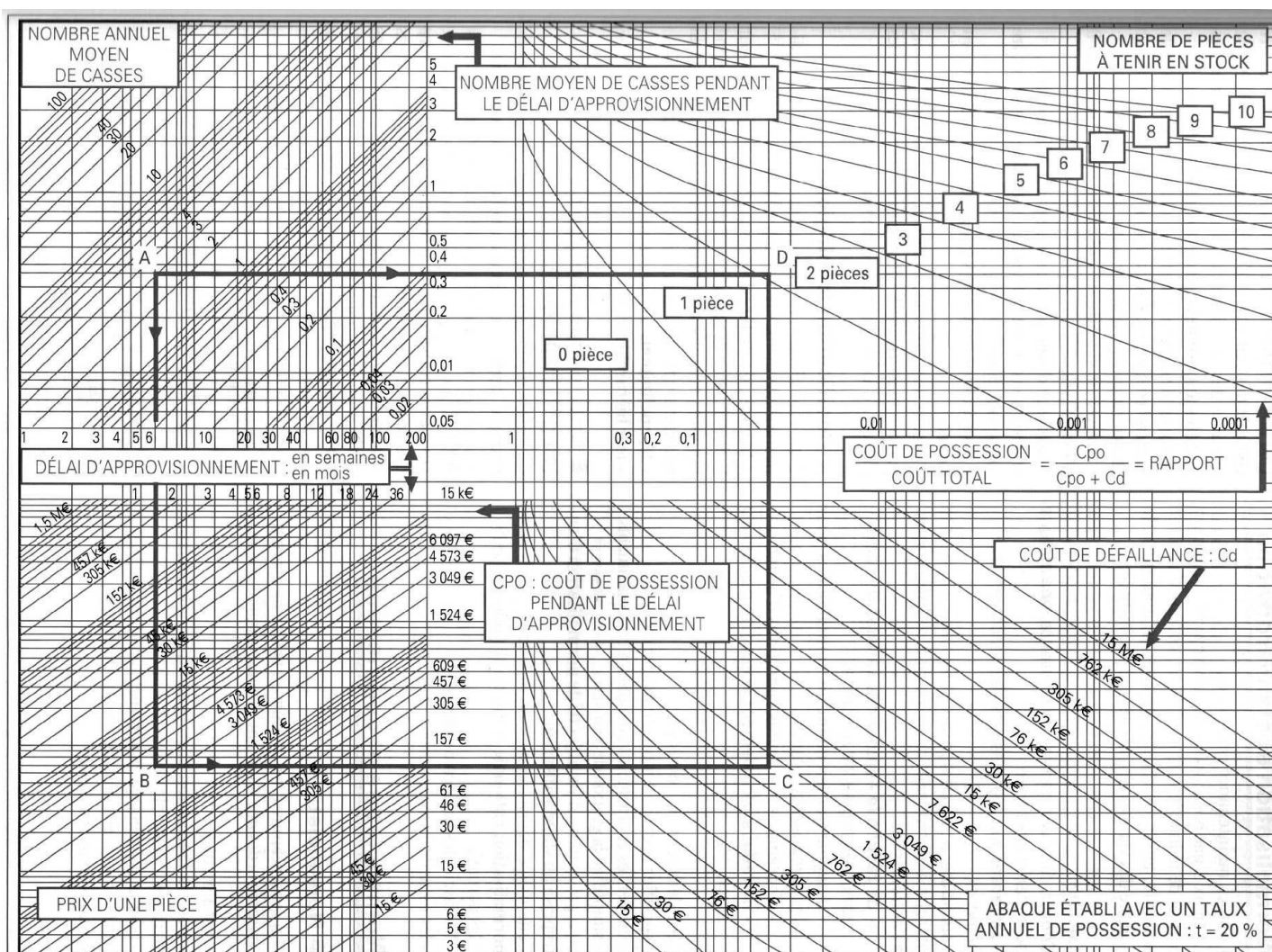
Nombre annuel moyen de casses :

$$\text{NAMC} = \frac{\text{Nb de casses} \times 12 \text{ mois}}{\text{Période d'observation}} = \frac{3 \times 12}{12} = 3$$

Coût de défaillance = coût de perte de production

$$\text{Coût de défaillance} = 3 \times 1744 = 5232 \text{ €}$$

Nb de pièces à détenir en stocks : 2.



IV – ORGANISATION DU MAGASINAGE :**41 – Conditions de magasinage :**

Le magasinage concerne les moyens à mettre en œuvre pour pouvoir physiquement entreposer les différents articles du stock maintenance.

Ce magasinage doit :

- Permettre de repérer facilement les articles entreposés
- Offrir une capacité suffisante à chaque article compte tenu de sa nature et de la quantité maximale à entreposer
- Etre conçu pour faciliter les opérations de stockage / déstockage des articles
- Eviter la dégradation des articles par des phénomènes de corrosion, de caractéristiques d'ambiance, de température, hygrométrie non compatibles avec leur bonne conservation

42 – Standardisation :

Le stock maintenance coûte cher. Le choix de la méthode de réapprovisionnement permet de réduire le coût total de sa gestion. Mais il est possible de réduire ce coût en optimisant les articles qui le constituent. Cette harmonisation doit permettre à l'entreprise :

- De réduire le nombre des variétés de ses composants
- D'augmenter les quantités commandées
- D'obtenir des fournisseurs des meilleures conditions d'achat
- De réduire globalement le coût de gestion des stocks

43 – Nomenclature et codification des articles :

La nomenclature d'un produit est la liste de ses composants, ordonnées selon une décomposition logique. Pour un produit, la nomenclature regroupe l'ensemble de ses constituants. Pour la maintenance, la nomenclature d'un matériel ne regroupe que les constituants qui supportent les interventions de maintenance.

Une nomenclature s'établit toujours après l'inventaire complet des constituants concernés. La classification ainsi réalisée doit permettre de :

- Trouver en magasin un constituant qui existe, ou d'être sûr qu'il n'existe pas
- Disposer d'une place unique en magasin prête à recevoir les articles
- Trouver tous les constituants susceptibles de satisfaire un besoin donné
- Trouver tous les besoins que satisfait un composant

La classification des articles doit obligatoirement faire l'objet d'une codification. Peu importe le type de codification retenu, il faut cependant respecter un principe fondamental : **il doit y avoir unicité de la codification** ; un même code ne doit pas correspondre à plus d'un article (ex : code INSEE propre à chaque personne).

Les critères de codification sont variés :

- Critère géographique :
 - Par rapport au lieu d'emploi du composant dans le matériel
 - Par rapport au niveau de montage du composant dans le matériel
 - Par rapport au lieu de stockage du composant en magasin
- Critère de gestion des stocks : la gestion globale des stocks de l'entreprise impose un code unique
- Critère budgétaire : une partie du code rappelle le numéro de compte des sections comptables de la maintenance ou le numéro de l'entreprise prestataire de service

44 – Documents de gestion des stocks :

La norme NF X 60-000 définit le catalogue des articles du stock maintenance qui permet aux utilisateurs de contrôler l'ensemble des articles stockés et leur disponibilité. La norme définit aussi le fichier du stock maintenance qui doit comporter les données :

- D'identification des articles
- Relatives à la gestion du stock
- Relatives aux mouvements du stock
- Relatives à l'approvisionnement
- Relatives à l'exploitation de statistiques

De plus en plus, dans le cadre de la GMAO, le suivi des stocks et de la documentation s'y référant est informatisé.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**I – LA SOUS-TRAITANCE EN MAINTENANCE :****11 – Introduction :**

La tendance actuelle d'organisation de la maintenance est d'avoir moins de personnel, mais avec un niveau de compétences plus élevé.

Cependant, cette organisation présente les contraintes suivantes :

- ⇒ Ponctuellement, la charge du personnel de maintenance peut être supérieure à la capacité réelle du service.
- ⇒ Malgré le niveau de compétence élevé des agents, ceux-ci ne peuvent être « experts » dans tous les domaines techniques.

Il peut donc être décidé une sous-traitance (appelée encore cotraitance) de certaines tâches. Il faut alors se poser les questions suivantes :

- ⇒ Pourquoi sous-traiter ? → Quels sont les objectifs que l'on veut atteindre par l'appel à la sous-traitance ?
- ⇒ Que faut-il sous-traiter ? → Quelles sont les tâches et les matériels que l'on va confier à des entreprises extérieures ?
- ⇒ Combien sous-traiter ? → Quel pourcentage du budget maintenance accorder à la sous-traitance ?
- ⇒ Comment sous-traiter ? → Quelle forme de contrat va-t-on passer avec l'entreprise extérieure ?
- ⇒ Qui doit sous-traiter ? → A quelle entreprise extérieure va-t-on faire appel ?

12 – Pourquoi sous-traiter ?

C'est une question de politique de maintenance au niveau de la direction de l'entreprise. En effet, la maintenance extérieure répond aux trois motivations sociales, économiques et stratégiques.

- ⇒ **Motivations sociales** : principalement des spécialités de main d'œuvre que l'on ne souhaite pas avoir dans l'entreprise pour des raisons diverses (difficultés de recrutement, plans de carrière difficiles à mettre en place, etc.).
- ⇒ **Motivations économiques** : surcharges ponctuelles (comme lors d'arrêts annuels), travaux dans lesquels les entreprises extérieures sont mieux équipées (thermographie IR, maintenance de ponts roulants, etc.), travaux très spécialisés dont les moyens humains et matériels à mettre en œuvre sont difficilement amortissables (rebobinages de moteurs, soudures spéciales, etc.).
- ⇒ **Motivations stratégiques** : peser le pour et le contre de la maintenance sous-traitée. Etudier la rentabilité de ce type de maintenance. Une apparente rentabilité à court terme en interne peut s'avérer désastreuse à long terme ; principalement à cause de changements de la conjoncture économique.

13 – Que faut-il sous-traiter ?

Après une étude de faisabilité et son impact économique, il est souvent fréquent de sous-traiter :

- ⇒ Les travaux de modifications importantes d'équipements (rénovations, maintenance améliorative importante)
- ⇒ Les travaux de révisions générales
- ⇒ D'une manière générale, tous travaux des niveaux 4 et 5 de maintenance
- ⇒ Les remises en état par échanges standards dans des domaines techniquement pointus ou dans des domaines où l'entreprise n'est pas forcément compétente
- ⇒ La maintenance des équipements périphériques (ascenseurs, réseaux téléphoniques ou informatiques, climatisation, etc.)
- ⇒ « L'entretien général » (génie civil, bâtiments, plomberie, etc.)

Il faut éviter de sous-traiter la maintenance corrective, préventive systématique et améliorative de l'outil de production.

14 – Combien sous-traiter ?

Sous-traiter la totalité des tâches de maintenance n'est jamais la solution la plus économique ; de même que de vouloir « tout faire » en interne. La réduction des marges sur les services dit improductifs amène les entreprises à des politiques de sous-traitance différentes selon les secteurs d'activité : en pétrochimie, 50 à 75% de la maintenance est sous-traitée ; dans l'industrie classique, la maintenance sous-traitée représente 15 à 35% du budget maintenance.

D'une manière générale, il faut toujours étudier la rentabilité au cas par cas.

On pourra étudier l'impact de la sous-traitance sur le budget maintenance en mettant en place l'indicateur suivant :

$$R8 = \frac{\text{Coûts des travaux de sous-traitance}}{\text{Coûts de maintenance}}$$

15 – Comment sous-traiter ?

Le « donneur d'ordre » va négocier plusieurs types de contrats avec le sous-traitant.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**16 – Qui doit sous-traiter ?**

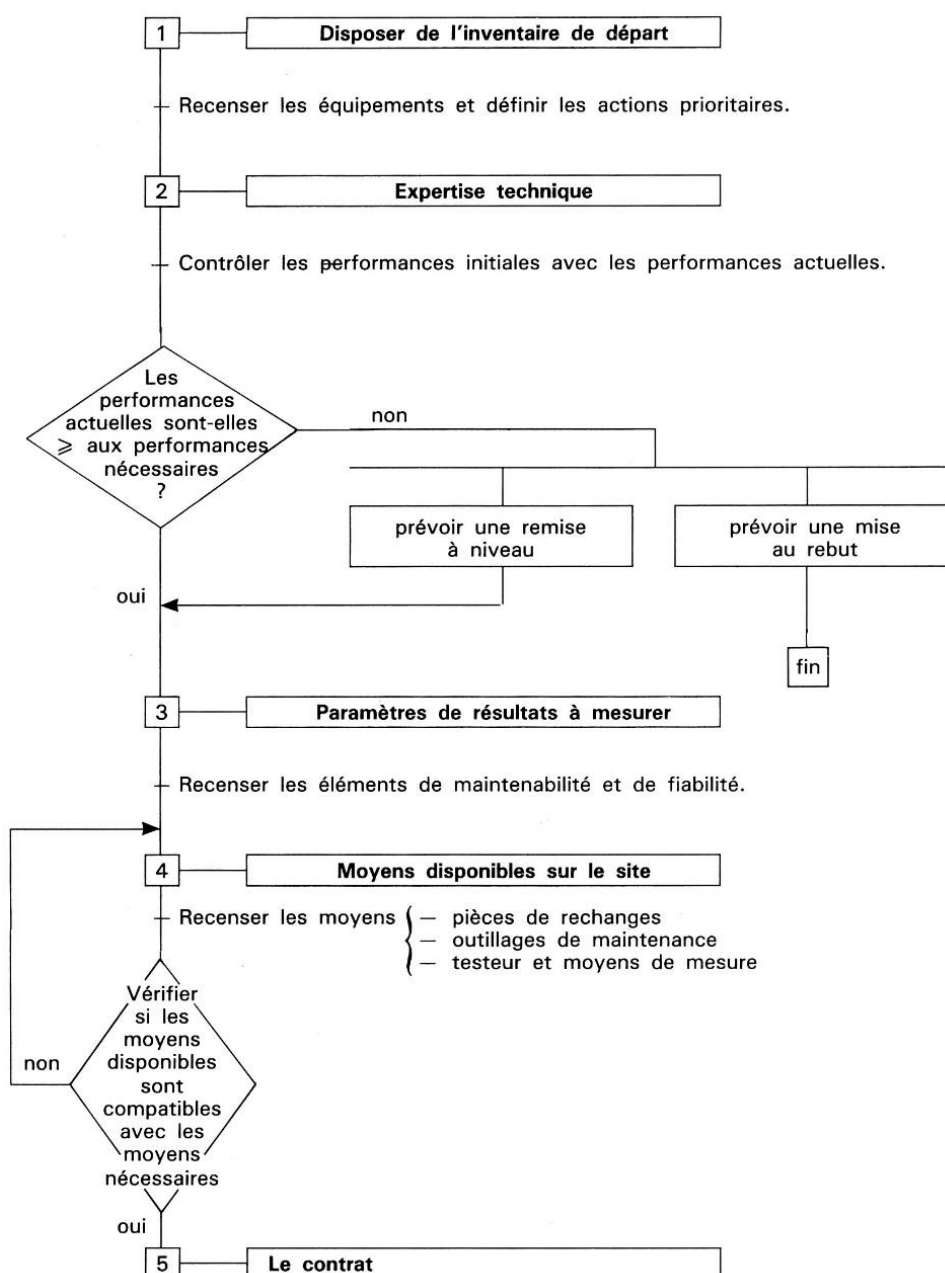
Le choix de l'entreprise extérieure se fait par des appels d'offres. S'en suit alors des négociations techniques et surtout financières entre le donneur d'ordre et le sous-traitant.

II – LE CONTRAT DE MAINTENANCE :**21 – Organisation à mettre en œuvre :**

Le recours à des entreprises extérieures fait l'objet d'un contrat de maintenance passé entre l'entreprise (utilisatrice des moyens), et l'entreprise de maintenance (prestataire de services).

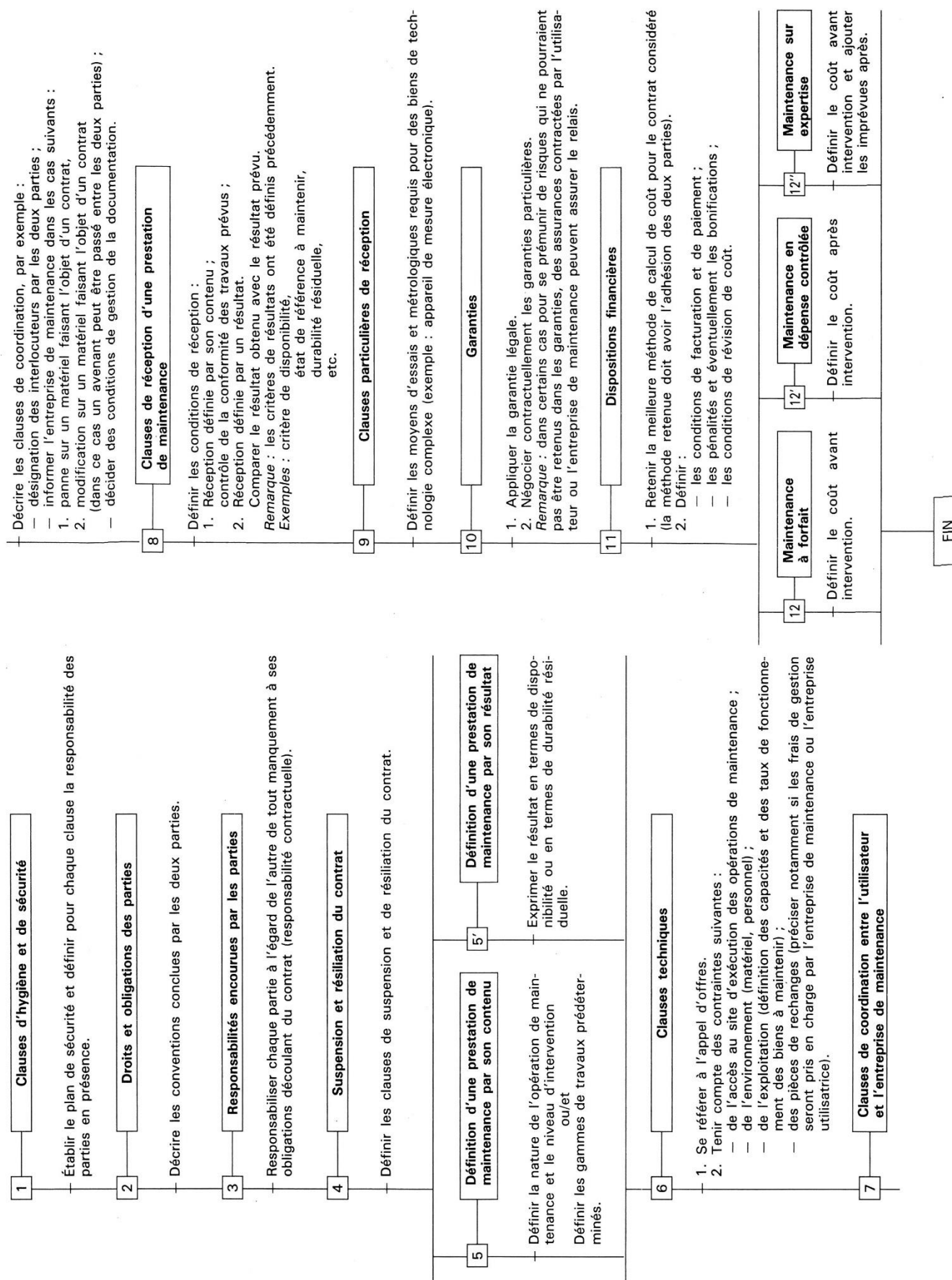
Un contrat de maintenance doit obligatoirement comporter 3 parties :

- ⇒ **Les clauses techniques** : une prestation de maintenance peut être définie par son contenu (nature des opérations, prévisions du volume d'heures, qualifications professionnelles requises, etc.) ou par son résultat (en termes de cadences à obtenir, de disponibilité à assurer, de taux de panne à garantir, etc.).
- ⇒ **Les clauses juridiques** : hygiène et sécurité, législation sociale, protection des travailleurs
- ⇒ **Les clauses financières** : elles dépendent du type de contrat choisi

22 – Etude préalable à l'élaboration d'un contrat de maintenance :

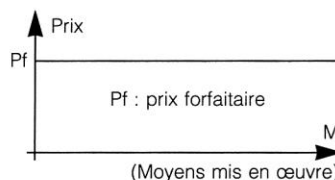
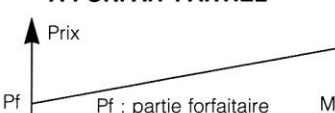
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

23 – Les différentes phases d'élaboration du contrat :



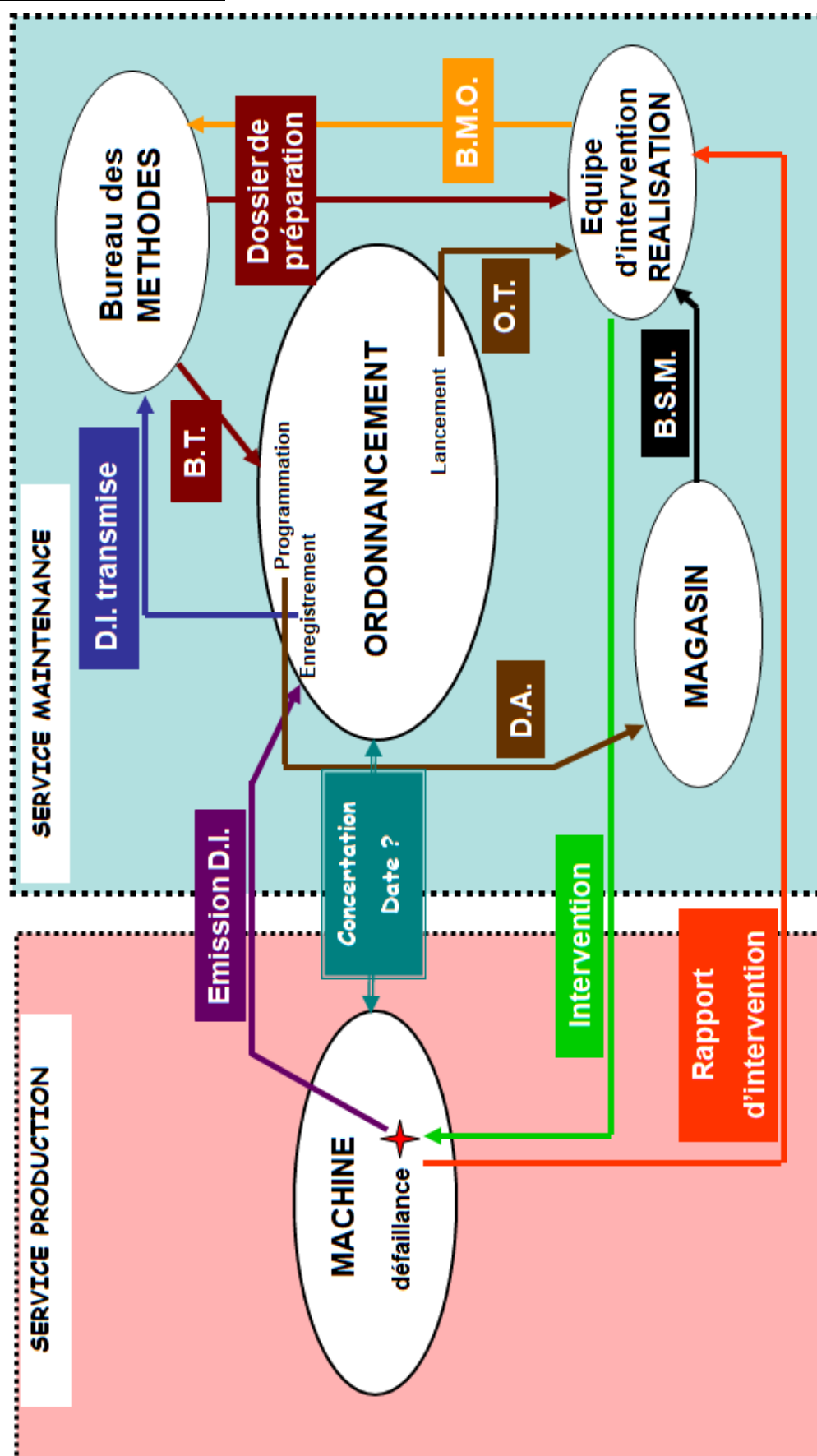
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

24 – Les différents contrats :

FORMES DE CONTRATS	ÉLÉMENTS DE DÉCISION					
	AVANTAGES		INCONVÉNIENTS		RÉPARTITION DU RISQUE FINANCIER	CAS D'APPLI- CATION
	POUR L'UTILI- SATEUR	POUR L'EN- TREPRISE DE MAINTENANCE	POUR L'UTILI- SATEUR	POUR L'EN- TREPRISE DE MAINTENANCE		
MAINTENANCE À FORFAIT  Le prix est indépendant des moyens mis en œuvre.	● Coût total connu à l'avance ● Contrôle facile ● Évite l'indétermination du prix	● Évite l'indétermination du prix	● Marge de sécurité dans le prix ● Coût du risque ● Problème des suppléments	● Difficulté à délimiter la prestation ● Évaluations difficiles ● Coopération difficile	● Entreprise de maintenance	● Urgences ● Travail mal délimité ● Travail nécessitant une coordination de l'utilisateur pour raison de sécurité
MAINTENANCE, EN DÉPENSES CONTRÔLÉES  Le prix est proportionnel aux moyens mis en œuvre.	● Déclenchement rapide	● Pas de risque d'évaluation	● Coût total inconnu à l'avance ● Contrôle nécessaire	● Pousse à réduire le niveau technique (même inconvénient pour l'utilisateur)	● Utilisateur	● Travail bien défini ● Travaux répétitifs ● Aléas réduits
MAINTENANCE EN DÉPENSES CONTRÔLÉES PLAFONNÉES  Combinaison de la maintenance à forfait et de la maintenance en dépenses contrôlées.	● Déclenchement rapide ● Coût maximal connu à l'avance	● Risque d'évaluation très limité	● Nécessite un contrôle	● Réduction du niveau technique (même inconvénient pour l'utilisateur)	● Utilisateur jusqu'au plafond ● Entreprise de maintenance au-delà	● Urgences ● Travail bien défini mais comportant des aléas
MAINTENANCE À FORFAIT PARTIEL  Les deux parties forfaitaire et proportionnelle sont des fractions des montants forfaitaires et dépenses contrôlées pour la même prestation.	● Intérêt des deux parties à l'efficacité ● Gain de temps (diminution du coût total) ● Connaissance du coût probable à l'avance	● Contrat précis ● Risque limité ● Coopération facilitée	● Pas de démarrage rapide ● Contrôle impératif des moyens ● Coût maximal indéterminé	● Compte rendu précis des moyens utilisés	● Partagé	● Travail bien défini ● Collaboration étroite souhaitable
EN FORFAIT PARTIEL PLAFONNÉ  Maintenance à forfait partiel avec un plafond à ne pas dépasser.	● Intérêt des deux parties à l'efficacité ● Coût maximal connu à l'avance	● Contrat précis ● Risque limité ● Coopération facilitée	● Pas de démarrage rapide ● Contrôle impératif des moyens	● Une étude plus approfondie pour dépassement	● Partagé jusqu'au plafond ● Entreprise de maintenance au-delà	● Travail bien défini ● Collaboration étroite souhaitable ● Nécessité d'un budget
MAINTENANCE SUR EXPERTISE Une expertise précède l'établissement du devis. Certains travaux se chiffrent facilement, d'autres non, d'où des dispositions financières diverses.	● Commande de prestations bien déterminées ● Engagement de responsabilité de l'entreprise de maintenance	● Risque limité ● Contrat précis	● La décomposition en plusieurs phases allonge le délai		● Limitation du risque	● Travail comportant des aléas indétectables avant démontage

I – MAINTENANCE CORRECTIVE :**LA COMMUNICATION DANS LE SERVICE MAINTENANCE :**

Description du système de communication relatif à une intervention corrective, entre le moment de l'apparition d'une défaillance et la remise à niveau de l'équipement défaillant.



