



Ce chapitre est le deuxième, d'une série de trois, consacré à ce que l'on appelle en maintenance le concept « FMD » ; c'est à dire **FIABILITE**, **MAINTENABILITE** et **DISPONIBILITE**.

Les objectifs de ce chapitre seront de déterminer les indicateurs de maintenabilité d'un bien pour ensuite proposer des axes de solutions visant à en améliorer sa maintenabilité.

1. DEFINITION

« Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits » NF EN 13306

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.

La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

Facteurs liés à l' EQUIPEMENT	Facteurs liés au CONSTRUCTEUR	Facteurs liés à la MAINTENANCE
- documentation - aptitude au démontage - facilité d'utilisation	- conception - qualité du service après-vente - facilité d'obtention 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 :

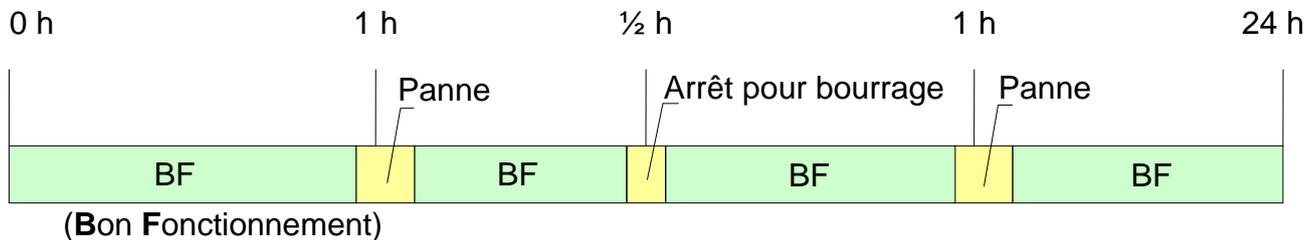
- Développant les documents d'aide à l'intervention
- Améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher)
- Améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

2. CALCUL DE LA MAINTENABILITE

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 : Fonctionnement d'un équipement sur 24 heures :



MTTR :

Taux de réparation μ : Il est égal à l'unité de temps sur la MTTR : $\mu = \frac{1}{MTTR}$



3. CONSEQUENCES

La maintenabilité est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

On notera $M(t)$ la fonction maintenabilité, TTR les durées d'intervention et MTTR la moyenne de ces durées.

Commentaires :

- Probabilité de rétablir = $P(TTR < t)$ = Probabilité (pour qu'un système en panne à $t=0$ soit rétabli à t).
- Conditions de fonctionnement : elles impliquent la mesure d'un niveau de bon fonctionnement après intervention
- Limite de temps : elle implique la définition d'un « temps prévu » associé à un délai t .
- Maintenance définie : la durée d'intervention n' a de sens que par rapport aux moyens mis en œuvre (procédures, personnels, logistique).

A partir de ces définitions, on distingue :

- **La maintenabilité intrinsèque** : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc).
- **La maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- **La maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité).

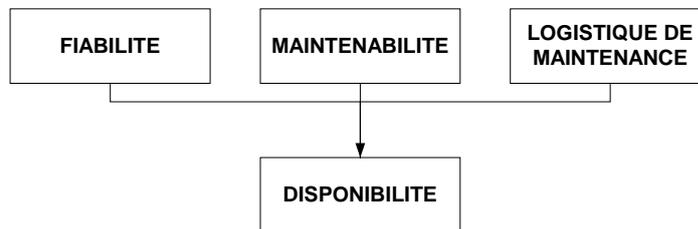
Maintenabilité et maintenance :

Pour un technicien de maintenance, la maintenabilité est la capacité d'un équipement à être rétabli lorsqu'un besoin de maintenance apparaît. L'idée de « facilité de maintenir » se matérialise par des mesures réalisées à partir des durées d'intervention.

Il est évident que la maintenabilité intrinsèque est le facteur primordial pour que la maintenance soit performante sur le terrain. En effet, une amélioration ultérieure de la maintenabilité initiale n'est jamais chose facile.

Il est donc indispensable que la maintenance sache définir ses besoins et les intégrer au cahier des charges d'un équipement nouveau afin que celui-ci puisse être facilement maintenable.