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Arrivé sur le site, le technicien entreprend une démarche de maintenance corrective qui peut se schématiser en 4 fonctions, soit :

- Localiser ;
- Diagnostiquer ;
- Corriger ;
- Essayer ou tester.

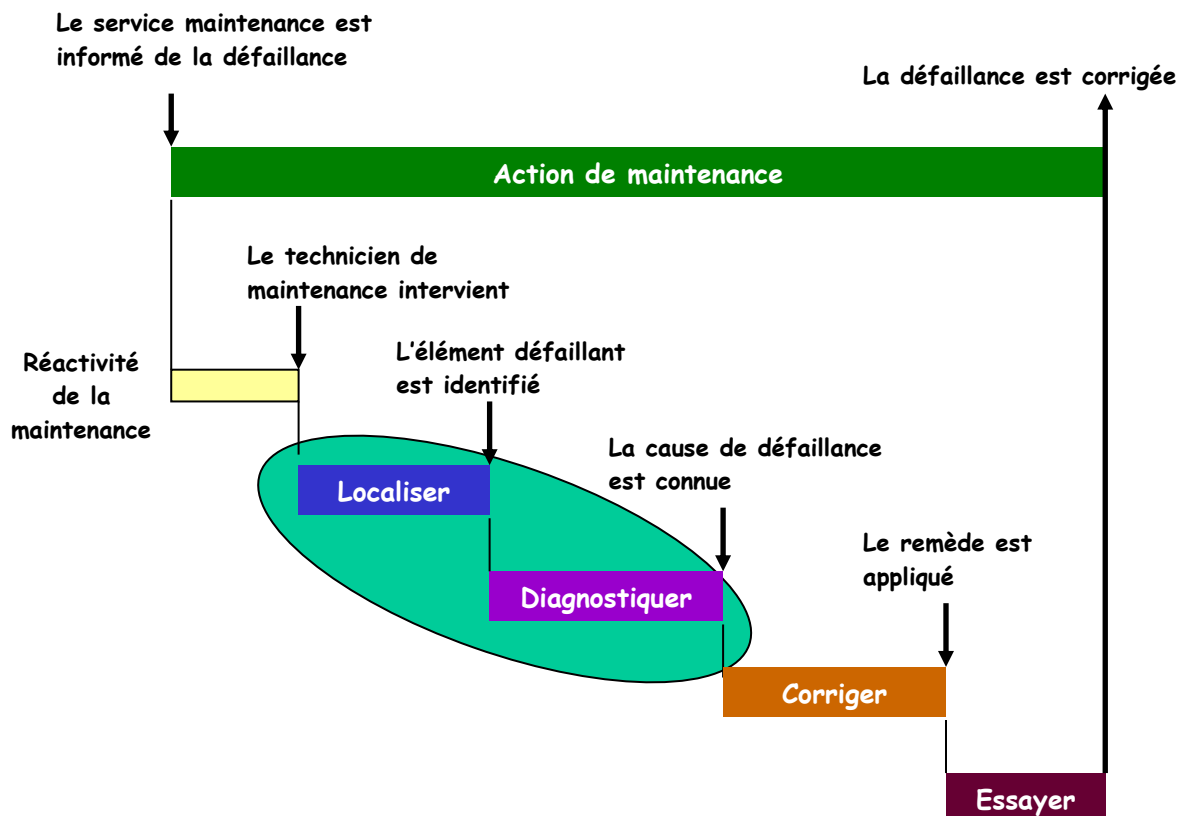
Localisation : Action conduisant à rechercher précisément la ou les pièces par la ou lesquelles, la défaillance se manifeste. Autre terme employé « dépistage ».

Diagnostic : Action conduisant à identifier la ou les causes probables de la ou des défaillances ou de l'évolution d'un ou plusieurs paramètres significatifs de dégradation à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations.

Note : Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances, et de préciser les opérations de maintenance corrective.

Cause de défaillance : Ensemble des circonstances associées à la conception, l'utilisation et la maintenance, qui ont entraîné une défaillance.

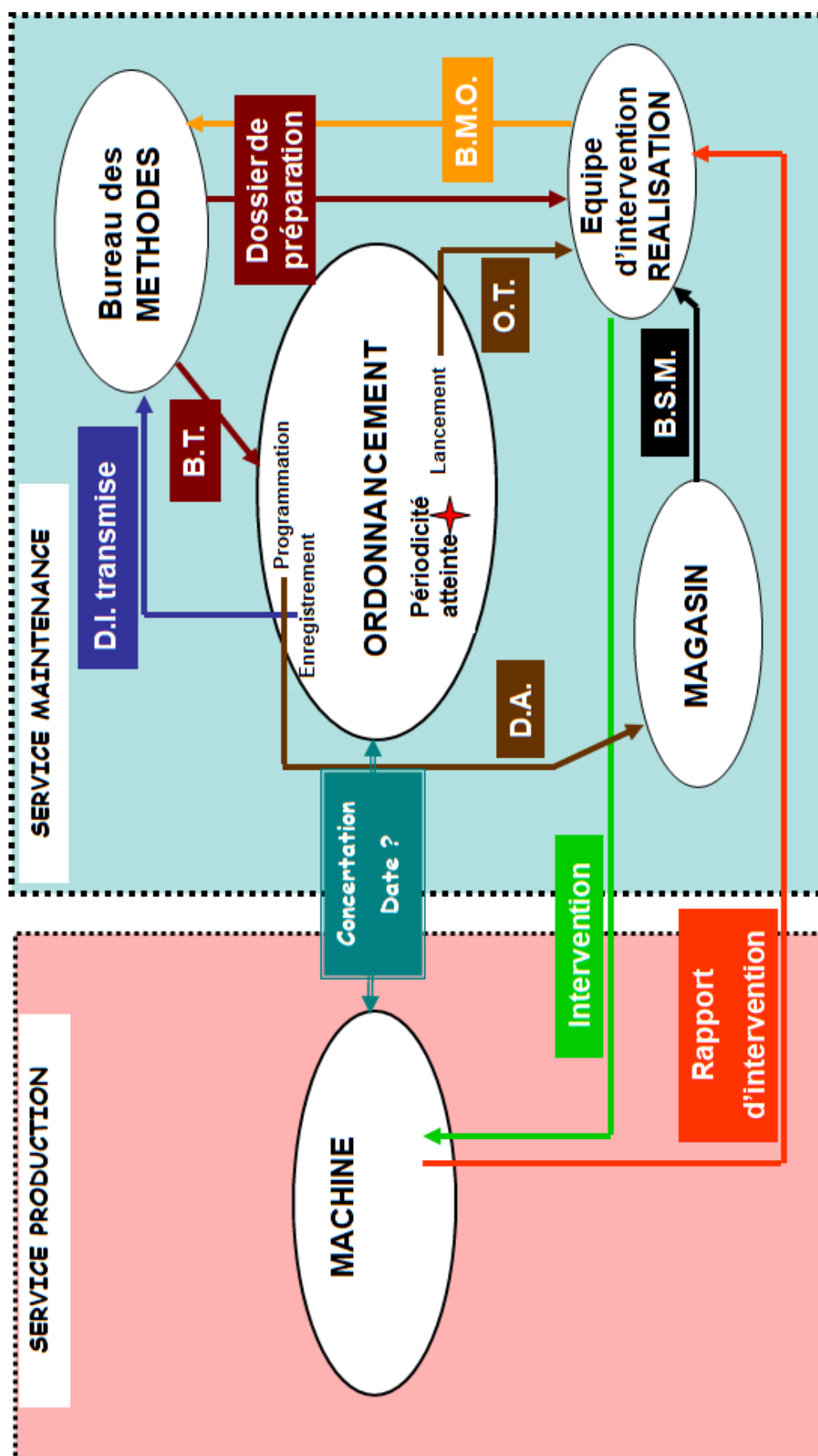
On peut schématiser l'action de maintenance par le schéma suivant :



Après avoir tester le bon fonctionnement du système, le technicien de maintenance rédige un rapport d'intervention afin de compléter l'historique de la machine.

II – MAINTENANCE PREVENTIVE :**LA COMMUNICATION DANS LE SERVICE MAINTENANCE :**

Description du système de communication relatif à une intervention préventive systématique, entre le moment où la périodicité est atteinte et la remise à disposition de l'équipement.



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**III – LA GMAO :**

La G.M.A.O. (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur) est un logiciel spécialisé qui facilite la réalisation des missions d'un service maintenance.

De par son intégration au système d'information de l'entreprise, cet outil permet la gestion et le pilotage de la fonction maintenance.

La GMAO est utilisée comme un support permettant de tracer, archiver, analyser et prendre des décisions dans le cadre des missions du service maintenance.

OBJECTIFS :

Améliorer la disponibilité et la fiabilité des équipements

Analyse des défaillances

Améliorer le savoir-faire technique

Méthodes de travail

Historiques des défaillances

Optimiser les coûts du service maintenance

Analyse des coûts

Automatisation de tâches

Optimiser les pièces de rechange

Réduire les temps d'attente

Optimiser les coûts de stockage

Piloter la maintenance

Tableaux de bords automatiques

Améliorer la sécurité des intervenants

Consignes attachées à l'équipement

Informations instantanées

Gestion des consignations

Répondre à l'assurance qualité

Historique = traçabilité

Communiquer avec les autres services

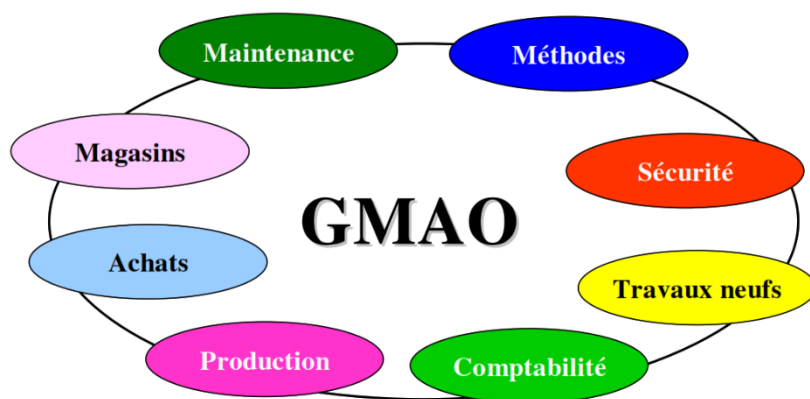
Comptabilité

Achats

Ressources humaines

Production

Qualité



Améliorer la fiabilité et la disponibilité des équipements

Meilleure gestion et réduction des coûts

Optimiser les achats

Traçabilité des équipements

Bénéfice attendus

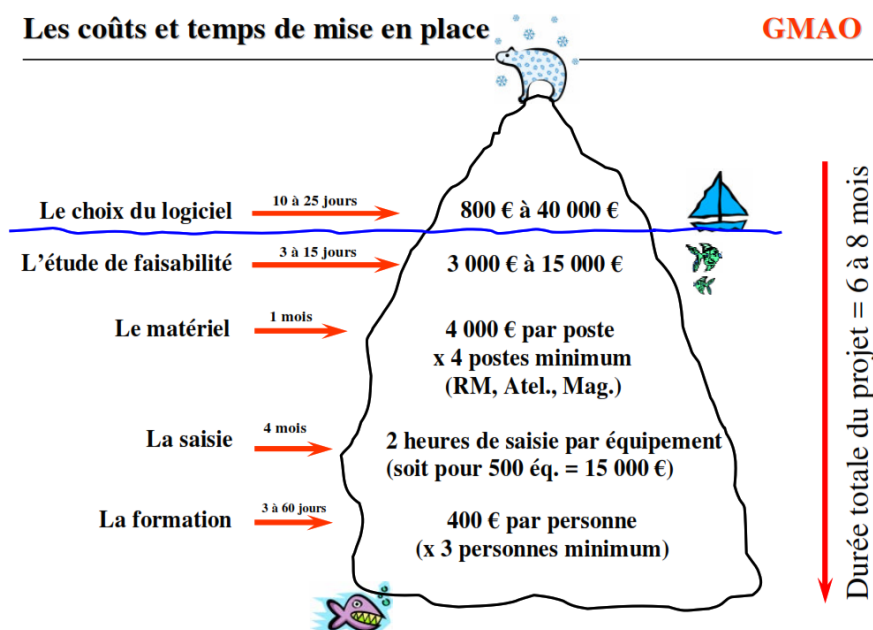
Améliorer la planification des interventions

Améliorer la gestion des stocks

Meilleur contrôle prestataire externes

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Structure :****Les modules de base :****Les Fonctions :**

Equipements	- Codification - Description - Localisation - Pièces attachées	- Hiérarchie - Technique - Etalonnages
Demandes d'interventions	- Numérotation - Traçabilité - Statut	- Description - Equipement concerné
Travaux	- Interventions - Planification - Travaux en cours	- Comptes rendus - Historiques
Analyses	- Technique - Coûts - Personnalisées	- Main d'oeuvre - Pannes - Tableaux de bord
Stocks	- Fiche article - Transactions - Inventaires	
Fournisseurs / sous traitants	- Description - Contrats - Historiques	Catalogues
Achats	- Demandes d'achats - Commandes - Réceptions	Facturation
Budgets	- Description - Suivi - Import / Export	
Rapports	- Rapports préétablis - Création - Rapports automatiques	

Les coûts et temps de mise en place**GMAO**



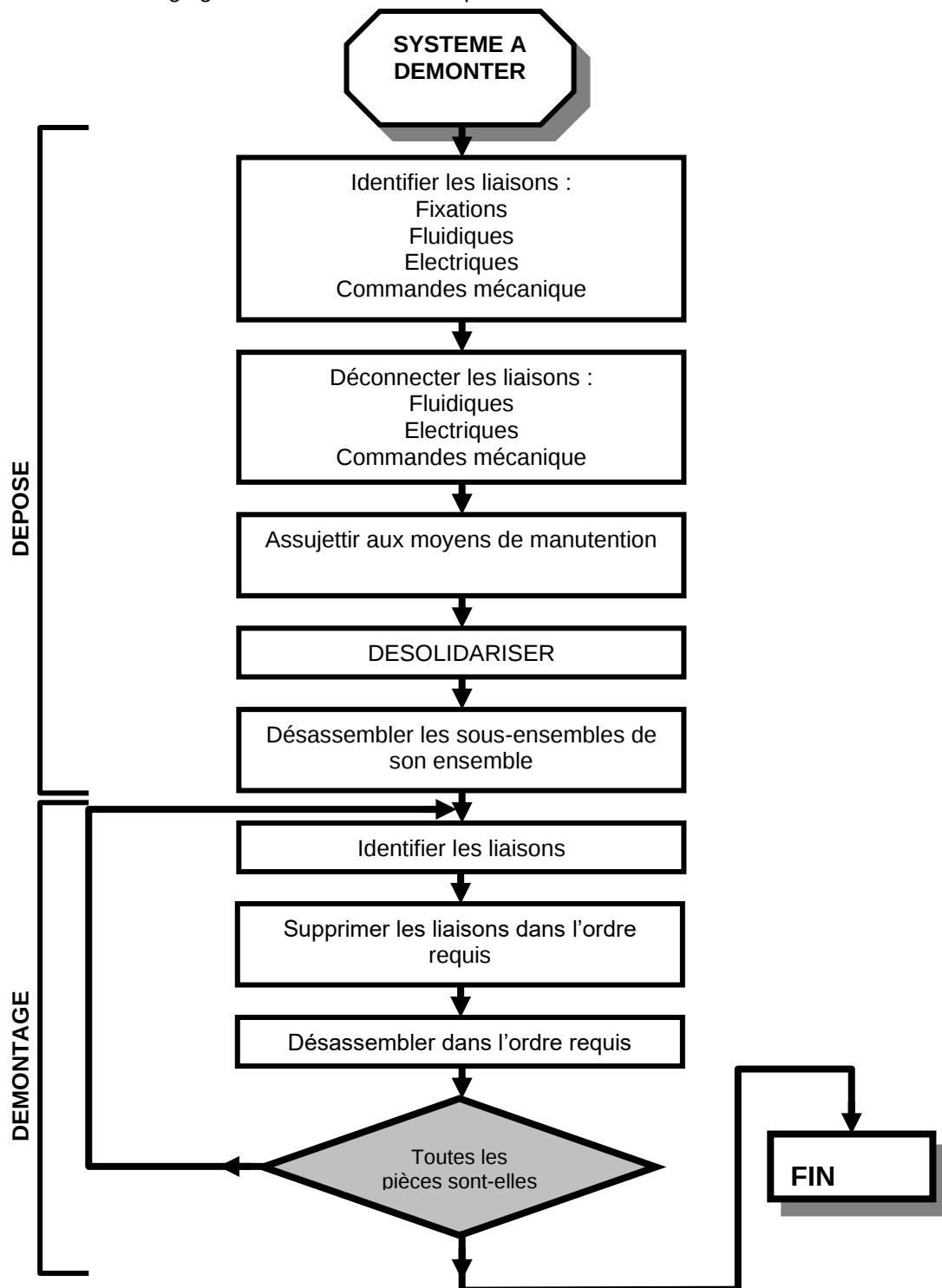
I – INTRODUCTION :

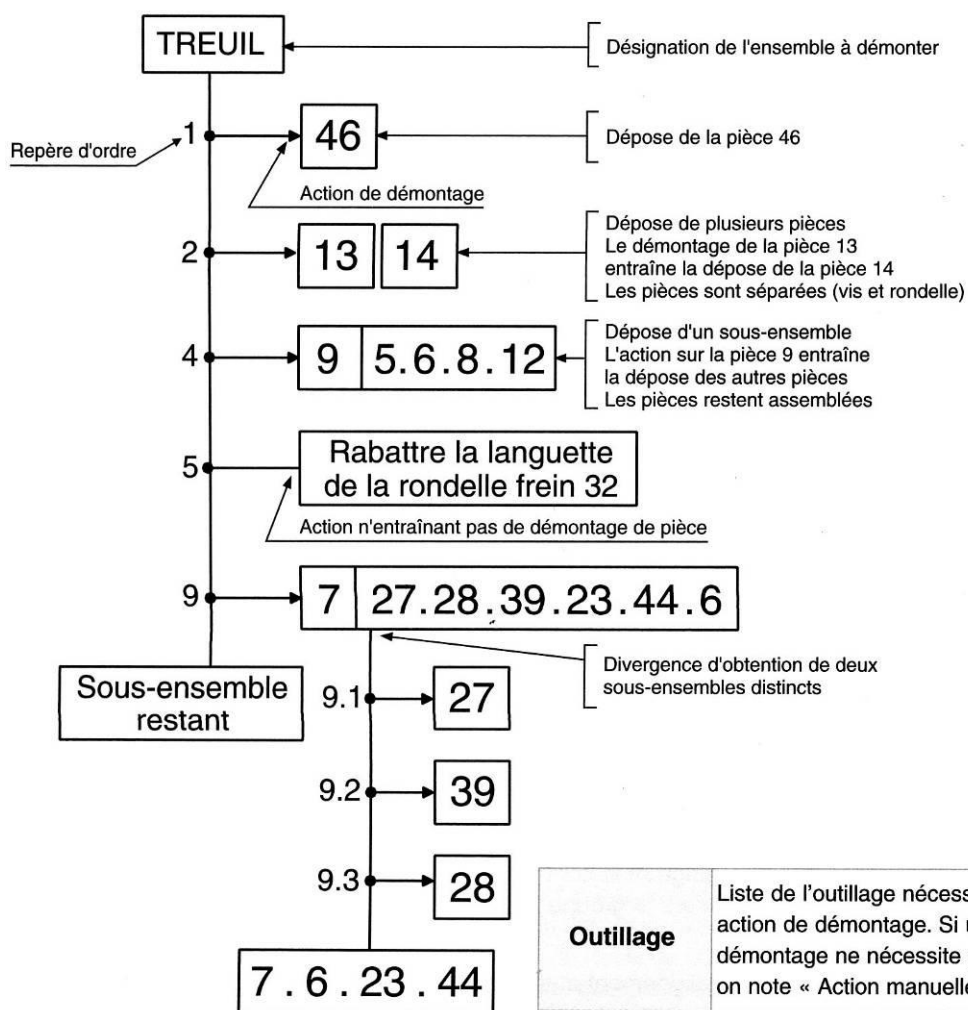
En maintenance, il est possible de classer l'action de démontage en 2 catégories : **démontage total** lors de la révision complète d'une installation et **démontage partiel ou ciblé** pour remplacer un composant défectueux.

Cette dernière catégorie nécessite la dépose d'un minimum de pièces afin de réduire le temps d'intervention.

C'est pourquoi il est souhaitable de préparer l'intervention et d'établir à cet effet une gamme de démontage qui fera apparaître l'ordre chronologique des opérations et les outillages nécessaires et éventuellement à réaliser.

Pour le remontage, l'ordre est souvent l'inverse de celui du démontage. Il est cependant nécessaire de préciser les opérations de contrôle et de réglage à réaliser lors de ces opérations.

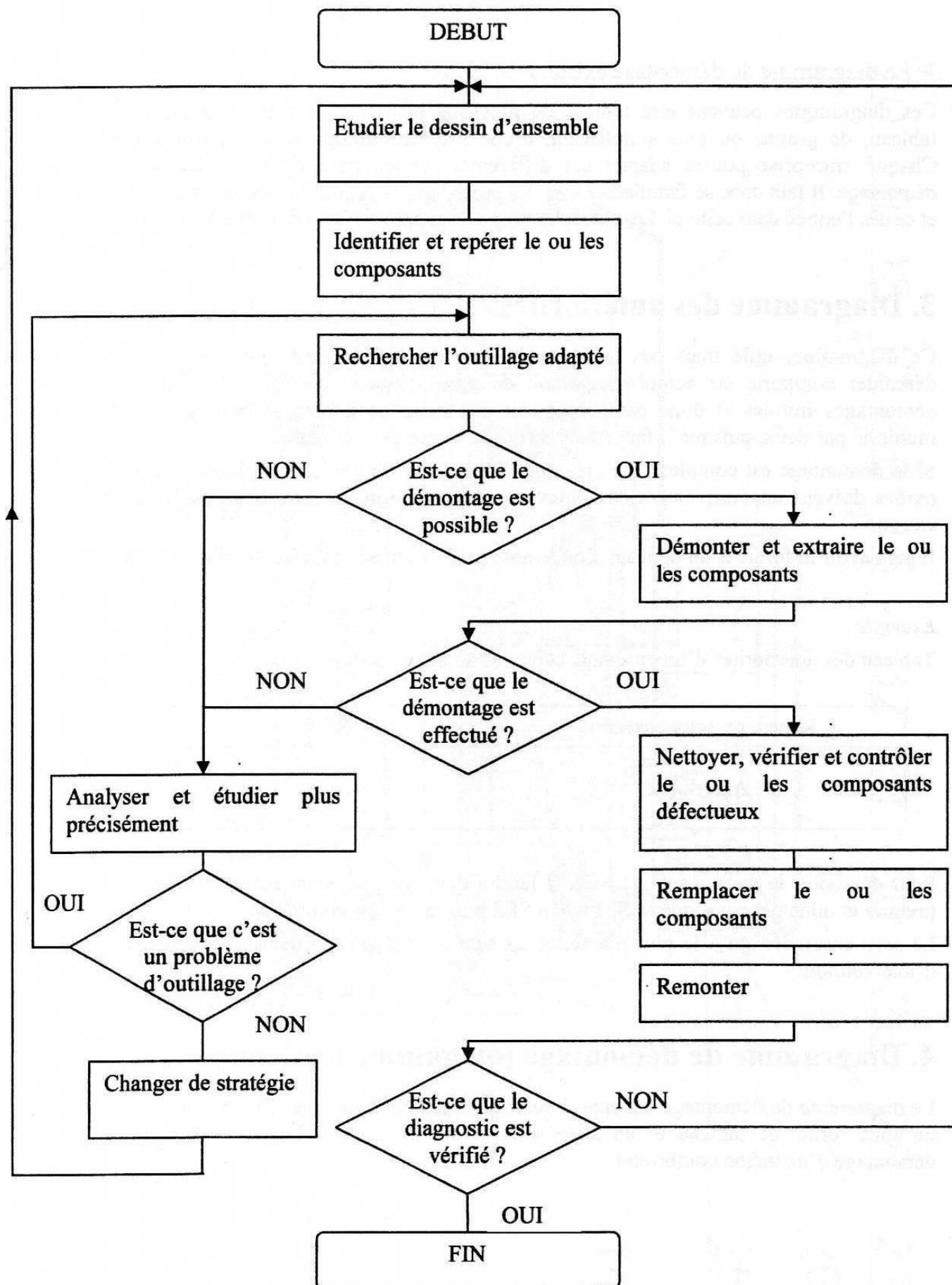


CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**II – LA GAMME DE DEMONTAGE :**

Outillage	Liste de l'outillage nécessaire à chaque action de démontage. Si une action de démontage ne nécessite pas d'outillage, on note « Action manuelle ».
Observations	Indication de renseignements complémentaires utiles au démontage.

III – METHODOLOGIE :

1. Etudier le dessin d'ensemble
2. Localiser l'élément à démonter dans le cas d'un démontage partiel
3. Rechercher les éléments de liaison (vis goupilles, etc.)
4. Repérer les sous-ensembles indépendants
5. Etablir la gamme de démontage
6. Repérer la position des pièces entre elles au cours du démontage si nécessaire
7. Utiliser les outils appropriés

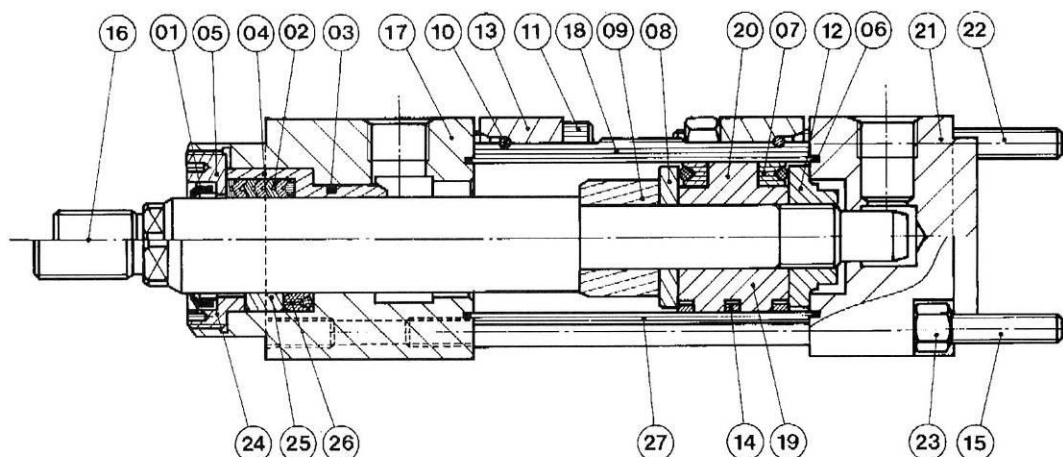
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**EXEMPLE : VERIN HYDRAULIQUE :**

Remise en état d'un vérin hydraulique double effet à simple tige version CTH avec tirants, d'alésage de $\varnothing 80\text{mm}$, de tige de $\varnothing 45\text{mm}$ et d'une course de 100mm.

Remplacement des joints de piston repères 07 et 06 et de tige repères 01 et 26 à l'aide des pochettes de joints SER JL prévus par le constructeur.

L'intervention s'effectue à l'atelier de maintenance.

Vérin hydraulique double effet : CPOAC version CTH et CBH**NOMENCLATURE**

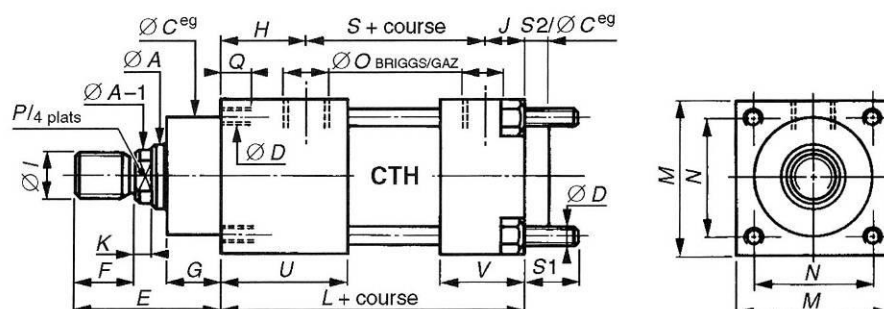
Repère	Désignation	Repère	Désignation	Repère	Désignation
01	Joint racleur de tige	10	Jonc d'arrêt	19	Piston segment
02	Joint chevron de tige	11	Vis d'assemblage (CBH)	20	Piston joint à lèvres
03	Joint de guide/fond	12	Écrou de tige	21	Fond arrière
04	Cartouche guide avant	13	Contre-bride (CBH)	22	Vis d'assemblage (CBH)
05	Bouchon tige normale	14	Segment de piston	23	Écrou de tirant
06	Joint de cylindre	15	Tirant d'assemblage (CTH)	24	Bouchon tige différentielle
07	Joint à lèvres de piston	16	Tige	25	Cale de joint à lèvres
08	Contre-plaque de piston	17	Fond avant	26	Joint à lèvres de tige
09	Bague d'amortissement	18	Cylindre (CBH)	27	Cylindre (CTH)

POCHETTE DE JOINTS DE RECHANGE

Composition des pochettes : SER JL de piston : 2 (07) + 2 (06).
 SER JL de tige : 1 (26) + 1 (01).
 SER JC de tige : 1 (02) + 1 (01).

ENCOMBREMENT

Vérin nu
 série CTH
 simple tige
 code : 30



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Vérin hydraulique	Outillage	Observations
1 • → 23	Clé plate de 24	Déposer les quatre écrous
2 • → 21 06	Action manuelle	Dépose du fond arrière
2.1 → 06	Tournevis	Joint à changer
21		
3 • → 27	Action manuelle	Dépose du cylindre
4 • → 06	Tournevis	Joint à changer
5 • → 16 09-08-07-20-12	Action manuelle	Dépose de la tige
5.1 • → 12	Clé plate de 36	Prévoir deux clés
5.2 • → 20 07	Action manuelle	Dépose du piston
16-09-08 5.2.1 • → 07	Action manuelle	Dépose de deux joints Joints à changer
20		
6 • → 01	Outillage spécial	Joint à changer
7 • → 05	Clé à ergots	Dépose du bouchon
8 • → 25	Action manuelle	
9 • → 26	Outillage spécial	Joint à changer
15-17		

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**IV – PRECAUTIONS :**

Le montage et le démontage sont des opérations de finition. Ils doivent être effectués par des opérateurs soigneux, observateurs, capables d'initiative et de raisonnement. Pour cela, ces derniers devraient disposer du dossier machine :

- Dessin d'ensemble, précisant la position relative des pièces ou éléments à assembler.
- Nomenclature, indiquant le nom et le nombre des pièces.
- Cahier des charges, spécifiant les conditions de fonctionnement de la machine, la caractéristique des produits fabriqués, la cadence de production.

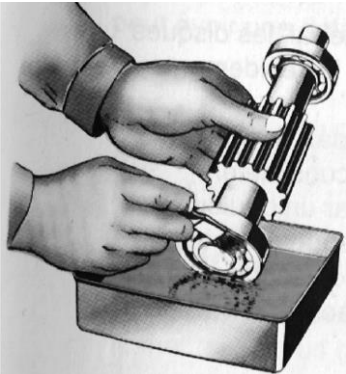
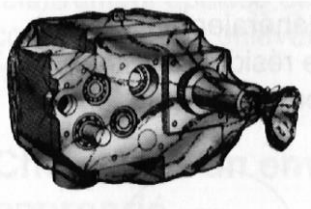
RÈGLES A RESPECTER :

- Éviter l'emploi du marteau et proscrire la clé à molette, utiliser les outils et instruments appropriés.
- Ne jamais forcer sur un élément dont vous n'êtes pas certain de la fonction (sens de dévissage si le pas est à gauche)
- Repérer la position des pièces soit réglées, alignées ou calées.
- Prendre garde à ne pas détériorer les joints et les remplacer s'ils sont abîmés
- Nettoyer les pièces au fur à mesure du démontage et au besoin enlever les bavures provenant d'un matage éventuel.
- Ranger les pièces au fur à mesure et si possible dans des caisses en plastique.
- Replacer les vis en les engageant seulement sur quelques filets. Cette opération facilitera le remontage.

EN DEBUT DE GAMME DE DEMONTAGE, ECRIRE LA PROCEDURE DE CONSIGNATION. EN FIN DE GAMME DE REMONTAGE, ECRIRE LA PROCEDURE DE DECONSIGNATION.

EFFECTUER LE DÉMONTAGE AVEC LE MAXIMUM DE PRUDENCE ET DE RÉFLEXION AFIN D'ÉVITER TOUT RISQUE D'ERREUR POUVANT AGGRAVER L'IMPORTANCE DE LA RÉPARATION.

Ne pas oublier les mesures de propreté telles que le nettoyage et l'emballage des pièces dès que possible.

Nettoyage des pièces	Couverture totale de la pièce démontée	Couverture partielle
		

V – VOCABULAIRE :**51 – Vocabulaire du Démontage :****Mise en Sécurité**

Prendre connaissance et appliquer les Procédures de Consignation ou Mise en Sécurité des Personnes et des Biens :

- ⇒ Apposer la Pancarte ARRET MAINTENANCE
- ⇒ Consigner le Système (Cadenas, Sectionneurs)
- ⇒ Purger le Système (Air comprimé, Huile)
- ⇒ Neutraliser les mouvements en litant les systèmes de transmission (courroies, chaînes, accouplements)

Vidanger

Vider le contenu d'un mécanisme des produits de lubrification usés (Huile, Graisse)

Nettoyer

Oter les impuretés de façon à permettre l'examen d'éléments ou de sous-ensembles et en faciliter la manipulation

Repérer

Marquer par de légers coups de pointeau la position des éléments entre eux avant démontage ou dépose

Dévisser

Utiliser un outil de démontage afin de libérer un élément (généralement un élément fileté, vis ou écrou) sans pour cela le déposer

Déposer

Retirer et poser sur un support un élément ou sous-ensemble

Dévisser

Déposer

Retirer un élément fileté d'un Mécanisme et h:

Chasser

Pousser à l'aide d'un outil approprié un élément ou sous-ensemble hors de son logement

Extraire

Action d'utiliser un extracteur

Déplier

Rabattre un élément en tête afin de le ramener à sa position initiale (Rondelles MB servant au réglage du jeu de fonctionnement des Roulements)

L'élément déplié est à remplacer pour des raisons de sécurité.

52 – Vocabulaire du remontage :**Engager**

Replacer un élément ou sous-ensemble sur un Arbre ou dans un Logement

Visser

Actionner un élément fileté pour l'amener en contact avec une autre pièce du Mécanisme sans pour cela bloquer cet élément (Réglage)

Visser

Bloquer -Amener l'élément fileté en contact d'une autre pièce du mécanisme et l'immobiliser pour le freiner (Couple de serrage)

Remettre à Niveau

Introduire un lubrifiant neuf dans le mécanisme en respect tant les Caractéristiques et Quantités préconisées par (e Constructeur

Reposer

Replacer un sous-ensemble dans la position qu'il occupait avant la Dépose

Régler

Mettre au point le Fonctionnement d'un Ensemble ou, sous-Ensemble

Essayer

Faire fonctionner l'Ensemble ou le Sous ale de façon à parfaire les Réglages afin de rendre le Système performant

Contrôler

Vérifier ou Mesurer les performances au s'assurer de la conformité d'un élément (Pièce de Rechange)

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

I – INTRODUCTION :

Des machines, des appareils, des installations mis à l'arrêt pour intervention ou travaux sont à l'origine d'accidents du travail aux conséquences souvent graves. Ces accidents sont dus au contact d'un ou plusieurs salariés avec :

- ⇒ Des pièces nues sous tension électrique
- ⇒ Des produits chimiques dangereux
- ⇒ Des organes mécaniques effectuant un mouvement imprévu
- ⇒ Des fluides sous pression

Dans la majorité des cas, la victime se croyait en sécurité, mais la **consignation** s'est avérée incomplète.

II – DEMARCHE GENERALE A APPLIQUER LORS D'INTERVENTIONS :

Avant d'effectuer ou de faire effectuer une intervention sur des machines, appareils ou installations, il y a lieu de :

- 1) S'assurer que les modes opératoires à mettre en œuvre sont définis et que les risques sont analysés. Cette analyse détaillée devra prendre en compte tous les aspects de la sécurité des personnes et des biens, y compris ceux qui ne sont pas directement liés à l'intervention considérée (présence d'autres chantiers à proximité, autre partie de l'atelier restant en fonctionnement, etc.).
- 2) Prendre les mesures appropriées pour éliminer ces risques ou, en cas d'impossibilité technique justifiée, en limiter les conséquences éventuelles. Parmi ces mesures, existe notamment la **consignation** d'un appareil, d'une machine, d'un équipement ou d'une installation.
- 3) Ne confier l'intervention qu'à du personnel possédant les aptitudes requises, ayant reçu une formation pratique et informé des mesures spécifiques à l'intervention.
- 4) Mettre à la disposition de ce personnel les moyens nécessaires au bon accomplissement de l'intervention et veiller à ce que ces moyens soient correctement utilisés.

III – DEFINITIONS :

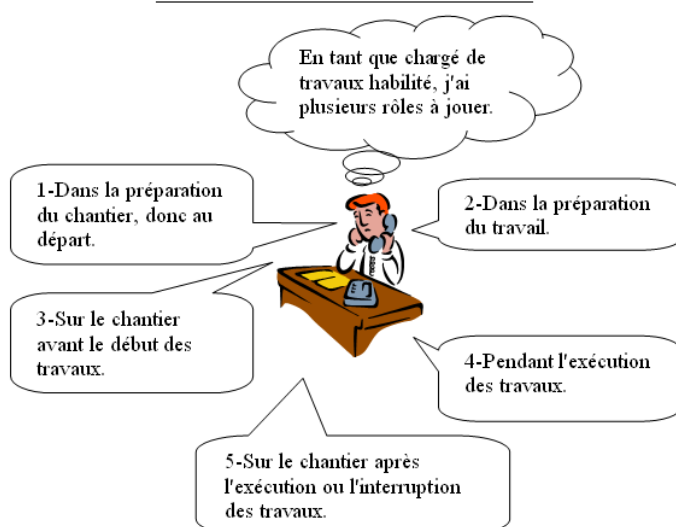
CONSIGNATION : ensemble des dispositions permettant de mettre et de maintenir en sécurité (si possible par un dispositif matériel) une machine, un appareil ou une installation de façon qu'un changement d'état (remise en état de marche d'une machine, fermeture d'un circuit électrique, ouverture d'une vanne, etc.) soit impossible sans l'action volontaire de tous les intervenants.

DECONSIGNATION : ensemble des dispositions permettant de remettre en état de fonctionnement une machine, un appareil ou une installation préalablement consignée, en assurant la sécurité des intervenants et des exploitants.

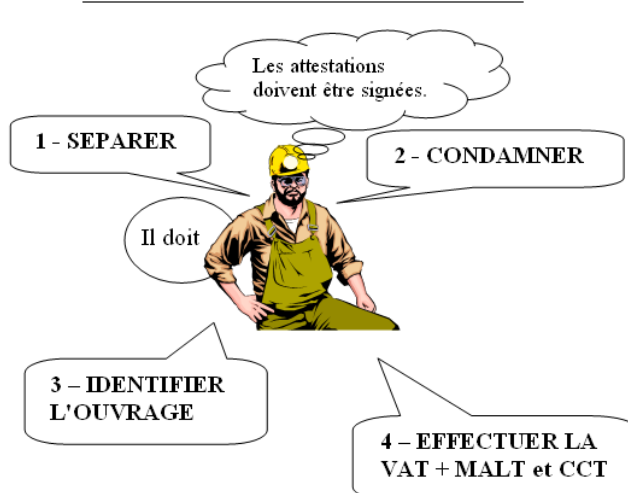
INTERVENANT : il est chargé de réaliser des travaux prédéfinis. Ce peut être une personne ou une équipe comprenant en permanence un chef d'équipe ou un chargé de travaux présent en permanence sur le chantier.

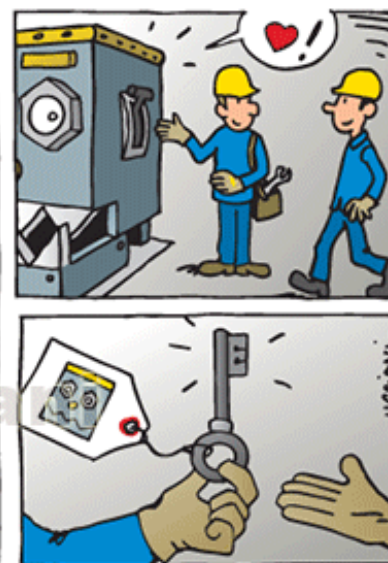
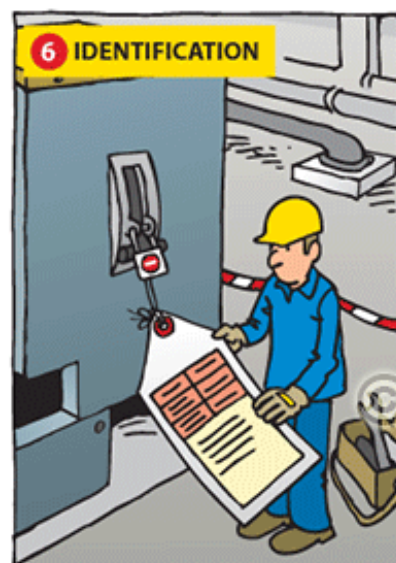
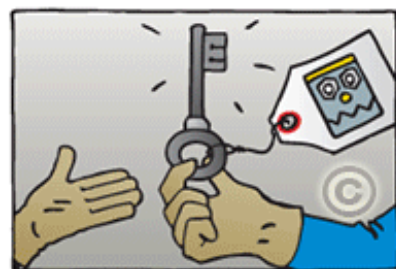
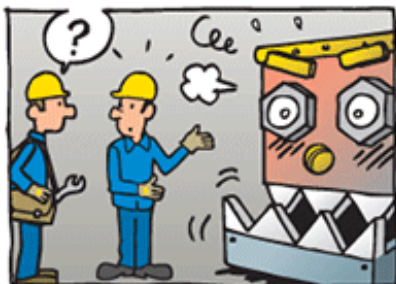
CHARGE DE CONSIGNATION : personne compétente désignée par le chef d'entreprise pour effectuer la consignation et la déconsignation d'une installation et qui est chargée de prendre ou de faire prendre les mesures de sécurité qui en découlent.

ROLE DU CHARGE DE TRAVAUX:



ROLE DU CHARGE DE CONSIGNATION



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**IV – PROCEDURES DE CONSIGNATION ET DE DECONSIGNATION :****LES 7 ÉTAPES DE LA CONSIGNATION**

- 1) Séparation
- 2) Condamnation et signalisation
- 3) Dissipation ou rétention / confinement
- 4) Vérification et identification

La séparation et la dissipation doivent se faire au plus près de la zone d'intervention afin de faciliter les vérifications. La vérification de l'absence de tension, pression, etc., doit être considérée comme un travail sous tension, pression, etc.

Ces installations devront être examinées par le CHSCT dans le cadre de sa mission d'analyse des risques.

Phase de consignation	Nature du risque		
	Electrique	Chimique	Mécanique
SEPARATION	Mise hors tension de tous les circuits de puissance et de commande de façon pleinement apparente* y compris les alimentations de secours (ex : onduleurs).	Suppression des arrivées de tous les fluides ou solides de façon pleinement apparente* y compris les circuits auxiliaires.	Coupure de la transmission de toutes les formes d'énergie de façon pleinement apparente* y compris secours et accumulateurs d'énergie.
CONDAMNATION <i>Signalisation</i>	Verrouillage par un dispositif matériel difficilement neutralisable, dont l'état est visible de l'extérieur, réversible uniquement par un outil spécifique personnalisé pour chaque intervenant Information claire et permanente de la réalisation de la condamnation		
DISSIPATION RETENTION / CONFINEMENT	Mise à la terre et en court-circuit des conducteurs (opération à réaliser après la vérification) Décharge des condensateurs	Vidange, purge, nettoyage. Elimination d'atmosphère inerte ou dangereuse. Ventilation.	Mise au niveau d'énergie le plus bas par arrêt des mécanismes y compris les volants d'inertie, mise en équilibre mécanique stable (point mort bas), ou à défaut calage mécanique, mise à la pression atmosphérique.
VERIFICATION <i>Identification</i>	Absence de tension entre tous les conducteurs (y compris le neutre) et entre eux et la terre.	Absence de pression, d'écoulement. Contrôle éventuel spécifique (atmosphère, pH, etc.).	Absence d'énergie, tension de courroie, pression, mouvement, etc.
Eventuellement balisage des zones dangereuses résiduelles. Elle a pour but de s'assurer que les travaux seront effectués sur l'installation ou l'équipement consigné. Pour cela, les schémas et le repérage des éléments devront être lisibles, permanent et à jour.			

Page 118

44 – Commentaires sur le risque électrique :**Séparation :**

L'installation doit pouvoir être séparée de sa source d'énergie par un dispositif de sectionnement agissant directement sur les circuits de puissance. Au-delà de 500 V, ce sectionnement doit être réalisé par un dispositif (interrupteur / sectionneur, sectionneur, etc.) garantissant une séparation pleinement apparente. Cette disposition peut être réalisée, soit par la vue directe des contacts séparés, soit par un asservissement présentant une bonne fiabilité entre la position des contacts et celle de l'organe extérieur de manœuvre reflétant cette position.

Si les circuits de commande sont alimentés indépendamment des circuits de puissance, leur séparation est nécessaire.

Attention au risque de confusion des circuits

- Le verrouillage par transfert de clefs est actuellement le seul système qui, par conception, rend matériellement obligatoire la procédure de consignation et empêche toute confusion de circuit.
- L'appareil de séparation permettant d'isoler une machine, une installation ou partie d'installation, doit être parfaitement et durablement identifié (ex : étiquetage)
- Dans tous les cas, l'installation de l'interrupteur / sectionneur au plus près de la zone à isoler est vivement conseillée.

Condamnation :

La condamnation des appareils de séparation en position d'ouverture doit être, dans le cas général, réalisée par des dispositifs de verrouillage tels que cadenas ou serrures. Les clefs non spécifiques (carrés, triangles, cadenas standard à clefs identiques, etc.) ne doivent pas être utilisées.

Toutefois, dans les installations du domaine de tension inférieure à 500 V en courant alternatif, l'apposition d'une pancarte interdisant la manœuvre du dispositif de sectionnement est admise lorsque ce dispositif n'est pas conçu pour permettre le verrouillage mécanique.

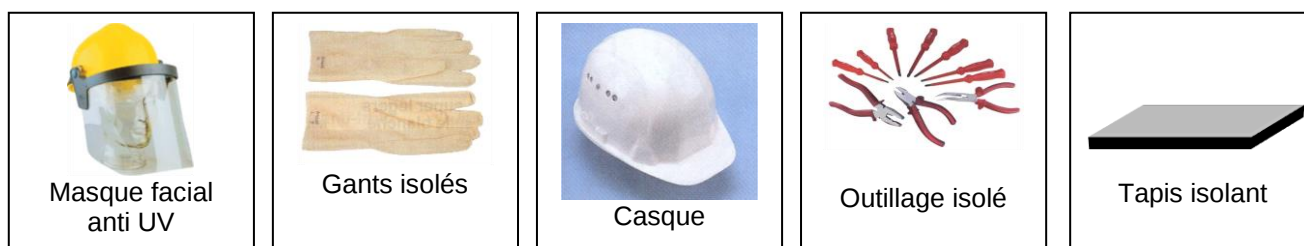
Vérification :

Dans tous les cas, la vérification de l'absence de tension doit être effectuée au plus près du lieu de l'intervention et avec des vérificateurs de tension normalisés (normes NFC 18-310 ou NFC 18-311), à l'exclusion des appareils de mesure et des détecteurs (voltmètre, tournevis testeur, etc.).