Maintenabilité et disponibilité :



Le schéma ci-dessus rappelle les composantes de la disponibilité d'un équipement. Il met en évidence :

- Que la maintenabilité est un des leviers d'action pour améliorer la disponibilité et donc la productivité d'un équipement.
- Que la fiabilité et la maintenabilité sont 2 notions parallèles de même importance (et dont les démarches d'analyse sont semblables).



4. CONSTRUCTION DE LA MAINTENABILITE INTRINSEQUE

La construction de cette maintenabilité doit prendre en compte un certain nombre de critères listés en pages suivantes et intégrés dès la phase de conception d'un nouvel équipement.

4.1 Modularité et interchangeabilité :

La conception modulaire d'un équipement repose sur l'idée de la simplification de sa fabrication, mais aussi de la simplification de sa maintenance grâce à l'interchangeabilité des modules.

Sont interchangeables 2 composants, 2 modules ou 2 équipements pouvant être remplacés l'un par l'autre pour assurer la même fonction. En maintenance, c'est souvent au niveau de la dépose d'un sous-ensemble que va s'exercer l'action corrective, préventive ou de diagnostic.

La facilité de l'interchangeabilité (carte électronique par exemple) est un facteur favorisant le transfert de tâches vers les opérateurs, dans le cas de la TPM. Le module de remplacement peut provenir

- d'un stock interne (module neuf ou remis en stock après réparation) ;
- d'un stock externe (module ou composant tenu en stock chez le fournisseur) ;
- du bien lui-même (par échange de deux éléments constitutifs, redondance) ;
- d'un bien identique hors service ou déclassé (cannibalisation) ;
- d'un bien différent comportant le même module ;
- d'un atelier de fabrication. Dans le cas d'un composant, il doit être fabriqué dans le respect des spécifications et des tolérances normalisées (joint d'étanchéité, coussinet de palier, etc).

Cela offre une gamme large de solutions pour organiser une intervention. L'interchangeabilité suppose le respect des normes (ajustements, filetages, produits, lubrifiants, raccords, connexions, etc). Se méfier des solutions innovantes mais exotiques !

4.2 Standardisation :

Elle vise à la simplification par réduction aussi bien en matière de fabrication que de logistique et de maintenance. En maintenance, elle s'exerce à tous les niveaux techniques et commerciaux, en permettant la réduction des stocks aussi bien que la rapidité et la simplicité des interventions. Prenons quelques exemples :

- Les équipements : il est plus facile de maintenir 10 machines de même type que de types différents.
- Les technologies : il est plus facile de se tenir à un modèle d'automate et de former les techniciens à sa programmation que de multiplier les formations.
- Les modules : utiliser 20 moteurs électriques ou 20 pompes centrifuges identiques offre plus de facilité d'organisation de la maintenance que s'ils étaient tous différents.
- Les outillages : démonter tout un module avec une clé de 13 est plus simple que d'avoir à inventorier toute sa caisse à outils.
- Les composants élémentaires : quincaillerie, visserie, graisseurs, robinets, trappes de visites, interrupteurs sont autant d'éléments qu'il est facile de standardiser.
- Les lubrifiants et leur fournisseur : ne pas suivre les préconisations par références de marque, qui conduiraient à une profusion de fûts. Il existe des tableaux d'équivalence et il suffit de 5 types d'huile et de 2 types de graisse pour assurer la lubrification d'un site industriel.
- Les procédures : standardiser leur présentation facilite l'exploitation.
- Les fournisseurs : un équilibre est à trouver entre le monopole accordé à un fournisseur privilégié et la multiplication des sources.

Notons que la normalisation est un outil de standardisation, qui elle-même facilite l'interchangeabilité.

4.3 Accessibilité :

Elle est caractérisée par la rapidité avec laquelle un élément peut être atteint. Elle doit être d'autant mieux maîtrisée que la fréquence probable des opérations de maintenance est grande. C'est le cas des filtres, des graisseurs, des points de réglage, de mesure, de surveillance, etc.