Dissipation :

La dissipation des énergies accumulées (mise au niveau d'énergie le plus bas) doit comporter la décharge des condensateurs éventuels.

Elle comprend également la mise à la terre et en court-circuit des conducteurs qui est obligatoire à partir de 500 volts en courant alternatif, fortement recommandée en dessous.

EPI :

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Procédure :**

Phase de consignation	Actions à réaliser	Matériel, observations
1 – Séparation 	Mettre hors tension tous les circuits de puissance et de commande de façon apparente	L'installation doit être séparée de ses sources d'énergies par un dispositif de sectionnement agissant directement sur les circuits de puissance. Si les circuits de commande sont alimentés indépendamment, ils doivent également comporter un ou des séparateurs. La séparation doit être pleinement apparente, cette disposition peut être réalisée, soit par la vue directe des contacts séparés (armoire avec hublot), soit être ramenée en façade armoire par une poignée fiable (on doit être sûr de la séparation des contacts).
2 – Condamnation 	Verrouiller les séparateurs en position ouverture par un dispositif mécanique fiable et inviolable.	Le verrouillage est en général réalisé par cadenas ou serrure. La norme veut que soient posés trois cadenas : Un par le technicien de maintenance, le second par le responsable de production et le dernier par le directeur du site (ce qui n'est jamais respecté vu la lourdeur de la procédure). Les clés non spécifiques tels que carré, triangle, clés identiques 455 ... sont à proscrire. Lorsqu'il n'est pas possible d'immobiliser les organes de manœuvre, une signalisation constitue la protection minimale.
3 – Vérification 	S'assurer de l'absence de tension entre tous les conducteurs, y compris le neutre, entre eux et la terre.	Cette vérification doit être effectuée en aval du sectionnement et au plus près du lieu de travail, à l'aide d'un appareil spécialement conçu à cet effet et répondant aux normes en vigueur. Immédiatement avant et après cette opération le bon fonctionnement du VAT doit être vérifié à l'aide de parties actives restées sous tension à proximité.
4 – Dissipation  Condensateur	Décharger les condensateurs, effectuer la mise à la terre (MALT) Et mettre en court circuit (CCT) les conducteurs.	Ces MALT et CCT sont les plus sûrs moyens de se prémunir contre les réalimentations accidentelles à condition d'utiliser un matériel conçu à cet effet et compatible avec le courant de court circuit.
5 – Signalisation 	Information claire, permanente et visible de la réalisation de la condamnation.	Balisage éventuel des zones dangereuses résiduelles. Cette signalisation doit comporter au minimum le nom du chargé de consignation, la date et l'heure de l'exécution. Elle est placée en général directement sur l'organe de sectionnement ou sur le pupitre de commande du système.

45 – Commentaires sur le risque chimique :**Séparation (ou isolement) :**

Le degré d'efficacité de la séparation devra être apprécié en fonction des risques engendrés (intoxication, atteintes oculaires ou cutanées, brûlures thermiques ou chimiques, réactions violentes, inflammation, explosion). Pour tous les produits dangereux,

- ⇒ Classés comme tels au sens de l'article R. 231.51 du Code du travail (toxiques, corrosifs, inflammables, etc.)
- ⇒ Susceptibles de réagir violemment (eau/sodium) ou de provoquer une inflammation explosive
- ⇒ Susceptibles de rendre l'atmosphère asphyxiante (azote, gaz carbonique, etc.)

L'un des procédés de séparation suivants devra être utilisé :

- ⇒ Deux vannes fermées avec purge intermédiaire ouverte ;
- ⇒ Vanne condamnable associée à un second dispositif (vanne ou joint plein) ;
- ⇒ Dépose d'un élément de tuyauterie aval et pose d'une bride pleine ;
- ⇒ Joint plein.

La pose d'un joint plein ou la dépose d'un élément de tuyauterie est une intervention qui peut être dangereuse et donc impliquer préalablement une procédure de consignation locale.

Condamnation :

On installera, de préférence dès l'origine, des dispositifs de séparation comportant un moyen de condamnation intégré (vanne cadennassable). Dans les installations existantes non équipées de ces moyens intégrés, des mesures compensatrices devront être mises en œuvre (chaîne, équerre soudée, etc.). Les clefs non spécifiques (carrés, triangles, cadenas standards à clefs identiques, etc.) ne doivent pas être utilisées.

Dissipation (ou purge) :

L'analyse des risques déterminera les conditions et le moment les plus opportuns pour la réalisation de la vidange, du nettoyage. Par exemple, certains silos ne peuvent être vidés qu'en utilisant leur vis d'extraction. Cette vis ne pourra donc être condamnée qu'après vidange et avant pénétration pour nettoyage.

Les spécifications du circuit de purge doivent être compatibles avec celles du circuit principal (débit, résistance mécanique et chimique, etc.).

La purge devra assurer l'évacuation des produits dangereux et s'opposer à leur retour éventuel par une « entrée » ou une « sortie ». Une attention particulière sera portée aux points bas, aux éléments susceptibles d'emprisonner les produits (fonds de vannes, clapets, etc.) et à la création d'atmosphères explosives transitoires (purge de tuyauterie de gaz).

Les vannes de purge seront condamnées ouvertes.

Dans le cas des produits dangereux, des dispositions spécifiques devront être prises :

- ⇒ Envoi à la bache, à la torche, sur tour d'abattage,
- ⇒ Envoi en réceptacle particulier, en cuvette de rétention,
- ⇒ Envoi à la neutralisation des acides et des bases,
- ⇒ Envoi à des traitements conduisant à des substances non dangereuses.

On s'assurera du transfert effectif des produits par exemple avec un détecteur de passage à « sécurité positive », c'est-à-dire dont la défaillance éventuelle n'affecte pas la fonction sécurité.

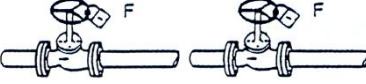
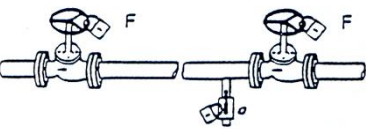
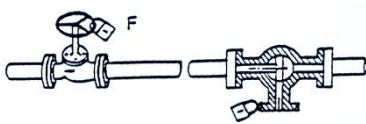
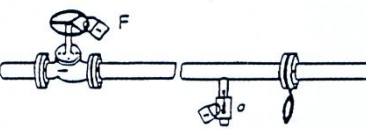
Dans le cas de l'élimination d'une atmosphère inerte (azote, gaz carbonique) ou appauvrie en oxygène, une procédure spécifique devra être établie à partir d'une analyse rigoureuse des risques : cette procédure intégrera en particulier la ventilation, la mesure du taux d'oxygène et le contrôle d'accès.

Vérification :

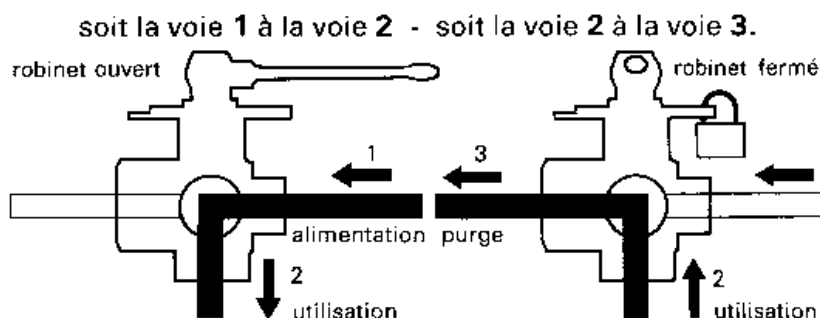
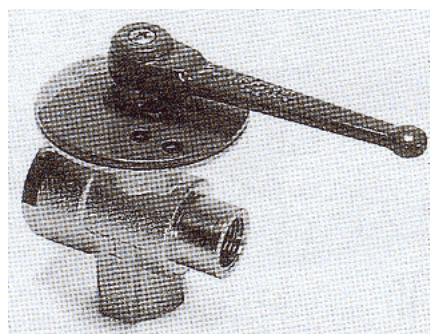
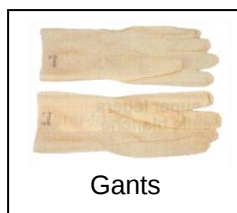
C'est la vérification de l'absence de risque résiduel :

- ⇒ L'absence d'écoulement n'est qu'une indication car certains produits peuvent être figeant, colmatant, cristallisés, visqueux,
- ⇒ Dans tous les cas, l'efficacité de la purge devra être contrôlée (par exemple absence de bouchage testée par balayage).

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCEPrincipes de séparation des circuits :

	Une vanne seule fermée : quels que soient le type de vanne et son principe de fonctionnement, une seule vanne présente toujours un risque de fuite et ne peut donc constituer une séparation efficace. → A PROSCRIRE
	2 vannes fermées en série : pour les mêmes raisons que ci-dessus, ce dispositif présente toujours un risque de fuite. En effet, la partie de ligne située entre les 2 vannes peut, dans le temps, se mettre en charge. → A PROSCRIRE
OUI SI 	2 vannes fermées et purge intermédiaire ouverte : ce principe de séparation peut être considéré comme efficace sous réserve que : - Le robinet de purge soit effectivement condamné en position ouverte ; - Qu'il n'y ait pas de bouchage au niveau de cette purge. Se méfier des produits qui coagulent, cristallisent, etc., et de manière générale qui provoquent un colmatage des canalisations
OUI 	Vanne simple fermée + vanne 3 voies : une vanne 3 voies peut assurer 2 fonctions en une seule manœuvre : séparation aval et purge. Attention : la fermeture de la vanne 3 voies ne doit pouvoir se faire que dans un sens qui plus est, doit être clairement identifié.
OUI 	Vanne amont fermée + purge intermédiaire ouverte + joint plein aval ou bride pleine et manchette aval démontée : Les mesures de séparation sont efficaces. Mais attention au déplacement du risque : - La mise en place et le retrait d'un joint plein sont une intervention qui nécessite que la ligne sur laquelle on intervient soit d'abord efficacement consignée - Un joint plein doit être clairement identifiable - Un joint plein, sans état apparent visible de l'extérieur, sera proscrit

Attention : la purge d'une portion de ligne par desserrage progressif des boulons de bride doit être systématiquement interdite. Il faut tenir compte du risque éventuel de retour par la canalisation aval.

EPI :

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**46 – Commentaires sur le risque mécanique :**

Le terme mécanique se réfère à la nature du risque. Les mesures de consignation porteront sur la ou les énergies induisant ce risque. Ces énergies peuvent être hydraulique, pneumatique, électrique, cinétique (volant d'inertie), potentielle (pesanteur, tension d'un câble ou d'un ressort, etc.).

Séparation :

Le degré de l'efficacité de la séparation sera apprécié en fonction des risques directs ou indirects engendrés. Les mesures à prendre seront différentes selon les sources d'énergie :

- ⇒ Coupure de l'énergie électrique,
- ⇒ Coupure de l'énergie pneumatique : ex : vanne avec mise à l'air,
- ⇒ Coupure de l'énergie hydraulique : ex : vanne avec retour à la bêche,
- ⇒ Coupure de l'énergie mécanique : ex : désaccouplement d'un élément de transmission, dépose d'un élément fonctionnel (bougies, batterie dans le cas d'engins à moteur thermique).

Condamnation :

Les opérations énoncées dans les paragraphes « Risque électrique » et « Risque chimique » s'appliquent également. La condamnation est toujours conseillée, mais elle ne s'impose vraiment que lorsque l'opérateur ne peut pas, de tous les emplacements de travail qu'il doit occuper, vérifier la permanence de la séparation (cf. EN 292-2).

Dissipation :

La dissipation est l'annulation ou la maîtrise des énergies accumulées :

- ⇒ Cinétiques : arrêt de toutes les pièces en mouvement,
- ⇒ Potentielles : mise et maintien en équilibre stable, point mort bas ou, à défaut, calage mécanique,
- ⇒ Hydrauliques : mise à la bêche des accumulateurs hydrauliques,
- ⇒ Pneumatiques : mise à l'air libre (purge) des accumulateurs pneumatiques.

On s'assurera que la purge des accumulateurs ne peut pas provoquer de mouvements dangereux (vérins, pistons, etc.).

Vérification :

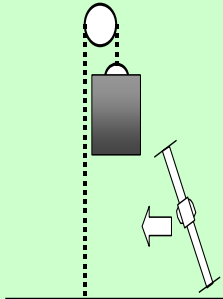
Selon le cas, la vérification de l'absence ou de la maîtrise des énergies pourra, soit être faite visuellement, soit nécessiter des appareils de contrôle (ex : manomètre).

Cas particulier :

Pour certains équipements commandés par microprocesseurs, il peut être impératif de maintenir l'unité centrale sous tension, par exemple pour conserver les données. Dans ce cas, les circuits de puissance et de commande (à l'exception de cette unité centrale) devront être consignés et les circuits restant sous tension seront signalés.

EPI :

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Procédure :**

Phase de consignation	Actions à réaliser	Matériel, observations
1 – Séparation  Vannes	Coupeure de la transmission de toutes les formes d'énergie de façon pleinement apparente y compris secours et accumulateurs.	Les mesures à prendre seront différentes selon les sources d'énergie : <u>Pneumatique</u> : vanne de sectionnement verrouillable avec mise à l'air libre <u>Hydraulique</u> : vanne de sectionnement verrouillable avec retour réservoir <u>Mécanique</u> : désaccoupler un élément de transmission  Accouplement flexible démonté
2 – Condamnation  Vanne d'air comprimé Cadenassable	Verrouiller les séparateurs en position ouverture par un dispositif mécanique fiable et inviolable.	Le verrouillage est en général réalisé par cadenas ou serrure.  Condamneurs de vannes
3 – Dissipation 	Mettre au niveau d'énergie le plus bas : <u>Cinétique</u> : arrêt des mécanismes y compris volant d'inertie <u>Potentielle</u> : mettre en équilibre mécanique stable, caler les éléments dangereux, mettre les circuits pneumatiques à la pression atmosphérique et les circuits hydrauliques au réservoir.	La dissipation est l'annulation ou la maîtrise des énergies accumulées. Lors de la mise à l'air libre des accumulateurs pneumatiques ou la mise au réservoir des accumulateurs hydraulique il faut s'assurer que ces purges ne peuvent pas provoquer de mouvements dangereux.
4 – Vérification  Manomètre	Vérifier l'absence de : Pression, circulation de fluides, mouvement mécanique, etc.	Selon les cas la vérification de l'absence ou de la maîtrise des énergies pourra se faire visuellement ou nécessitera un matériel spécifique (manomètre par exemple).
5 – Signalisation 	Information claire, permanente et visible de la réalisation de la condamnation.	Balisage éventuel des zones dangereuses résiduelles.  Cette signalisation doit comporter au minimum le nom du chargé de consignation, la date et l'heure de l'exécution.

47- Procédures de déconsignation :

Logiquement, la procédure de déconsignation doit être strictement inverse à celle de consignation.

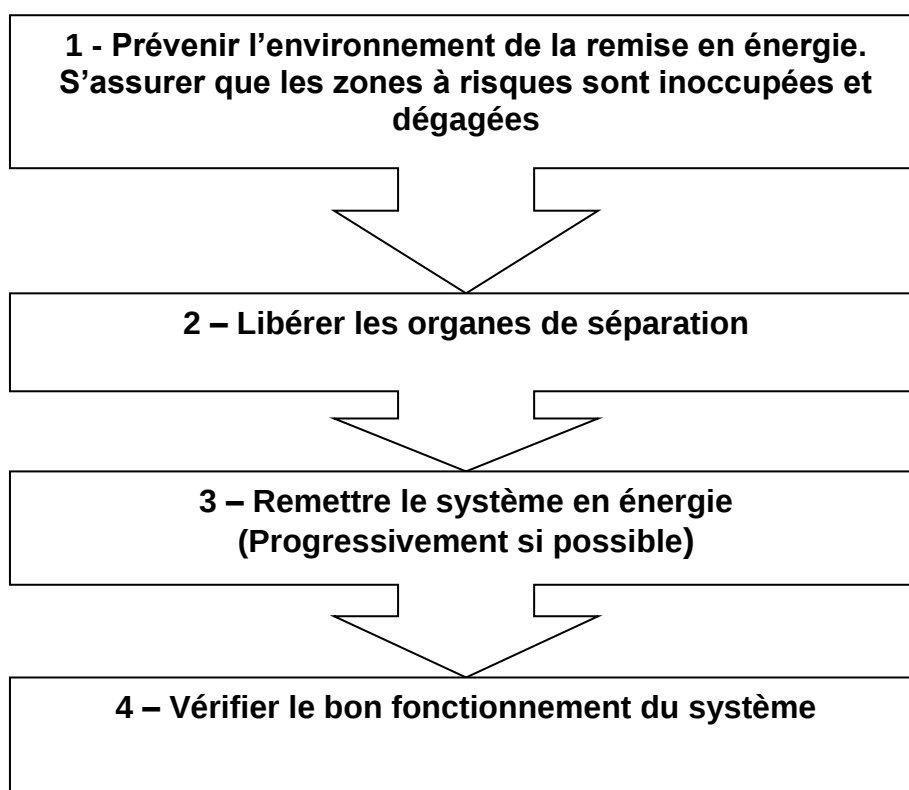
Les feuilles de déconsignation jouent un rôle important dans cette phase aussi, surtout si c'est un autre technicien qui déconsigne la machine.

L'analyse des risques doit permettre de déterminer le contenu et l'ordre des opérations de déconsignation. Par exemple :

- ⇒ La dépose ou l'arrêt du dispositif de dissipation (ou de rétention / confinement) ainsi que la réalimentation en énergie peuvent entraîner des risques spécifiques (mouvements de vérins, démarrage à vide de pompes),
- ⇒ Une initialisation des équipements commandés par certains automatismes (microprocesseur, API, etc.) devra être effectuée avant toute remise en service afin d'éviter des commandes intempestives.

Une attention particulière sera apportée à l'identification des circuits pour limiter les risques de confusion d'installation et donc de déconsignation intempestive. En particulier, c'est le **chargé de déconsignation** qui a pour rôle de recevoir les dispositifs de condamnation restitués par les différents intervenants à la fin de leur travail.

NB : avant la phase de redémarrage normal, une phase transitoire est souvent nécessaire : c'est la phase d'essai, pour laquelle les sécurités mises en place pour l'exploitation doivent être parfois partiellement neutralisées ; des procédures compensatrices spécifiques et rigoureuses doivent alors être mises en place pour cette phase.



I – CARACTERISTIQUES DES DEFAILLANCE :**11 – Définitions (Norme NF EN 13306) :****Définitions (extraits normes NF EN 13306) :**

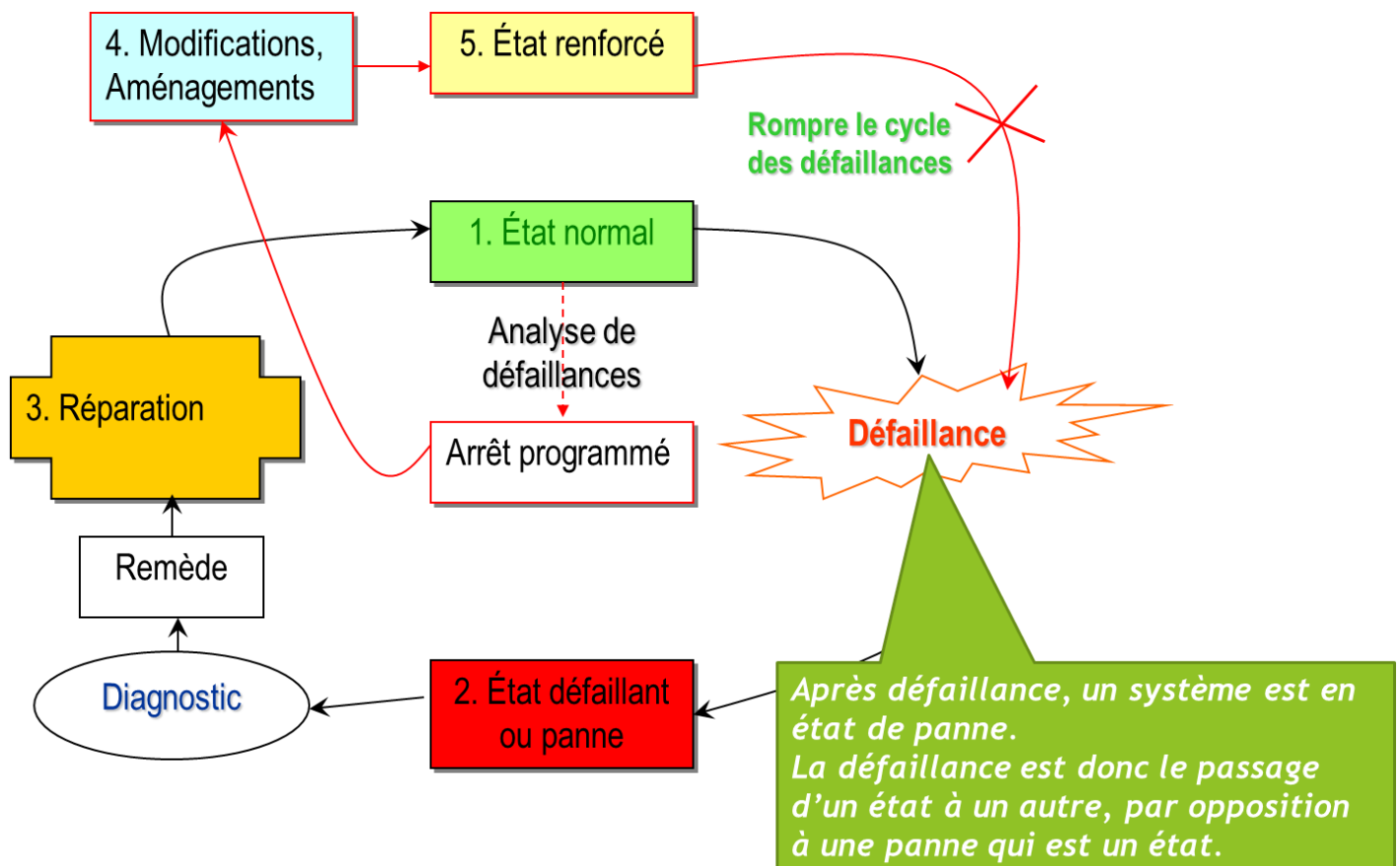
- **Défaillance** : altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

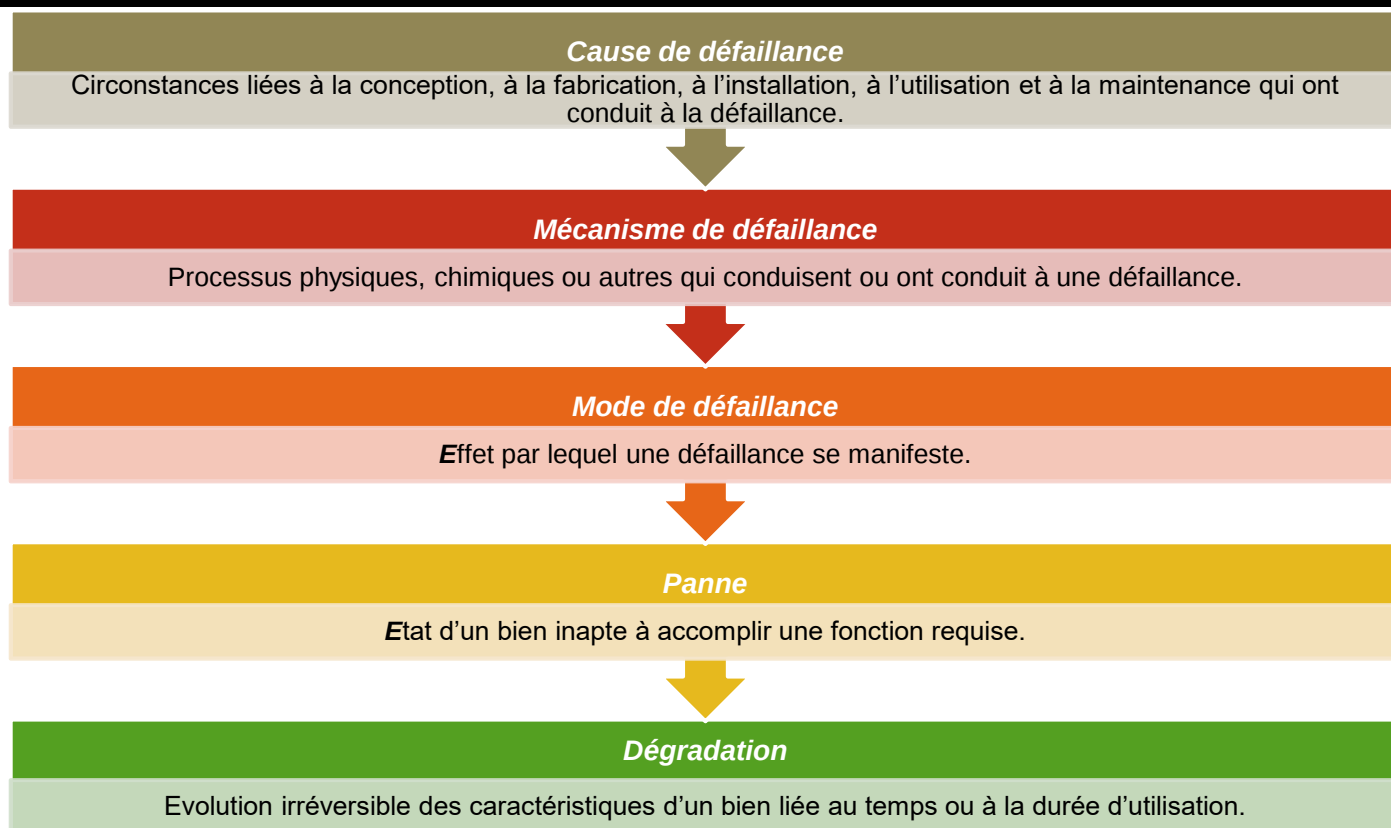
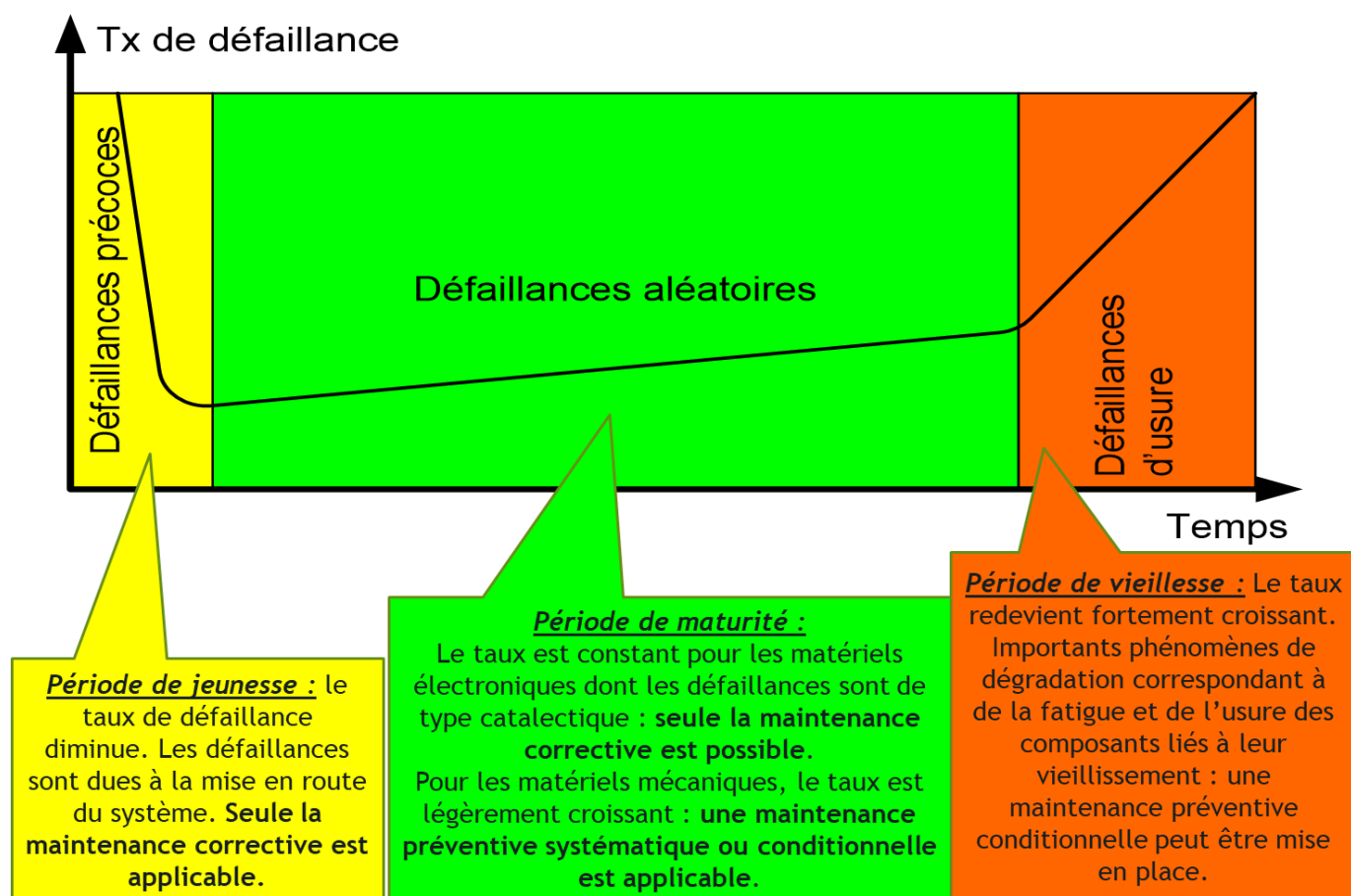
Défaillance partielle

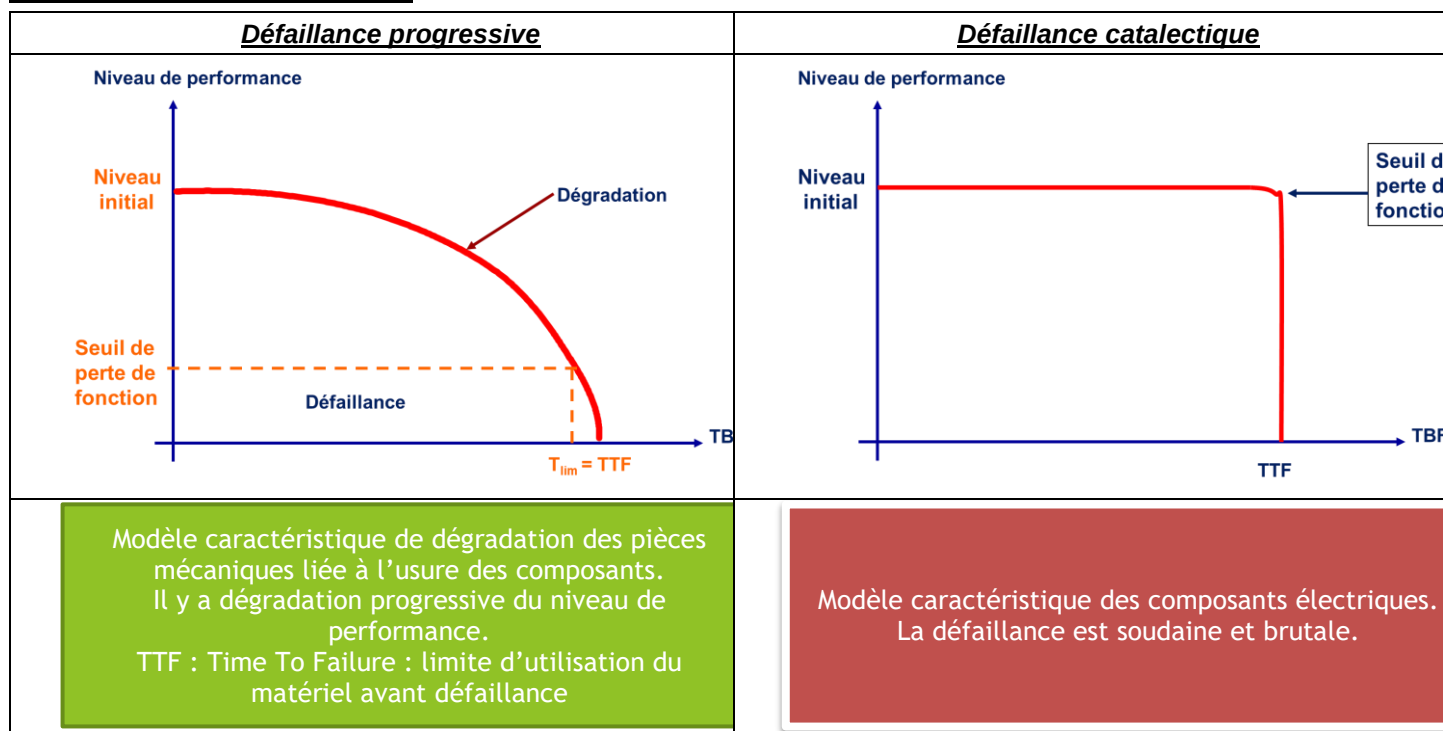
- Altération de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

Défaillance complète

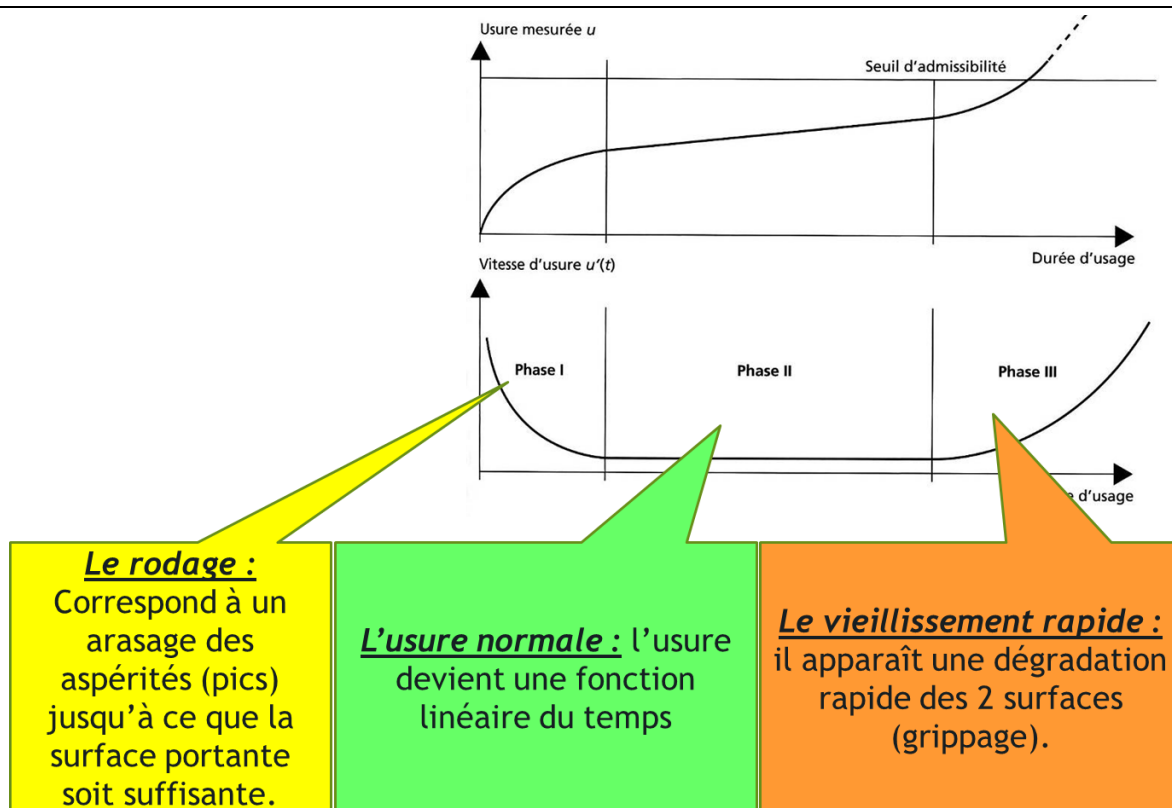
- Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**12 – Défaillance et cycle de vie :**

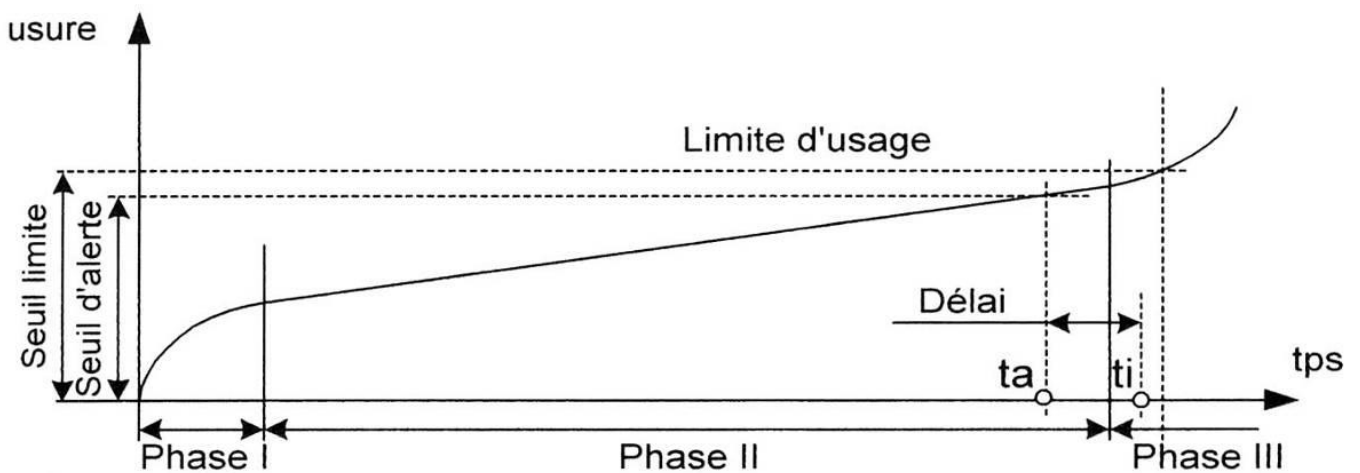
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**13 – Modèles de défaillance :****II – LES MECANISMES D'USURE :**

L'usure est une conséquence du phénomène de « frottement » entraînant une émission de débris avec perte de cotes, de formes et de poids.



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Loi d'usure :

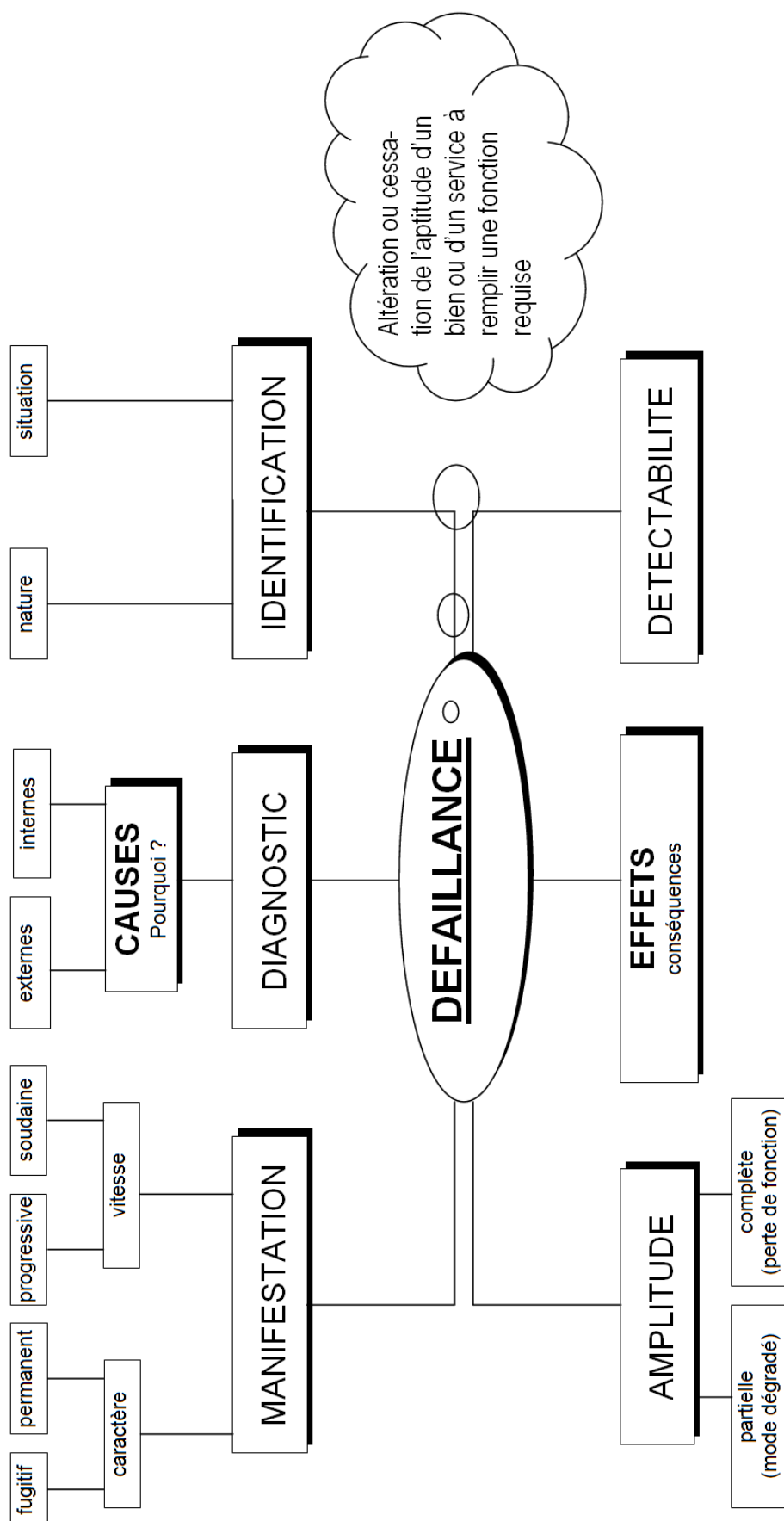


C'est la fonction « paramètres d'usure » = $f(\text{temps})$.

Des relevés, observations et mesurent permettent de tracer une représentation graphique de l'évolution de l'usure.

La connaissance de la loi d'usure, pour un matériel donné, permet par anticipation d'intervenir avant un seuil prédéterminé afin d'éviter une défaillance.

Ce seuil, dit d'alerte et correspondant à « ta », est antérieur au seuil limite d'un temps équivalent au délai nécessaire avant intervention en « ti ». Ces niveaux sont fixés par des critères technologiques ou de sécurité (ex : plaquettes de freins).

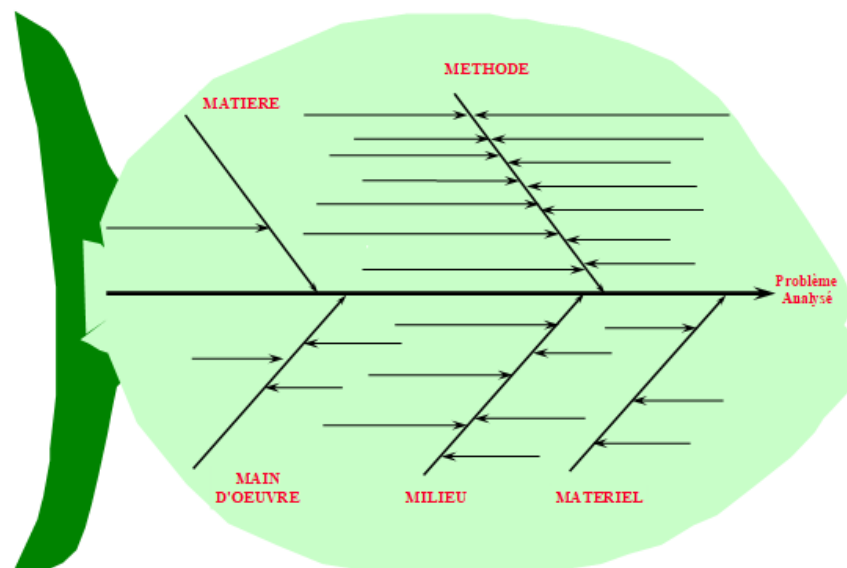
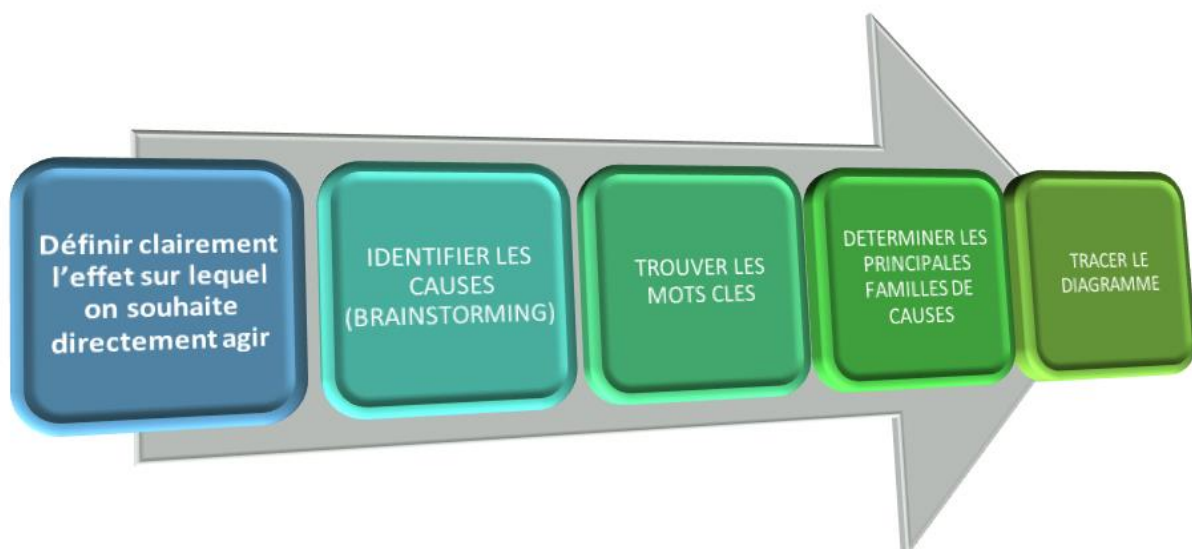
CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**III – CARACTERISTIQUES D'UNE DEFAILLANCE :**

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**IV – LE DIAGRAMME CAUSES / EFFET ou ISHIKAWA :****A quoi sert-il ?**

C'est un outil permettant de visualiser et d'identifier de façon ordonnée les causes possibles d'un effet constaté que l'on cherche à analyser, et donc de déterminer les moyens pour y remédier.

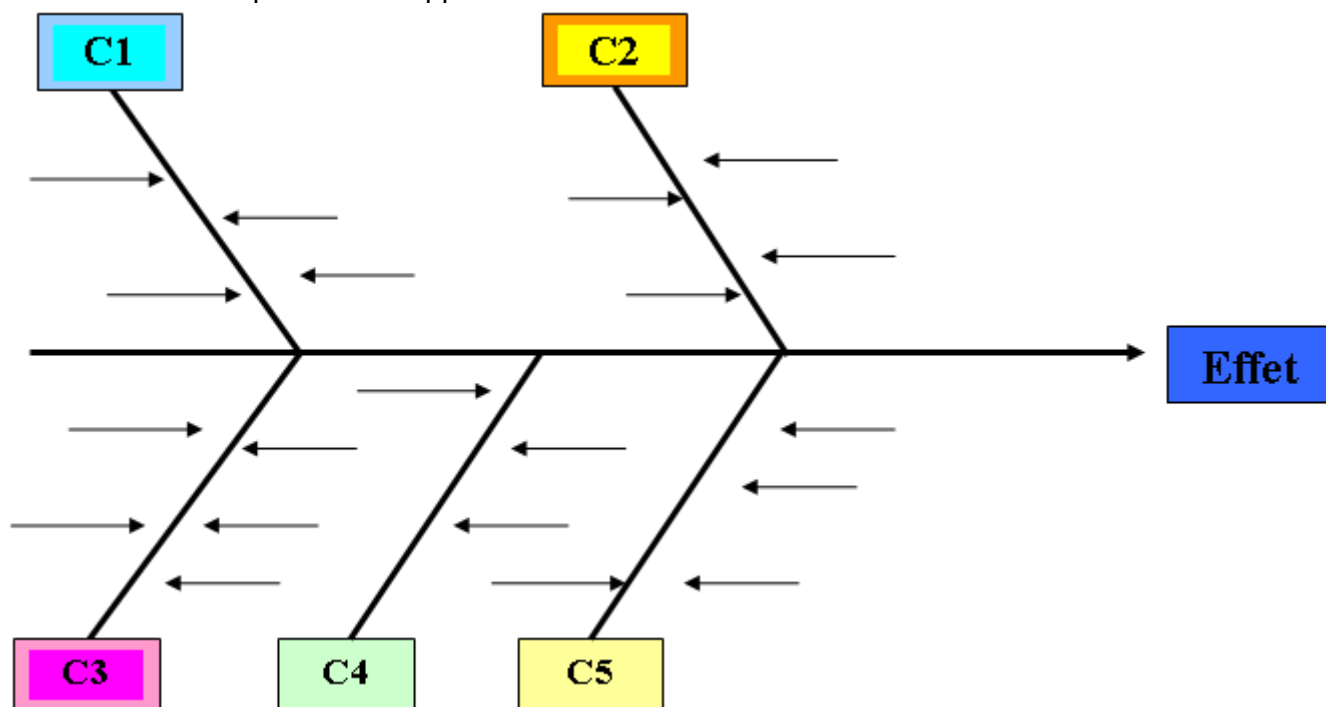
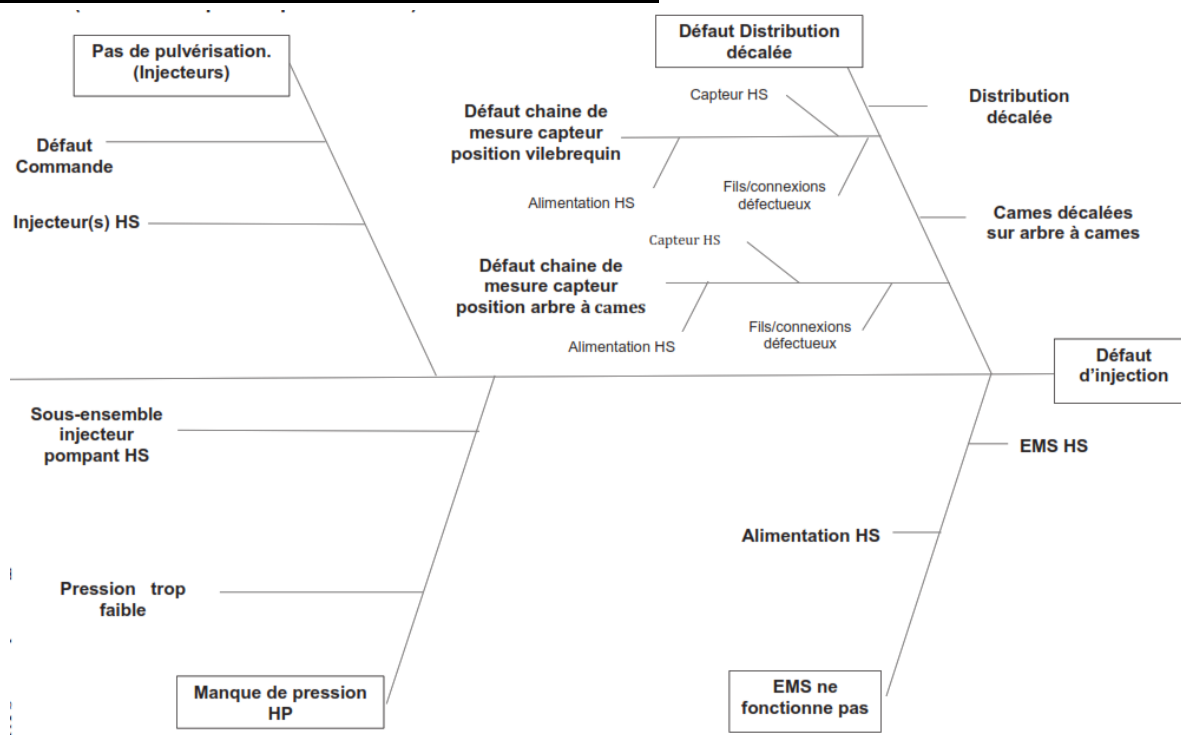
Le diagramme « causes / effet » est aussi appelé diagramme en arête de poisson, arbre des causes ou diagramme d'Ishikawa (du nom de son inventeur : le japonais Kaoru Ishikawa).