Dans certains cas, l'accessibilité peut être définie sur des bases réglementaires touchant à la sécurité (exemple : échafaudage) ou ergonomiques (dimensions de l'ouverture d'un « trou d'homme » ou d'une trappe de visite).



4.3 Aptitude à la pose et à la dépose :

Elle concerne les modules qui nécessitent un échange standard en préventif ou en cas de défaillance. Elle concerne les liaisons à supprimer pour isoler le module de son ensemble.

Prenons l'exemple d'un groupe moteur électrique / pompe centrifuge : la dépose se rapporte à l'électricité (consignation, accès au bornier, connectique), à l'hydraulique (vannes d'isolement, vidange, boulonnerie des brides), à la mécanique (boulonnerie de la fixation). Des solutions plus ou moins rapides existent pour faciliter chacune de ces opérations de maintenance. Quelques problèmes à optimiser pour améliorer l'aptitude à la pose / dépose

- réduction du nombre de liaisons ;
- réduction du nombre d'outils à utiliser (standardisation des liaisons) ;
- assurer un pré positionnement à la pose : repères, tétons de centrage, rails de guidage, détrompeurs ;
- absence de réglages, préférable à des réglages longs et délicats ;
- facilité d'accès.

Notons que l'interchangeabilité d'un module se fait souvent en « temps réel » d'indisponibilité de l'équipement, contrairement à sa remise en état réalisée en temps différé. Son aptitude à la dépose est donc un facteur de disponibilité de l'équipement.

4.5 Démontabilité :

Elle concerne l'accès plus ou moins facile et plus ou moins rapide à des composants potentiellement « fragiles » et inaccessibles lorsque le sous-ensemble est monté. Elle se caractérise par des manœuvres rapides (portes de visites et capots avec verrous et charnières) demandant un minimum d'outils standards et facilitées par une documentation efficace (perspective éclatée montrant le fractionnement des éléments).

4.6 Détectabilité :

Elle concerne la réduction des temps de localisation et de diagnostic, principalement pour les PC des équipements. Un logiciel de recherche et de localisation des défauts, les outils d'aide au diagnostic, une supervision, mais aussi un simple voyant ou le repérage des câbles et des points de mesure sont autant d'éléments de réduction des temps d'investigation. La réalisation d'une AMDEC amène le concepteur à évaluer le critère « détectabilité » et à proposer des solutions si nécessaire.

4.7 Autres critères de maintenabilité :

Tout ce qui peut être intégré à la conception d'un équipement afin de faciliter sa maintenance ultérieure est un critère de maintenabilité. Il en est ainsi pour l'installation de compteurs d'unités d'usage, pour les taraudages permettant la fixation d'un accéléromètre de surveillance vibratoire, pour le repérage visuel des graisseurs, pour la présence d'un anneau d'élingage sur le bâti, etc.

- le soutien logistique accompagnant l'équipement est également un critère de maintenabilité. Quelques exemples :
- la possibilité de dépannage par téléphone (télémaintenance) ;
- la formation des techniciens aux interventions correctives probables ;
- l'obtention rapide de pièces de rechange sans ambiguïté de références ;
- le sérieux, la pérennité et la proximité du SAV

La logistique de maintenance est distincte de la maintenabilité. Beaucoup d'éléments de la logistique de maintenance convergent avec les éléments de maintenabilité intrinsèque afin de réduire les temps d'intervention et les coûts d'indisponibilité des équipements industriels. Citons en particulier :

- la qualité de la documentation technique (DTE),
- la disponibilité des rechanges en stock interne,
- l'efficacité des moyens mis à disposition.