Il est utilisé pour les études concernant la maintenance, la fiabilité et la sécurité (méthode AMDEC).

**Forme générale des diagrammes :****Méthode pour étudier un problème :**

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Construction du diagramme :**

1. Placer une flèche horizontalement pointée vers le problème identifié : EFFET.
2. Regrouper les causes potentielles en familles de causes : Causes C1, C2, C3, etc.
3. Tracer les flèches secondaires correspondant au nombre de familles de causes potentielles identifiées, et les raccorder à la flèche principale.
4. Chaque flèche secondaire identifie une des familles de causes potentielles.
5. Inscrire sur des mini flèches, les causes rattachées à chacune des familles. Il faut veiller à ce que toutes les causes potentielles apparaissent.

**Exemple : défaut d'injection dans un moteur thermique**

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**V – TABLEAU CAUSES / EFFETS :**

Le rôle d'un tableau « causes-effets » est d'apporter une aide lors d'un diagnostic en vue de permettre un diagnostic rapide d'un système. Il est bien adapté quand les causes possibles sont peu nombreuses. Ces tableaux sont parfois très longs, à un symptôme pouvant correspondre « n » causes et à chaque causes « m » remèdes.

<i>Conditions ou effets visibles ou symptômes</i>	<i>Causes possibles ou causes présumées</i>	<i>Remèdes ou préconisation</i>
exemple : la broche chauffe	Mauvaise arrivée d'huile	Nettoyer le filtre

Exemple : détérioration des roulements

Origine des détériorations											Détériorations observées
MONTAGE											
X		X		X		X					Manque de soin
		X				X				X	Coups
X	X									X	Défauts logements
X									X	X	Ajustement trop serré
							X				Ajustement trop libre
X											Désalignement
FONCTIONNEMENT											
X											Surcharge
			X								Vibration
	X								X	X	Vitesse excessive
ENVIRONNEMENT											
	X										Température trop basse
									X		Température trop élevée
					X			X			Passage de courant électrique
											Pollution eau
				X							Pollution poussière
LUBRIFICATION											
									X	X	Lubrification inadaptée
X	X									X	Manque de lubrifiant
	X								X		Excès lubrifiant
ECAILLAGE	GRIPPAGE	CAVITES	USURE PAR VIBRATION	USURE	CRATERES	COUPS	ROIILLE DE CONTACT	CORROSION	COLORATION	USURE DE CAGE	

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**EFFETS**

**de défaillance
constatés sur
une machine**

						C1	Clapet d'aspiration non étanche
						C2	Tuyauterie d'aspiration mal isolée
						C3	Débit de détente trop important
						C4	Cloison de séparation défectueuse
						C5	Clapet de bypass défectueux
						C6	Débit de détente insuffisant

C1	C2	C3	C4	C5	C6
----	----	----	----	----	----

Température aspiration	Trop élevée	E1		X			X	X
	Trop basse	E2			X			
Température refoulement	Trop élevée	E3	X	X		X	X	X
	Trop basse	E4			X			

**CAUSES
possibles**

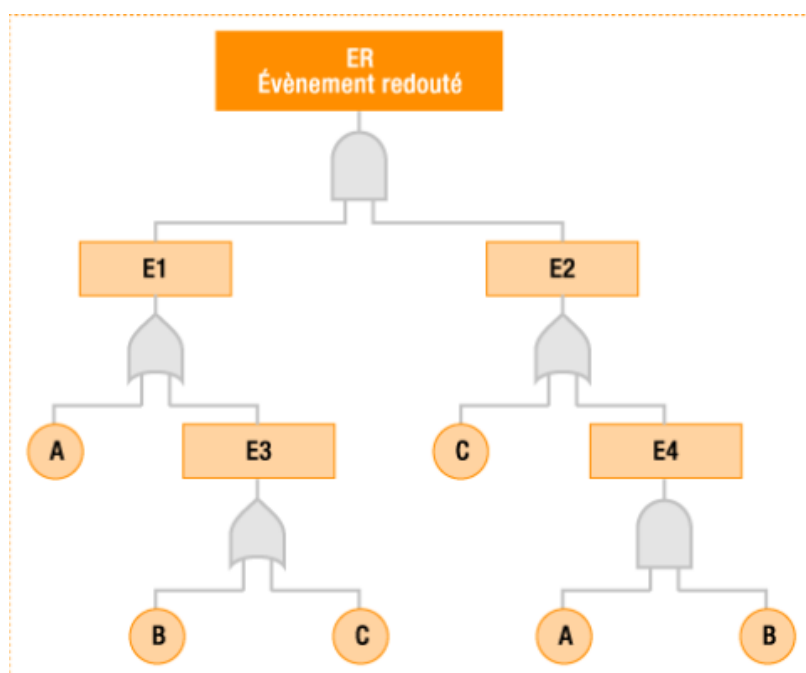
VI – ARBRES DE DEFAILLANCE :

L'arbre de défaillances permet de représenter graphiquement les combinaisons possibles d'événements qui permettent la réalisation d'un événement indésirable prédéfini.

Il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'événements ou combinaisons d'événements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux événements de base susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté.

Ainsi, l'analyse par arbre des défaillances permet d'identifier les successions et les combinaisons d'événements qui conduisent des événements de base jusqu'à l'événement indésirable retenu.

Les liens entre les différents événements identifiés sont réalisés grâce à des portes logiques de type « ET » et « OU ».



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Syntaxe :

Cette méthode utilise une symbolique graphique particulière qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente.

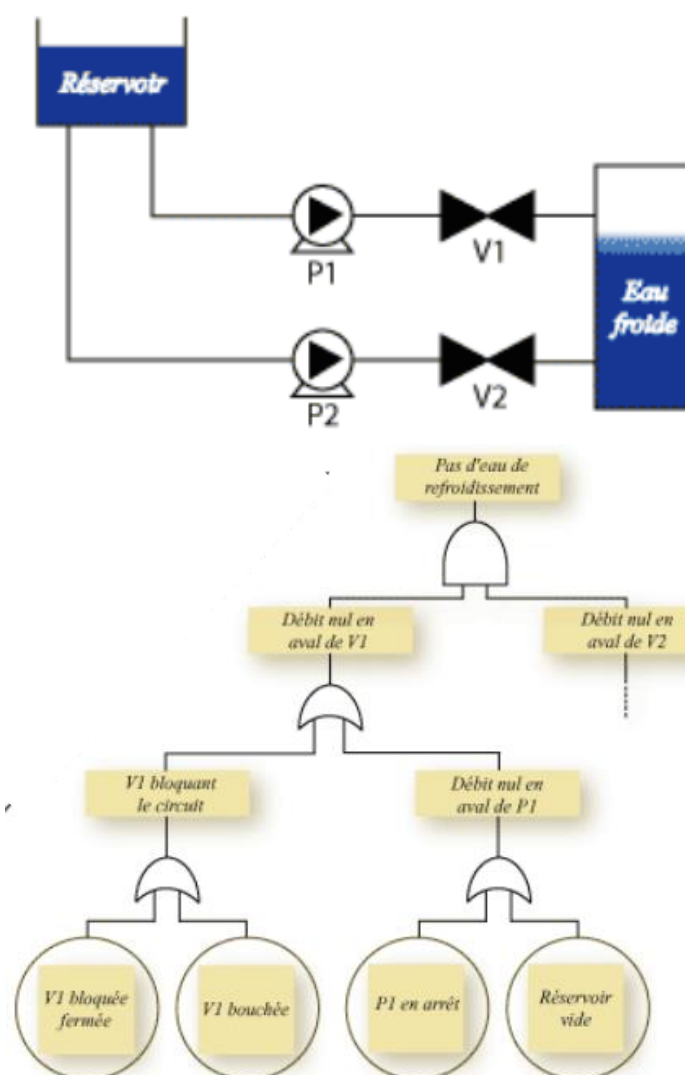
Evènement de base	Evènement neutre	Porte ET	Evènement induit	Connexion
				
(indépendant de tout autre évènement) : c'est le résultat d'une défaillance possible. Il est toujours situé à l'entrée d'une porte logique	Evènement sans conséquence sur la fiabilité du système.	Porte OU 	(ou conséquence) il est la conséquence de plusieurs évènements de base et est toujours situé à la sortie d'une porte logique.	Permet de se connecter à un autre arbre de défaillance.

Exemple :

Evènement redouté: « Pas d'eau de refroidissement »

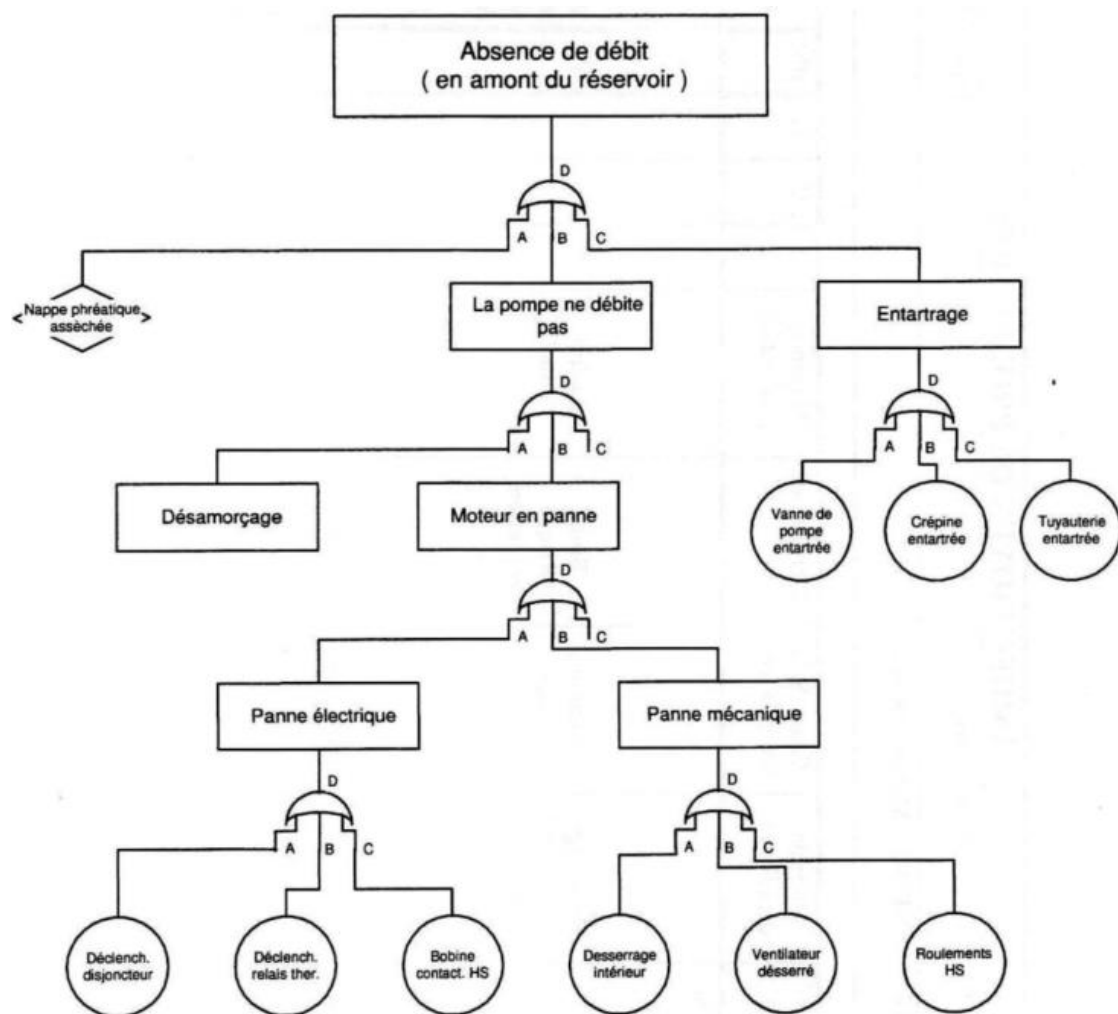
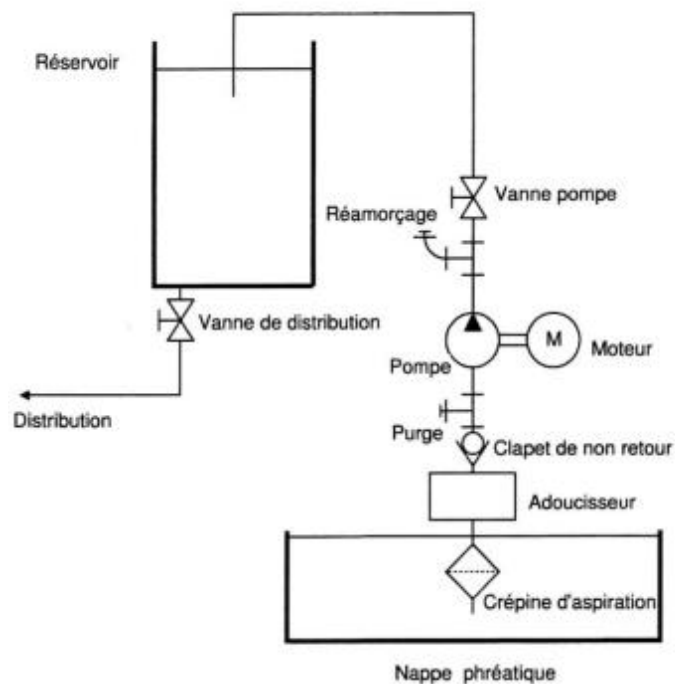
Causes possible :

- Débit nul en aval de V1 **ET** en aval de V2
 - Si débit nul en aval de V1 :
 - V1 bloquée ou Débit nul en aval de P1
 - Si V1 bloquée : V1 fermée ou V1 bouchée
 - Si débit nul en aval de P1 : P1 arrêtée ou Réservoir vide
 - Si débit nul en aval de V2 :
 - V2 bloquée ou Débit nul en aval de P2
 - Si V2 bloquée : V2 fermée ou V2 bouchée
 - Si débit nul en aval de P2 : P2 arrêtée ou Réservoir vide



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCEExemple : Pas de débit en amont du réservoir

SCHEMA HYDRAULIQUE AMELIORE

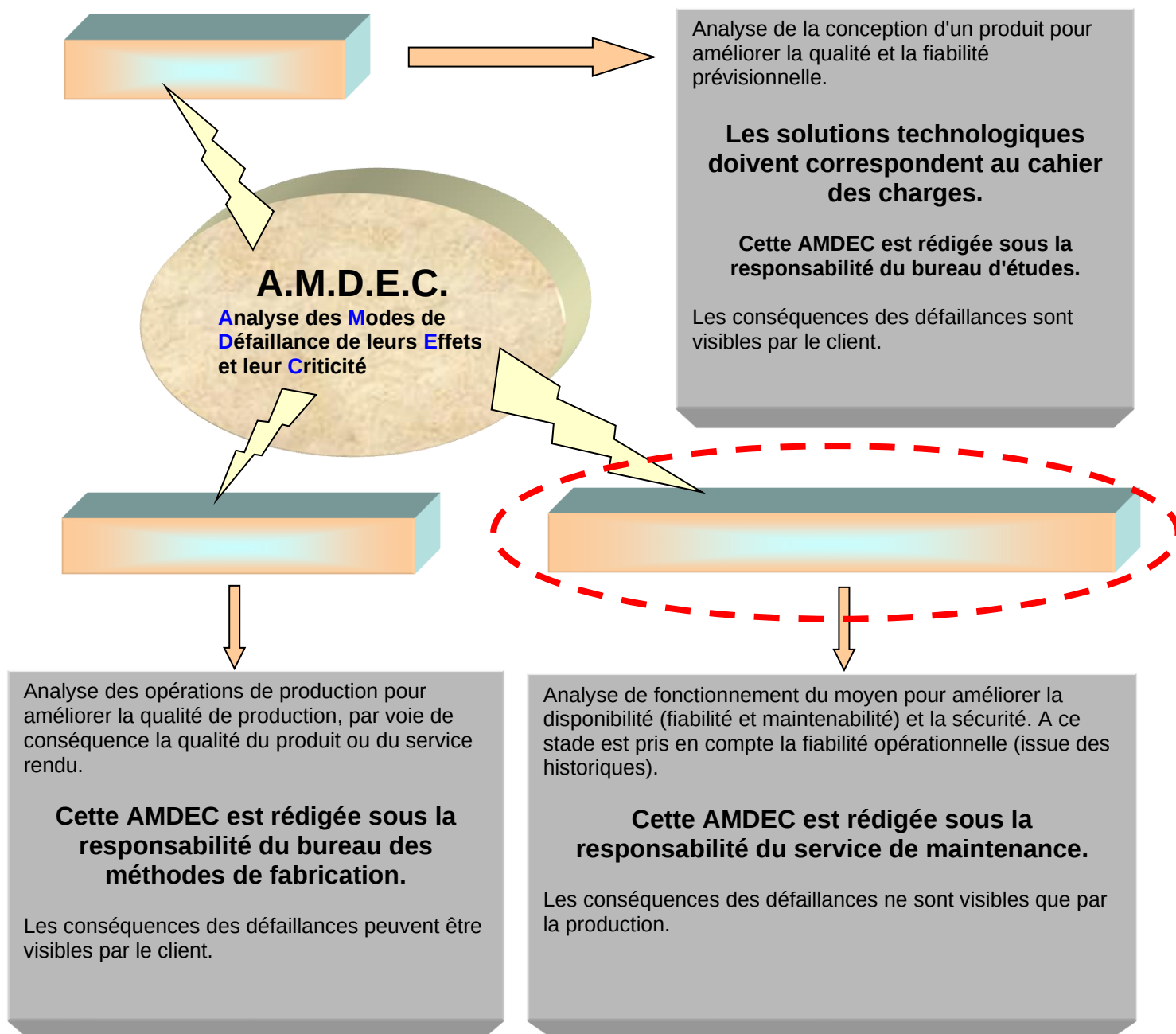


I – DEFINITION :

C'est un outil d'analyse qui permet de construire la qualité des produits fabriqués ou des services rendus et favorise la maîtrise de la fiabilité en vue d'abaisser le coût global. Elle est régie par la norme NF X 60-510. Elle est applicable :

- ⇒ A un produit : AMDEC produit,
- ⇒ A un processus : AMDEC processus,
- ⇒ A un système de production : AMDEC moyen de production.

Nous allons nous intéresser à l'**AMDEC moyen de production ou AMDEC MACHINE**.



L'AMDEC est également un des outils de l'amélioration continue. Les exigences de la norme ISO 9000 portent sur la capacité à s'améliorer de manière continue.

Le PDCA (Plan, Do, Check, Action) est la base de la logique d'amélioration continue. L'AMDEC est un outil d'amélioration continue dans le chapitre de la prévention. La logique d'amélioration continue va reposer sur la répétition à opérer pour mener à bien les AMDEC.

II – OBJECTIFS DE L'AMDEC :OBJECTIF PRINCIPAL :

L'objectif principal est l'obtention d'une **disponibilité maximale**

OBJECTIFS INTERMEDIAIRES :

Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

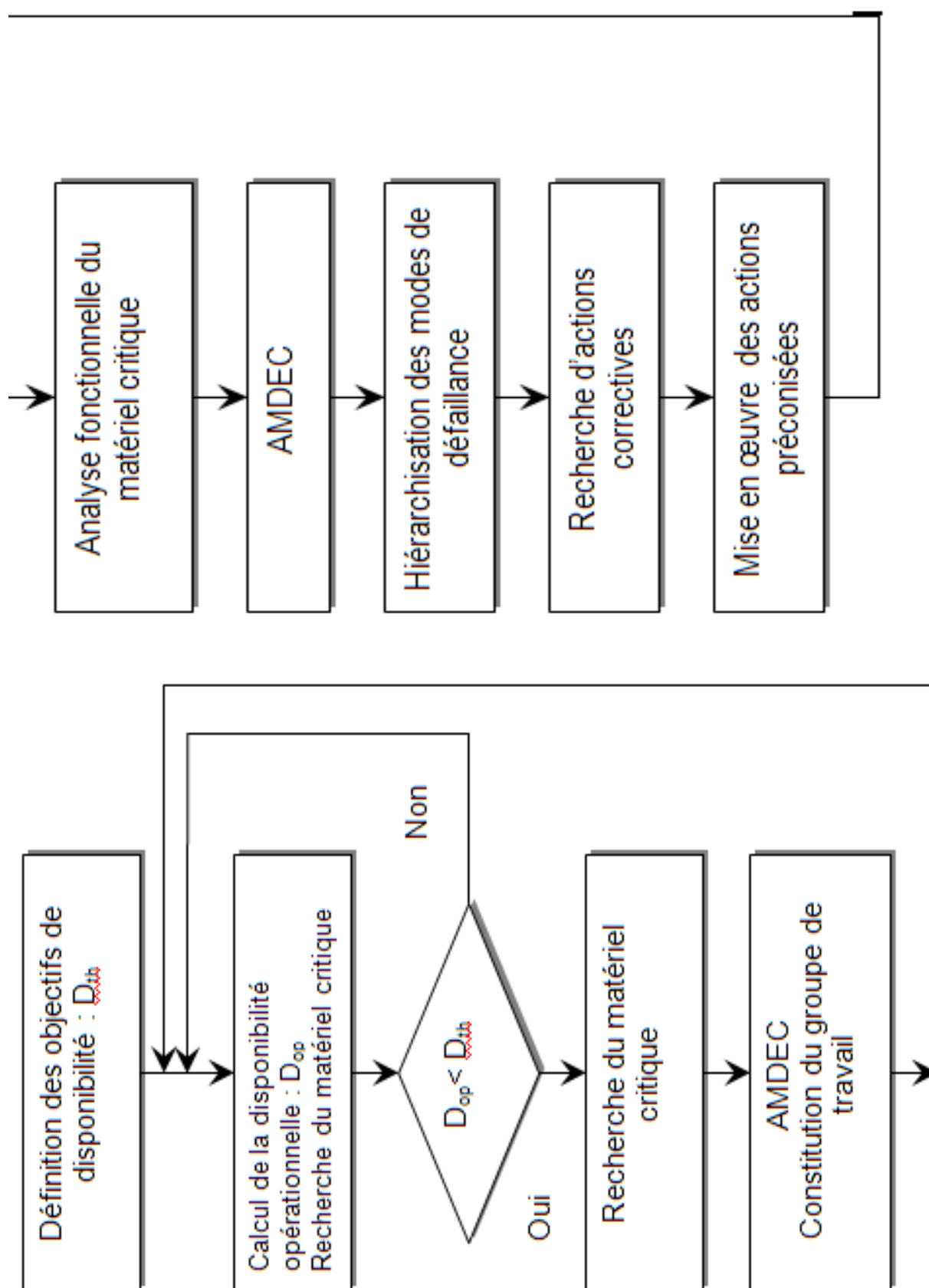
-  Analyser les conséquences des défaillances,
-  Identifier les modes de défaillances,
-  Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection,
-  Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance,
-  Classer les modes de défaillance,
-  Etablir des échelles de signification et de probabilité de défaillance.
-  Remédier à ces défaillances

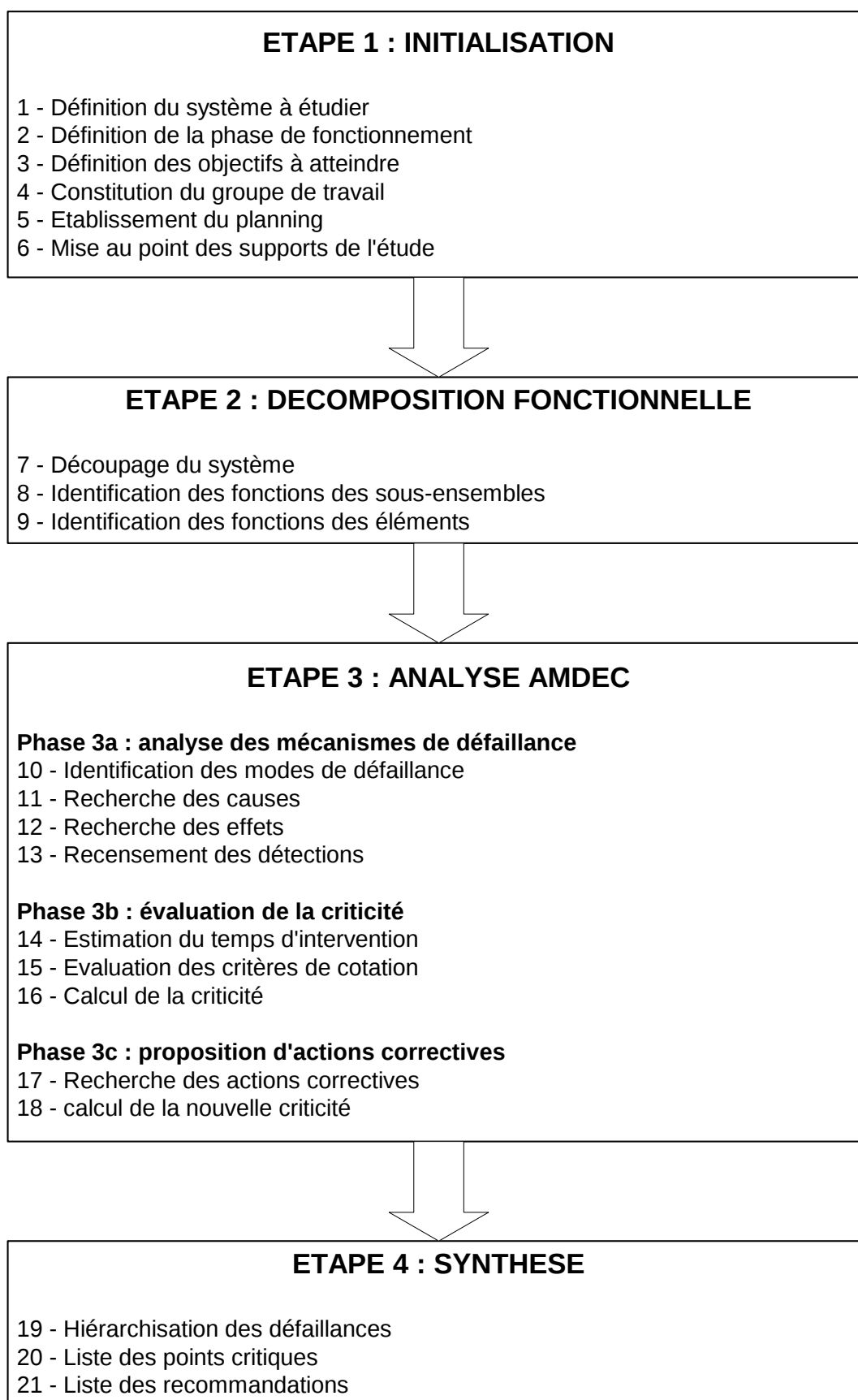
En maintenance, l'objectif de l'AMDEC Machine est d'aboutir à la réalisation de :

**ETABLIR DES PLANS DE MAINTENANCE
PREVENTIVE**

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

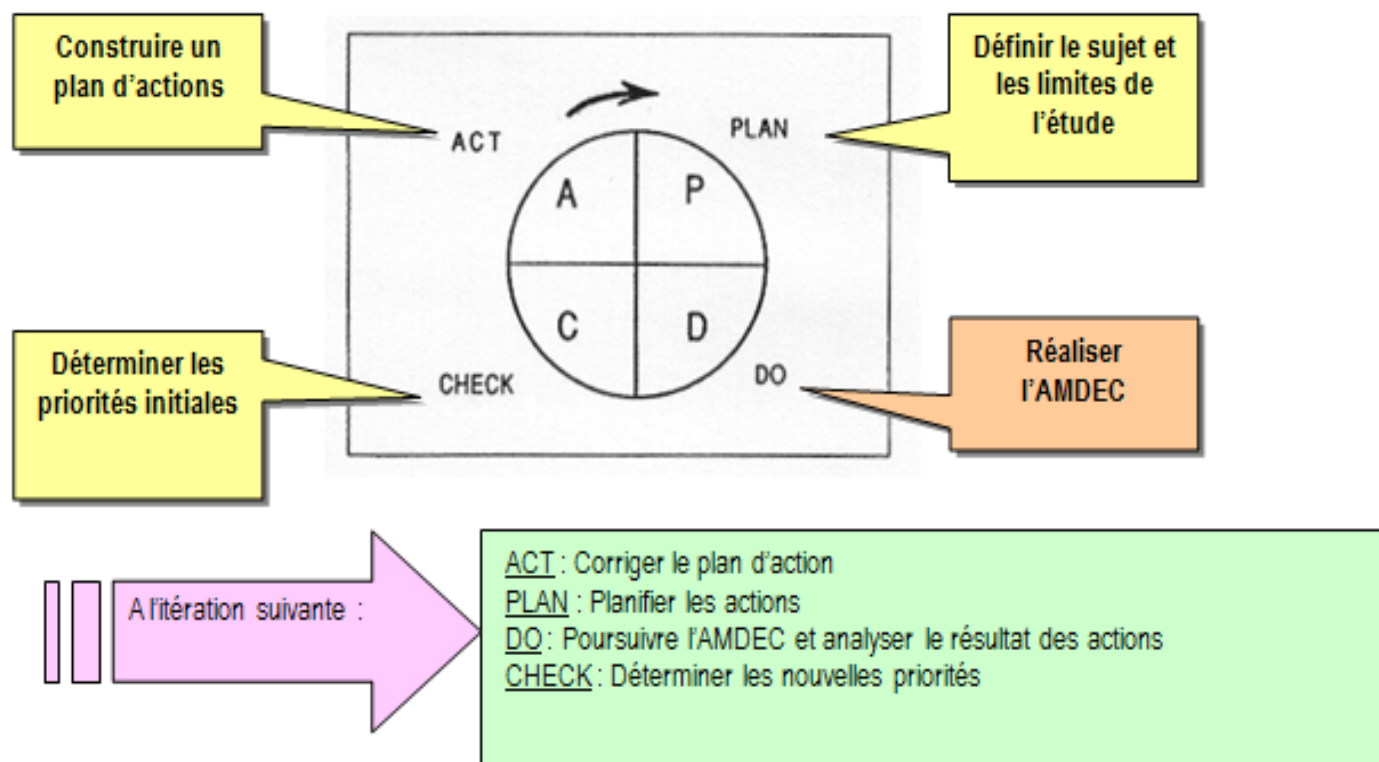
III – AMDEC ET DISPONIBILITE :



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**IV – DEMARCHE DE MISE EN ŒUVRE DE L'AMDEC :**

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**V – POSITION DE L'AMDEC DANS UNE DEMARCHE D'AMELIORATION CONTINUE :**

La pratique de l'AMDEC devra être itérative, car c'est dans la répétition de cette méthode que se fera l'amélioration continue. Une AMDEC devra être poursuivie et complétée, durant le cycle de vie du produit, tant que le procédé évolue.

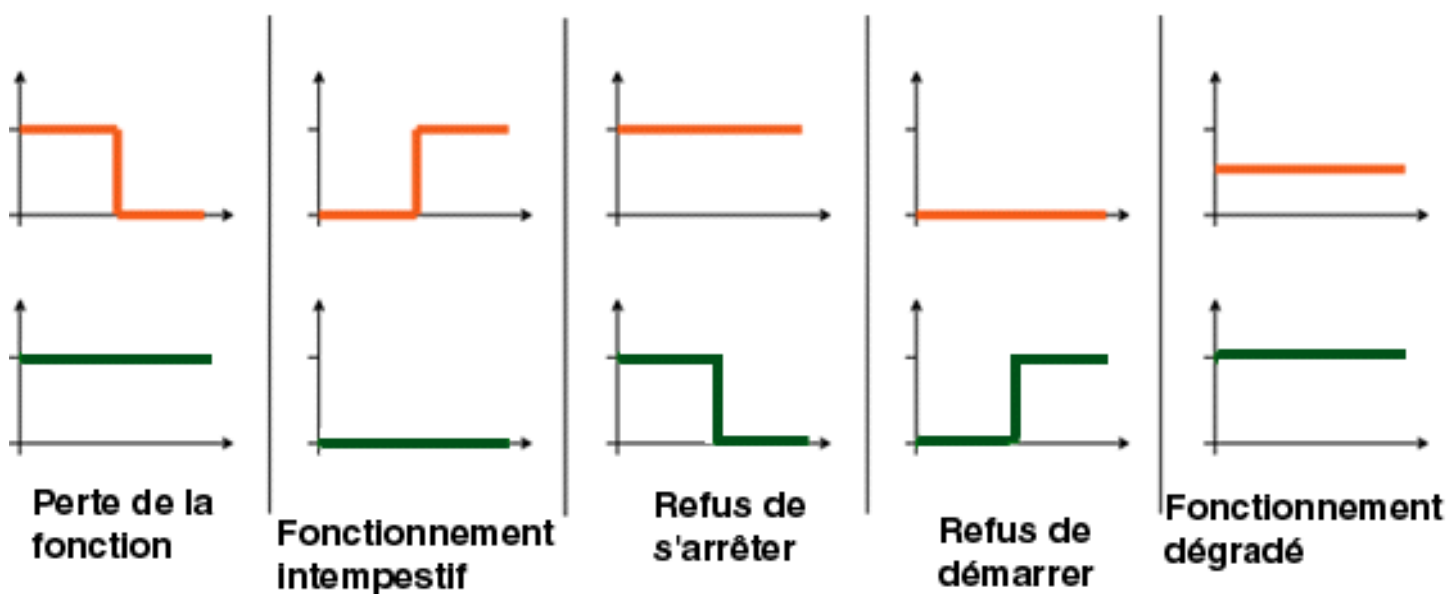
**VI – TERMINOLOGIE DE L'AMDEC :****61 – Modes de défaillance :**

C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner. Ils sont relatifs à la fonction de chaque élément. Une fonction a 4 façons de ne pas être correctement effectuée :

Plus de fonction :	<i>la fonction cesse de se réaliser</i>
Pas de fonction :	<i>la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite</i>
Fonction dégradée :	<i>la fonction ne se réalise pas parfaitement, altération de performances</i>
Fonction intempestive :	<i>la fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée</i>

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Modes de défaillances	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Plus de fonction	- composant défectueux	- composant défectueux - circuit coupé ou bouché	- rupture - blocage, grippage
Pas de fonction	- composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet - connexions débranchées - fils desserrés	- connexions / raccords débranchés	
Fonction dégradée	- dérive des caractéristiques	- mauvaise étanchéité - usure	- désolidarisation - jeu
Fonction intempestive	- perturbations (parasites)	- perturbations (coups de bélier)	

 **Fonction voulue**
 **Défaillance**


CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

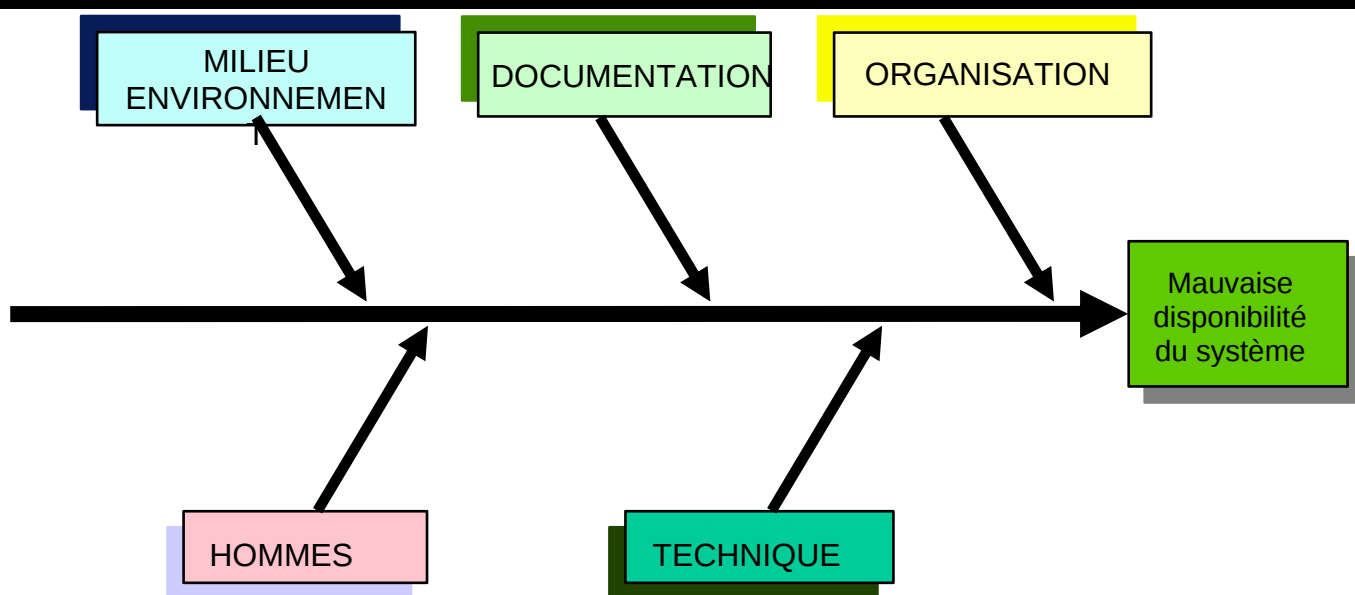
MODES DE DEFAILLANCE GENERIQUES	
1. Défaillance structurelle (rupture) 2. Blocage physique au coincement 3. Vibrations 4. Ne reste pas en position 5. Ne s'ouvre pas 6. Ne se ferme pas 7. Défaillance en position ouverte 8. Défaillance en position fermée 9. Fuite interne 10. Fuite externe 11. Dépasse la limite supérieure tolérée 12. Est en dessous de la limite inférieure 13. Fonctionnement intempestif 14. Fonctionnement intermittent 15. Fonctionnement irrégulier 16. Indication erronée 17. Ecoulement réduit 18. Mise en marche erronée 19. Ne s'arrête pas	20. Ne démarre pas 21. Ne commute pas 22. Fonctionnement prématuré 23. Fonctionnement après le délai prévu (retard) 24. Entrée erronée (augmentation) 25. Entrée erronée (diminution) 26. Sortie erronée (augmentation) 27. Sortie erronée (diminution) 28. Perte de l'entrée 29. Perte de la sortie 30. Court-circuit (électrique) 31. Circuit ouvert (électrique) 32. Fuite (électrique) 33. Autres conditions de défaillance exceptionnelle suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles

62 – Les causes de défaillance :

Il existe 3 types de causes amenant le mode de défaillance :

- ⇒ **Causes internes au matériel**
- ⇒ **Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation,**
- ⇒ **Causes externes dues à la main d'œuvre.**

Causes de défaillance	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Causes internes matériel	- vieillissement - composant HS (mort subite)	- vieillissement - composant HS (mort subite) - colmatage - fuites	- contraintes mécaniques - fatigue mécanique - états de surface
Causes externes milieu exploitation	- pollution (poussière, huile, eau) - chocs - vibrations - échauffement local - parasites - perturbations électromagnétiques, etc.	- température ambiante - pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs, coups de bélier	- température ambiante - pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs
Causes externes Main d'œuvre	- montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation - manque d'énergie	- montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation - manque d'énergie	- conception - fabrication (pour les composants fabriqués) - montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**63 – Effets d’une défaillance :****Effet d’une défaillance**

L’effet d’une défaillance est par définition, une conséquence subie par l’utilisateur. Il est associé au couple (Mode/Cause de défaillance) et correspond à la perception finale de la défaillance par l’utilisateur.

Exemples : Arrêt de la production, détérioration d’équipement, explosion etc.

Détection

Une cause de défaillance étant supposée apparue, le mode de détection est la manière par laquelle un utilisateur (opérateur, ou agent de maintenance) est susceptible de détecter sa présence avant que le mode de défaillance ne se soit produit complètement, c’est-à-dire avant que l’effet de la défaillance ne puisse se produire.

Exemples: détection visuelle, température, odeurs, bruits, vibrations etc.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**VII – CRITICITE D'UNE DEFAILLANCE :**

La criticité est en fait la gravité des conséquences de la défaillance, déterminée par calcul.

Critère F

⇒ **F : Fréquence d'apparition de la défaillance : elle doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultant d'une cause donnée.**

Critère N

⇒ **N : Fréquence de non détection de la défaillance : elle doit représenter la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant que l'effet survienne.**

Critère G

⇒ **G : Gravité des effets de la défaillance : la gravité représente la sévérité relative à l'effet de la défaillance.**

EVALUATION DE CRITICITE

$$C = F \times N \times G$$

EXEMPLE DE GRILLES D'EVALUATION:

FREQUENCE : F		NIVEAU DE CRITICITE	ACTIONS CORRECTIVES A ENGAGER
1	1 défaillance maxi par an		
2	1 défaillance maxi par trimestre	1 ≤ C < 10 Criticité négligeable	Aucune modification de conception Maintenance corrective
3	1 défaillance maxi par mois		
4	1 défaillance maxi par semaine		
NON DETECTION : N			
1	Visite par opérateur	10 ≤ C < 20 Criticité moyenne	Amélioration des performances de l'élément Maintenance préventive systématique
2	Détection aisée par un agent de maintenance		
3	Détection difficile		
4	Indécelable		
GRAVITE (INDISPONIBILITE) : G		20 ≤ C < 40 Criticité élevée	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle / prévisionnelle
1	Pas d'arrêt de la production		
2	Arrêt ≤ 1 heure		
3	1 heure < arrêt ≤ 1 jour		
4	Arrêt > 1 jour	40 ≤ C < 64 Criticité interdite	Remise en cause complète de la conception

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

VII- EXEMPLE D'AMDEC : SYSTEME DE GRAISSAGE CENTRALISE :

Date de l'analyse: 01/12/04	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE					Phase de fonctionnement : Normale		page : 2 / 6	
	Système : Graissage centralisé de MO					Sous - Ensemble : POMPAGE DU LUBRIFIANT		Norm	
	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	F	G	N	C
MOTEUR	Entraîner la pompe	Pas de rotation	Pas d'alimentation	Arrêt machine		1	2	4	8
			Absence de commande	Arrêt machine		1	2	4	8
			Moteur HS	Arrêt machine		1	4	4	16
		Rotation inversée	Erreur de câblage	Arrêt machine		1	2	4	8
CREPINE D'ASPIRATION	Filtrer le lubrifiant	Colmatage		Arrêt machine		1	3	3	9
			Présence d'impuretés au remplissage						
		Mauvais filtrage		Usure pompe		1	2	3	6
			Détérioration crépine						
POMPE	Débiter le lubrifiant sous pression	Pas de débit	Rupture accouplement	Arrêt machine		1	4	4	16
			Casse interne ou blocage	Arrêt machine et détérioration moteur		1	4	4	16
		Débit insuffisant	Usure interne	Arrêt machine	Visuel (manomètre)	1	4	3	12
			Lubrifiant non conforme	Arrêt machine	Visuel (manomètre)	1	4	3	12

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**POURQUOI DES OUTILS D'AIDE AU DIAGNOSTIC ?**

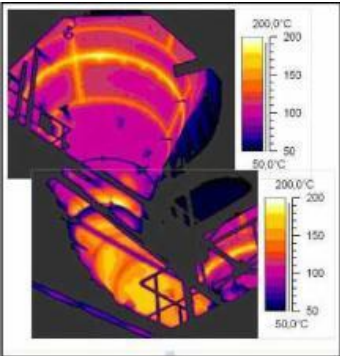
L'objectif principal de ces outils est de permettre, sans arrêter la production, de suivre l'état de bon fonctionnement des installations suivies que ce soit par leur surveillance directe que par le contrôle des produits fabriqués.

Optimiser une maintenance en effectuant la bonne opération au bon moment, suivre l'évolution d'une anomalie que l'on peut caractériser, garantir la qualité des produits fabriqués, voilà ce que l'on peut attendre de ces outils lorsqu'ils sont bien utilisés.

Quelques précautions nécessaires:

- Les installations concernées devront avoir fait l'objet d'une analyse de défaillances aussi fouillée que possible en cernant les risques de défaillance, la gravité de ces dernières et la criticité des installations ;
- Le coût de la mise en œuvre de ces outils doit être comparé avec le coût des défaillances ou des dysfonctionnements engendrés ;
- Les symptômes annonçant une défaillance doivent être identifiés ;
- Dans un certain nombre de cas, le recours à plusieurs outils peut être nécessaire afin d'émettre le bon diagnostic, c'est l'approche multi technique.

LES OUTILS DISPONIBLES :

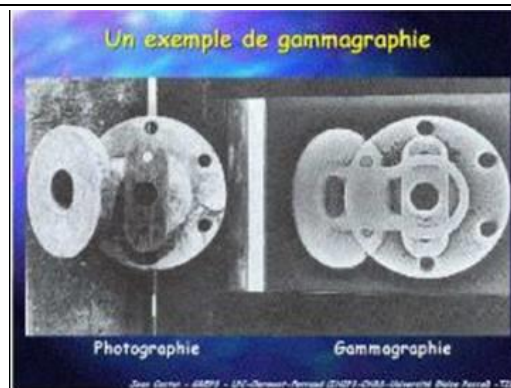
La surveillance vibratoire des machines tournantes qui permet de mettre en évidence balourds, désalignements, défauts de roulements, tourbillons de fluides, déséquilibres électriques et résonances...;	
La thermographie infrarouge qui permet de vérifier les connexions électriques, les déphasages, les roulements, les surchauffes mécaniques, les calorifuges, les défauts internes de certains composants;	
L'endoscopie qui permet de visualiser à distance, sans démontage ;	
L'analyse des huiles qui permet de détecter les pollutions (internes ou externes), les usures (normales ou anormales) de l'équipement et la capacité du lubrifiant à remplir son office;	

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

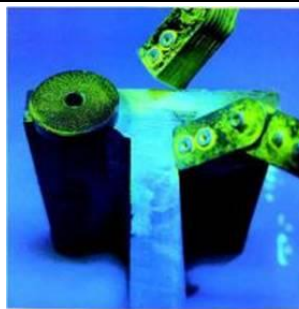
Les ultra-sons qui permettent de détecter les défauts volumiques (soufflures, inclusions de laitier) et les défauts plans lorsqu'ils sont perpendiculaires au faisceau (fissures, manques de fusion...);



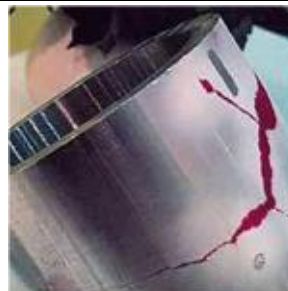
La gammagraphie qui permet de mettre en évidence des défauts inclus;



La magnétoscopie qui permet de déceler des défauts affleurant la surface mais uniquement sur les matériaux ferromagnétiques;



Le ressuage qui permet la recherche de micro défauts en surface;



La détection de fuite qui permet la mise en évidence de défauts microscopiques.



CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

Une tendance nouvelle se dessine dans le domaine des logiciels de surveillance vibratoire qui tendent à proposer des solutions globales de surveillance intégrant l'analyse des huiles, la thermographie infrarouge et d'autres techniques de maintenance prévisionnelle.

Ci-dessous, le pourcentage des techniques utilisées régulièrement ou occasionnellement dans les industries.