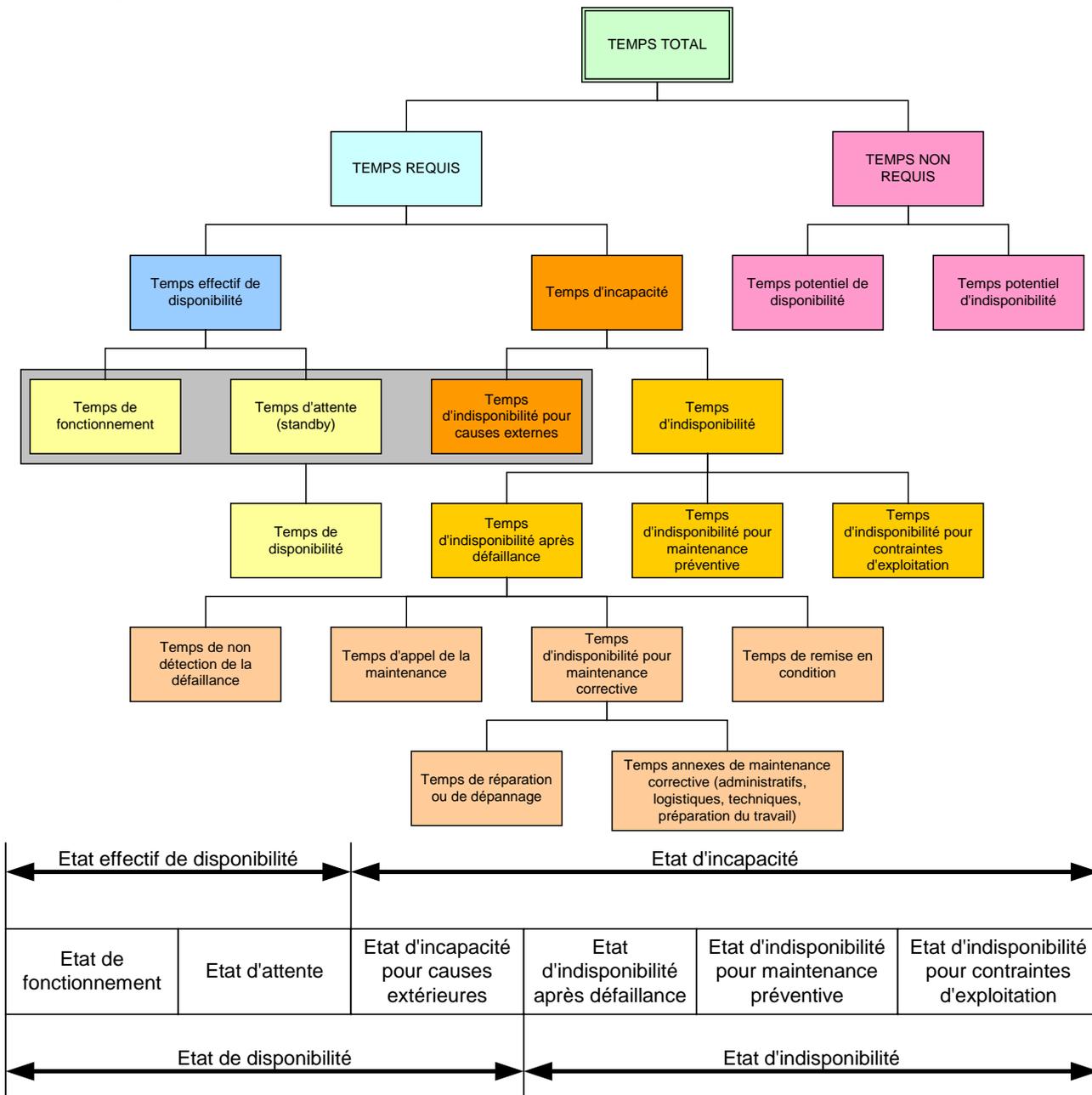
5. LA LOGISTIQUE DE MAINTENANCE

La logistique de maintenance est distincte de la maintenabilité. Beaucoup d'éléments de la logistique de maintenance convergent avec les éléments de la maintenabilité intrinsèque afin de réduire les temps d'intervention et les coûts d'indisponibilité des équipements industriels. Citons en particulier :

- La qualité de la documentation technique (DTE),
- La disponibilité des rechanges en stock interne,
- L'efficacité des moyens mis à disposition.

6. NOTIONS TEMPORELLES RELATIVES AUX ETATS D'UNE ENTITE

Améliorer la maintenabilité d'un bien passe par la connaissance de ses états et des temps associés. C'est ce que montrent les figures ci-dessous





Définitions :

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.



STRATEGIE *Lycée* Albert EINSTEIN PÔLE D'ENSEIGNEMENTS de Maintenance

MAINTENABILITE

Éléments de cours