<i>Techniques</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Analyse vibratoire</i>	<i>72</i>
<i>Analyse des huiles</i>	<i>75</i>
<i>Thermographie infrarouge</i>	<i>71</i>
<i>Analyse du courant des moteurs électriques</i>	<i>68</i>
<i>Contrôle non destructif par ultrasons (mesure épaisseur)</i>	<i>58</i>
<i>Contrôle non destructif par ressuage</i>	<i>48</i>

ANALYSE VIBRATOIRE

La mise en place d'une maintenance conditionnelle associée à des moyens de surveillance adaptés, exige des choix préalables:

- La sélection des machines tournantes qui feront l'objet de maintenance conditionnelle.
- Leur importance (ou leur criticité) sur des critères de sûreté de fonctionnement, permet de hiérarchiser les choix. Les éventuels redondances et moyens de substitution, associés aux considérations purement économiques sur les coûts directs et indirects, viendront compléter la justification de la sélection.
- La sélection des composants et des défaillances potentielles dont la connaissance par retour d'expérience (historiques) aura permis d'évaluer les risques et leur gravité.
- L'identification des symptômes annonçant la défaillance des composants.
- La méthode de surveillance la mieux adaptée à la politique de maintenance retenue. Nous distinguerons, dans ce cas :
 - Le suivi périodique (off-line) de l'évolution des paramètres vibratoires, souvent accompagné, dans le même temps, de la surveillance d'autres paramètres (analyse de lubrifiant, performances, appréciations sensorielles, etc.). Ceci permet de détecter l'apparition de défauts à évolutions lentes. La périodicité des relevés est variable (entre 2 semaines et 6 mois suivant l'importance et le coût des machines en cause). La fréquence peut être accélérée si les symptômes précoces le justifient.
 - Le suivi continu (on-line) : comme le précédent, il permet de suivre l'évolution de l'ensemble des paramètres ; il présente, en plus, l'avantage de détecter des défauts à évolution rapide et d'assurer la sécurité des installations par déclenchement de la machine à l'approche d'un seuil réputé dangereux.
- La sélection des moyens de mesure qui permettront de suivre les paramètres retenus : les accéléromètres
- L'instrumentation associée : mesureur de vibrations, détecteur de défauts de roulements, collecteur de données vibratoires, collecteurs analyseurs, moniteurs monovoie, moniteurs multivoies, ensembles d'acquisition multi-paramètres, etc.
- La sélection des moyens de traitement associés aux outils d'acquisition

Le choix est complexe : des systèmes d'acquisition et de traitement trop simplistes peuvent s'avérer insuffisants pour prévenir des défaillances graves, alors que des ensembles complexes peuvent s'avérer superflus pour détecter des défaillances bien connues telles que les détériorations de paliers à roulements.

Description succincte des moyens de surveillance périodique (off- line)

Tous les matériels utilisés pour cette fonction sont portatifs ; ils comprennent principalement :

- Les contrôleurs de roulements, destinés, comme leur nom l'indique, à la surveillance de l'état mécanique des roulements à billes et à rouleaux. Leur utilisation se fait en mesures ponctuelles. Ils sont utilisables par des opérateurs mécaniciens non-spécialistes des vibrations.
- Les contrôleurs de roulements et de vibrations, qui comportent, outre la fonction précédente, la possibilité de mesurer l'amplitude globale des vibrations ; certains de ces contrôleurs sont à lecture directe pour mesures ponctuelles, d'autres peuvent être raccordés, en différé, à un PC avec suivi des tendances et mises en alarmes par l'utilisation de logiciels adaptés au suivi des informations recueillies. Ils sont utilisables par des opérateurs mécaniciens non-spécialistes des vibrations mais ayant reçu une formation de base sur les vibrations mécaniques.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

- Les collecteurs contrôleurs de roulements et vibrations, assurent les fonctions précédentes, en général à partir des niveaux globaux de vibrations ; ils permettent en outre, une mémorisation des données et la programmation d'une série de relevés successifs, au cours de tournées ou " routes ". Les données sont déchargées dans un PC dont le logiciel de traitement et d'exploitation permet de suivre l'évolution de l'état mécanique des machines et de choisir des seuils d'alarme pour chaque machine. Ils sont utilisables par des opérateurs mécaniciens ayant une formation sérieuse sur les vibrations.
- Les collecteurs - analyseurs monovoie, avec ou non la possibilité d'entrer une voie de compte tour ; ils permettent de réaliser des tournées de mesures, comme les appareils précédents, mais ils offrent, en plus, des fonctions plus ou moins complètes d'analyses des signaux vibratoires. Les logiciels de traitement et d'exploitation complémentaire de ces signaux, après déchargement dans un PC offrent de nombreuses fonctions de présentation des résultats et facilitent l'élaboration de diagnostics sur l'état mécaniques des machines suivies. Ils sont, également, utilisables pour les équilibrages in situ des rotors de machines. Ces appareils nécessitent une solide formation sur les vibrations des machines ainsi qu'une expérience de plusieurs années pour être utilisés dans de bonnes conditions.
- Les collecteurs - analyseurs bivoies : ces appareils sont, en général, de véritables analyseurs portatifs, programmables pour les tournées de collectes de données ; ils offrent toutes les possibilités des appareils précédents avec des gammes d'analyses encore plus détaillées, utilisant de nombreuses procédures de traitement des signaux. Les logiciels de traitement sur PC de ces signaux fournissent les éléments d'aide au diagnostic pour le suivi de l'état mécanique des machines et l'expertise pour les cas difficiles. Ces appareils nécessitent une solide formation sur les vibrations des machines et le traitement des signaux ainsi qu'une expérience de plusieurs années pour être utilisés de façon optimale.

Description succincte des moyens de surveillance continue (on-line)

La surveillance continue est réalisée à partir de systèmes d'acquisition et de traitement, plus ou moins complexes, dont le ou les capteurs sont montés à poste fixe sur les machines. Les indicateurs associés sont placés dans un local technique ou une salle de contrôle, avec report des informations et des alarmes sur les tableaux ou écrans de conduite de l'installation.

Les matériels disponibles comprennent :

- Les moniteurs monovoie avec mesure du niveau global des vibrations ou surveillance du "bruit" des roulements qui permettent de détecter l'évolution des niveaux vibratoires et acoustiques, indicative de détériorations mécaniques des éléments tournants ou de cavitation. Ils comportent tous plusieurs niveaux d'alarme et de déclenchement, réglables par les utilisateurs. Sont compris, également dans ces systèmes, les dispositifs de télé-mesure vibratoire ou acoustique avec transmission hertzienne des informations (suppression des câblages d'instrumentation).
- Les moniteurs multivoies assurant les mêmes fonctions que les précédents mais sur plusieurs points de mesure et sur plusieurs machines, soit simultanément, soit en multiplexage. Les capacités et performances de ces moniteurs sont analogues, pour une même catégorie, chez les différents fournisseurs, avec des variantes sur les nombres de voies disponibles et certaines formes de présentation des résultats. Ces moniteurs mono ou multivoies sont utilisés pour la surveillance de machines simples (motopompes, moto-ventilateurs, etc.), dont les fonctions sont généralement critiques ou importantes. La simplicité de leurs réglages leur permet d'être utilisés par des opérateurs non spécialistes des vibrations.
- Les systèmes de surveillance multivoies et multifonctions qui couvrent un vaste domaine de performances :
 - suivi des niveaux globaux des vibrations, associé à des analyses spectrales, et logiciels simples de présentation des résultats,
 - surveillance de l'évolution de nombreux paramètres vibratoires et de fonctionnement choisis par les utilisateurs, associée à une présentation détaillée des résultats pour en faciliter l'interprétation.
 - ils peuvent comporter des logiciels d'aide aux diagnostics qui bénéficient souvent de l'expérience des fournisseurs et se perfectionnent au fur et à mesure du retour d'expérience.
- Les systèmes de surveillance les plus complets se justifient pour des machines complexes (multi-arbres), ou de prix élevé, vitales ou critiques, sans redondance, généralement montées sur paliers fluides et équipées de capteurs de déplacement relatif. Des installations regroupant un grand nombre d'équipements vitaux peuvent aussi justifier un tel choix. Pour une exploitation optimale de leurs capacités, ces systèmes exigent des opérateurs compétents en mécanique des vibrations et en utilisation des logiciels de traitement des données. Des stages de formation sont dispensés pour leur perfectionnement.

Notons préalablement que le coût des matériels de surveillance périodique est faible par rapport aux moyens en personnel nécessaires à la mise en œuvre du suivi (constitution des données de base, description des machines, définition des routes, etc.), à la collecte des données et à l'exploitation des résultats, (voir nota 2 ci-après)

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE**Suivi périodique (off-line)**

<i>Les contrôleurs de roulements</i>	<i>< 1,5 k€</i>
<i>Les mesureurs de vibrations et contrôleurs de roulements</i>	<i>2,3 à 3,8 k€</i>
<i>Les collecteurs simples</i>	<i>3,8 à 5,34 k€</i>
<i>(non compris le coût d'un logiciel optionnel d'exploitation)</i>	<i>1,52 à 2,29 k€</i>
<i>Les collecteurs analyseurs</i>	<i>9,15 à 15,24 k€</i>
<i>(intégrant le logiciel de traitement - pratiquement indispensable)</i>	<i>7,62 à 10,67 k€</i>

Suivi continu (on-line)

Les investissements à prévoir pour une installation de surveillance continue des machines varient dans des proportions considérables en fonction du nombre de points de mesures pris en compte et des performances attendues des moyens mis en œuvre.

<i>Surveillance acoustique des roulements par point ou voie de mesure</i>	<i>0,3 à 0,43 k€</i>
<i>Moniteurs mono ou multivoies, par voie</i>	<i>0,9 à 2,3 k€</i>
<i>Systèmes de surveillance, par voie à condition d'utiliser un minimum de 30 à 50 voies de mesure (investissement initial) :</i> <i>pour les petits systèmes</i> <i>pour les gros ensembles</i> <i>pour les grandes unités industrielles avec un coût</i> <i>par voie de mesure toujours voisin de 1,5 k€</i>	<i>0,46 à 15 k€</i> <i>12 à 15,2 k€</i> <i>9,3 à 14 k€</i> <i>> 0,3 M€</i>

Les prix des matériels utilisés à poste fixe correspondent, généralement, à des longueurs limitées de câbles reliant les capteurs à leurs moniteurs : quelques mètres ou dizaines de mètres. Pour des longueurs plus importantes exigeant des passages spécialisés, chemins de câbles, tranchées, le coût d'installation peut s'avérer supérieur au coût du matériel proprement dit.

La part du coût de personnel pour l'exploitation et l'interprétation des résultats des mesures de ces systèmes est plus difficile à chiffrer car, dans le cas général, il s'agit de spécialistes mécaniciens ayant d'autres fonctions dans les usines concernées, et qui ont reçu une formation complémentaire pour cette activité.

Il faut retenir que le coût d'investissement en matériel de mesure et de traitement ne représente qu'une faible part du coût total de la surveillance ; la part de main d'œuvre est prépondérante et de l'ordre de 80 à 90%.

Si le coût de la surveillance périodique paraît élevé en premier lieu, il s'avère après quelques années d'exploitation que les économies réalisées par ces méthodes dépassent largement deux fois ce coût en 2 à 5 ans suivant les cas.

THERMOGRAPHIE INFRAROUGE

La thermographie infrarouge est une technique qui permet de mesurer à distance et sans contact la température d'une scène observée.

La technologie des appareillages qui permettent ce type de mesure évolue sans cesse. La tendance actuelle - en ce qui concerne les caméras infrarouges dédiées à la maintenance - est la mise au point de caméras toujours plus :

- précises/fiables dans les mesures qu'elles permettent d'obtenir ;
- conviviales d'utilisation (notamment en ce qui concerne l'exploitation sur PC des images infrarouges) grâce à la numérisation de l'image, et la sortie de logiciels toujours plus performants ;
- maniables et de faible encombrement, ce gain étant obtenu en partie grâce aux nouveautés concernant les systèmes de refroidissement (ou maintien en température des systèmes).

La mise en place d'une maintenance conditionnelle associée à des moyens de surveillance thermographique procédera, comme précédemment, de façon sélective :

- La sélection des équipements qui feront l'objet de contrôles et suivis par la thermographie infrarouge
 - parmi les installations électriques,
 - parmi les installations dotées de matériaux calorifuges et réfractaires,

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

- parmi les installations dont certaines défaillances se manifestent par des échauffements détectables préventivement par l'outil thermographie infrarouge
- La sélection des composants et des défaillances potentielles dont la connaissance par retour d'expérience des exploitants, fournisseurs, constructeurs, spécialistes, ... aura permis d'évaluer les risques et leur gravité.
- La connaissance des symptômes annonçant la défaillance des composants déjà rencontrée et ayant fait l'objet de retour d'expérience des concepteurs et acteurs aux différents stades du cycle de vie.
- La mise en place de la méthode de surveillance la mieux adaptée et à l'importance des équipements, sachant qu'un contrôle par thermographie infrarouge est quasiment toujours mis en œuvre actuellement dans le cadre de suivis périodiques pour les applications de maintenance.
- La périodicité est le paramètre à fixer, suivant la vitesse connue et/ou estimée de dégradation de l'équipement. Elle est très variable suivant le type d'équipement surveillé. La fréquence peut être accélérée si les symptômes précoces le justifient.
- La sélection des moyens de mesure qui permettront de suivre les paramètres retenus :
 - choix d'un " imageur " ou d'un mesureur thermique,
 - choix du mode de collecte des images infrarouges (enregistrement ponctuel des images ou continu du film du contrôle).
- La sélection des moyens de traitement associés aux outils d'acquisition :
- Dans la majorité des cas, un logiciel spécifique est associé à la caméra infrarouge retenue, et développé par le fabricant de la caméra.

Les appareillages infrarouges comprennent notamment :

- Les thermomètres infrarouges sans contact, destinés à la mesure à distance de la température d'une cible. La taille de cette cible dépend notamment de la distance thermomètre - cible, et du type de laser dont le thermomètre est équipé. Suivant le degré de perfectionnement du thermomètre, il permet ou non réaliser les fonctions suivantes :
 - faire varier l'émissivité,
 - mesurer les températures minima et maxima de la cible visée,
 - enregistrer les températures mesurées...
 - Ils sont utilisables par des opérateurs non-spécialistes de la thermographie infrarouge.
- Les " imageurs " thermiques, destinés à visualiser la température d'une scène observée. Ils ne permettent pas la mesure de températures.
- Les caméras infrarouges de mesure thermique permettent la visualisation et la mesure de la température d'une scène observée. Les images peuvent être enregistrées puis traitées de façon plus approfondies sur PC.

Coût de maintenance annuelle

Les coûts annuels à intégrer sont l'étalonnage des équipements (sauf pour les imageurs thermiques) : de 0,6 à 2,3 k€
La formation des opérateurs est nécessaire et ne doit pas être négligée; il dépend cependant des acteurs à initier ou former, de leur formation de base et de leurs expériences antérieures.

ENDOSCOPIE

L'endoscopie est la technique qui permet de visualiser à distance toute zone d'un équipement à priori non accessible sans démontage par l'introduction d'un appareillage adapté.

La mise en place d'une maintenance conditionnelle associée à des moyens de surveillance endoscopiques procédera, comme précédemment, de façon sélectives :

- La sélection des équipements qui feront l'objet d'inspections périodiques ou ponctuelles par endoscopie:
 - parmi les machines tournantes (moteurs, turbines...),
 - parmi les cavités (ballons, échangeurs...),
- La sélection des composants et des défaillances potentielles dont la connaissance par retour d'expérience des exploitants, fournisseurs, constructeurs, spécialistes, ... aura permis d'évaluer les risques et leur gravité.
- La connaissance des symptômes annonçant la défaillance des composants déjà rencontrée et ayant fait l'objet de retour d'expérience des concepteurs et acteurs aux différents stades du cycle de vie.
- Choix de la méthode de surveillance la mieux adaptée à la politique de maintenance retenue, aux moyens disponibles (financiers et personnels), et à l'importance des machines.

L'endoscopie permet de contrôler et/ou de suivre l'évolution de l'état d'un équipement, par la surveillance visuelle, au cours d'inspections périodiques ou ponctuelles, de zones inaccessibles (sauf démontage important). La plupart des contrôles endoscopiques nécessitent l'arrêt de l'équipement. La fréquence des périodicités peut être accélérée en cas de visualisation d'une anomalie qui ne nécessite pas encore d'intervention corrective.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

La sélection des moyens de mesure qui permettront de réaliser la surveillance choisie doivent respecter les critères suivants :

- l'endoscope : souple ou rigide. Choix de ses caractéristiques (diamètre - longueur...) ;
- le générateur de lumière. Son rôle est de fournir la lumière qui permettra d'éclairer la scène, à l'extrémité de l'endoscope. Le but est d'obtenir la meilleure intensité lumineuse au moindre encombrement et moindre coût.
- La sélection des moyens de traitement associés aux outils d'acquisition : magnétoscope, enregistrement numérique pour traitement informatique ultérieur, appareil photographique...

En fonction des zones auxquelles l'utilisateur voudra pouvoir accéder, les critères suivants devront être examinés :

- les caractéristiques géométriques nécessaires : diamètre, longueur ;
- la direction, l'angle de visualisation ;
- caractéristique de l'objectif qui peut être à vision non directe (jusqu'à 110° pour les endoscopes rigides) ;
- le domaine de visualisation recherché : certains endoscopes peuvent être équipés d'objectifs interchangeables ;
- le milieu dans lequel l'endoscope doit pouvoir être plongé

Le coût d'un endoscope dépend d'abord de son diamètre et de sa longueur. Les gammes de prix qui suivent sont donc données à titre purement indicatif. Deux nombreux autres critères peuvent faire varier les prix de façon importante (béquillage, revêtements spéciaux...).

<i>Les endoscopes rigides</i>	<i>de 1,22 à 4,57 k€</i>
<i>Les endoscopes souples (fibroscopes)</i>	<i>de 1,52 à 30 k€</i>
<i>Les vidéoendoscopes</i>	<i>de 7,7 à 61 k€</i>

A ce coût, il faut ajouter celui d'un générateur de lumière et le coût de la formation des opérateurs. Une formation succincte, donnée dans la plupart des cas par le fournisseur du matériel suffit.

LES ANALYSES D'HUILE

D'une manière générale, tous les mécanismes lubrifiés, à la condition que le graissage ne se fasse à fond perdu, sont susceptibles d'être surveillés dans leur fonctionnement par analyse de leur lubrifiant en service.

Les résultats permettent de détecter des anomalies caractéristiques telles que :

- la contamination par des particules internes à l'équipement
- l'évolution par comparaison des résultats obtenus à chaque analyse
- le type d'usure
- la pollution par des agents extérieurs

Equipements concernés par l'analyse d'huile :

- Les transports des personnes, des marchandises et ferroviaire.
- Les industries (moteurs, réducteurs, les compresseurs, les systèmes hydrauliques)
- Le matériel agricole,
- La marine, l'aviation...

Composants et défaillances :

- Sur moteur thermique : problèmes d'étanchéité de la filtration d'air, infiltration de liquide de refroidissement
- Sur multiplicateurs, réducteurs et engrenages : mauvais état d'un roulement ou d'un palier, transmission défectueuse (engrenages endommagés)...
- Sur les systèmes hydrauliques : pollution interne telle que la cavitation, défaut d'étanchéité, défaut de filtration ...
- La connaissance des symptômes de dégradation et de contamination des lubrifiants annonce l'altération des caractéristiques physiques des huiles (performances en tant que lubrifiant).

Mise en place de la méthode

Sur site industriel :

- Par prélèvement d'échantillons et examens visuels (transparence, couleur, dépôts) des lubrifiants en service.
- Par un suivi continu de l'évolution des paramètres techniques tels que les schémas, température, débit, pression de fonctionnement et les historiques des vidanges et appoints d'huile, des opérations en maintenance corrective et des anomalies de fonctionnement pour chaque machine.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

En laboratoire :

- Par analyses physico-chimiques évaluant la qualité lubrifiante de l'huile, par la détermination de la teneur en produits d'usure, par examen microscopique et comptage de particules en suspension dans l'huile. L'interprétation de certains résultats de mesure est souvent délicate notamment parce que l'évolution, jugée anormale, d'un élément de l'analyse peut avoir plusieurs causes, mais, grâce à une meilleure connaissance des phénomènes d'usure et de dégradation des matériaux ainsi qu'au développement de nouvelles technologies assistées de l'aide apportée par l'informatique, la maintenance conditionnelle par l'analyse des huiles représentera un outil de progrès à la disposition des responsables de service maintenance. Des plans d'analyses sont préétablis par les laboratoires (plan d'analyse moteur, engrenages sous carters, etc.).

Description succincte des différents moyens d'analyse :

- Analyses physico-chimiques
 - La viscosité est essentielle puisqu'en comparaison avec celle du lubrifiant usagé permet de vérifier ses propriétés d'écoulement mais aussi son éventuel dilution par du carburant. Selon la norme NF T 60-100, il faut mesurer le temps d'écoulement d'une quantité de lubrifiant à travers un capillaire pourvu de deux repères déterminant une constante et ce, à une température donnée.
 - L'indice de viscosité (VI) caractérise le comportement de la viscosité en fonction de la température. Pour analyser l'huile donnée, on choisit deux huiles de référence, une huile 0 et une huile 100 ayant même viscosité à 10013 que l'huile à caractériser puis on compare leur viscosité cinématique à 4010.
 - Recherche et dosage de l'eau par Aquatest ou par la méthode du réactif Karl Fischer selon la norme ASTM D-1744-64 ou par chromatographie en phase gazeuse (CPG), permettront de déterminer de la teneur en eau (pourcentage d'eau) contenu dans un volume donné d'huile en service.
 - Mesure du point éclair en vase clos selon la norme NF T 60-118 à l'aide de l'appareil Pensky Martens, permet d'estimer le niveau de dilution par le combustible d'un lubrifiant usagé.
 - Essai à la tâche : permet l'analyse photométrique de la tâche en évaluant le pouvoir dispersant résiduel (mérite dispersif) d'une huile usagée et la concentration des résidus insolubles de la combustion, et en évaluant le démérite pondéré (DP) de la tâche d'huile, notion représentant une combinaison du manque de dispersion de l'huile et la pollution par des produits insolubles.
 - Indice d'Acide Total (T.A.N.) : est utilisé pour des lubrifiants dont le temps de service est élevé et permet de vérifier le niveau d'acidité du lubrifiant, de déterminer l'oxydation de l'huile, la présence de contaminants et la dépréciation des additifs. Il est mesuré suivant les normes : NF T 60-112 et ASTM D664. Dans le cas où l'acidité deviendrait trop importante et donc corrosive, l'indice d'acidité total devient un déclencheur de vidange.
 - Indice de Base Total (T.B.N.) : permet de vérifier la réserve d'alcalinité de l'huile selon norme ASTM D 2896. Ce contrôle permet d'apprécier la faculté du produit à rester en service et de vérifier l'aptitude du lubrifiant à neutraliser l'acidité contenue dans l'huile devenant corrosif pour les éléments métalliques de l'organe lubrifié.
- Analyses spectrométriques
 - Analyse spectrométrique à émission optique : permet de déterminer de manière rapide les concentrations, exprimées en ppm (particules par million) en masse, des différents éléments présents dans les huiles, soit sous forme d'additifs tels que le calcium (Ca) ou le Magnésium (Mg) ; sous forme de particules d'usure métalliques comme le fer (Fe), le nickel (Ni), le chrome (Cr), l'étain (Sn), le cuivre (Cu) ou l'aluminium (Al), ou des contaminants solide divers (poussières atmosphériques, silicone, etc.).
- Analyse spectrométrique à absorption : sert à déterminer la structure chimique générale d'un corps ou d'un mélange de corps ainsi que la concentration dans le mélange des composés à l'aide d'un rayonnement infra-rouge. La spectrométrie d'absorption permet d'identifier la nature des hydrocarbure de l'huile de base, la nature des additifs et de suivre leur état par une analyse différentielle « huile neuve/huile en service ».
- Pollution gravimétrique : cette méthode est principalement utilisée pour le contrôle des fluides dont la contamination particulière est élevée (fluides de lubrification et hydraulique générale sans exigence particulière de propreté). Elle renseigne sur le niveau de contamination globale d'un fluide, et fournit par conséquent des informations sur la propreté du circuit
- Comptage de particules : surveillance des dimensions et des quantités de particules contaminantes solides dans les huiles hydrauliques. Le niveau de propreté ou de contamination est établi selon le code ISO 4406. Si l'échantillon contient plus de 300 ppm d'eau (c'est-à-dire l'équivalent de 0,3% d'eau présent dans l'échantillon), ce test ne peut être effectué adéquatement. Les méthodes employées (en laboratoire) sont les comptages au microscope et automatique.

CONCEPTS ET STRATEGIES DE MAINTENANCE

- Analyses ferrographiques :
 - Analyse ferrographique quantitative (ou à lecture directe) : permet de déterminer des quantités relatives de petites et grosses particules ferreuses pour indiquer tout changement dans le taux et la sévérité de l'usure dans les roulements à éléments rotatifs et les réducteurs à engrenages.
 - Analyse ferrographique analytique : procédure de diagnostic très avancé pour détecter les grosses particules jusqu'à 100 microns. L'examen microscopique des particules d'usure, des contaminants et des produits de dégradation par oxydation en suspension dans un échantillon représentatif d'huile usée, informe sur l'évolution du mode d'usure en place. Elle est utilisée pour effectuer une étude approfondie des particules contaminantes lorsque la ferrographie à lecture directe indique une usure importante ou anormale. Egalement utilisée pour les systèmes hydrauliques complexes.

- paramètres de base (viscosité, % d'eau, métaux, usure) :	30 €
- programme d'analyse complet pour industriels (dégressivité possible) :	45 à 75 €
- analyses spécifiques en laboratoire :	75 à 150 €