

## **CHAPITRE II**

### **Synthèse sur la théorie de la maintenance**

#### **Table des matières**

1.	Introduction.....	3
2.	Un peu d'histoire.....	3
3.	pourquoi la maintenance ?.....	4
4.	Les types de maintenance.....	4
4.1.	La maintenance curative.....	4
4.2.	La maintenance préventive.....	4
4.3.	La maintenance prédictive.....	4
4.4.	La maintenance proactive.....	4
5.	Le coût de la maintenance.....	5
6.	Méthode et technologie.....	5
7.	Gestion de la maintenance.....	6
7.1.	L'indicateur.....	6
7.1.1.	TRG (Taux de Rendement Globale).....	6
7.1.1.1.	cycle de vie des machines.....	6
7.1.1.2.	temps de production théorique.....	7
7.1.1.3.	temps de production planifié.....	7
7.1.1.4.	temps brut de fonctionnement.....	8
7.1.1.5.	temps net de fonctionnement.....	8
7.1.1.6.	temps utile.....	8
7.1.1.7.	le TRG.....	9
7.1.2.	AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, leurs Effets et leur Criticité).....	10
7.1.2.1.	Démarche.....	10
7.1.2.2.	Pondération.....	11
7.1.2.3.	Format d'AMDEC.....	11
7.1.2.4.	Limitations de l'AMDEC.....	12
7.2.	Les outils de gestion de maintenance.....	12
7.2.1.	les GMAO.....	12
7.2.2.	les capteurs.....	13
7.2.3.	Transfert des données.....	13
7.2.3.1.	OPC.....	14
7.2.3.2.	MIMOSA.....	15
7.2.3.3.	PROTEUSE.....	15
7.2.4.	Systèmes d'acquisition des données.....	16
7.2.4.1.	L'ordinateur.....	16
7.2.4.2.	Les capteurs.....	17

7.2.4.3.	Conditionnement des signaux.....	17
7.2.4.4.	logiciel.....	20
7.3.	la maintenance intelligente.....	20
7.3.1.	les mesures.....	21
7.3.2.	l'archivage et l'analyse des données.....	22
7.3.2.1.	les systèmes experts.....	24
7.3.2.2.	raisonnement par cas.....	25
7.3.2.3.	par utilisation d'un réseau connexionniste (neurones).....	26
7.3.2.4.	à base du modèle.....	27
7.3.3.	la surveillance.....	29
8.	Conclusion.....	29
9.	La liste des abréviations les plus utilisées dans le jargon de la maintenance.....	30



## **1. Introduction**

La maintenance, un mot qui ne plait pas souvent au producteur, une activité sans production, mais obligatoire avec des dépenses parfois gigantesques. En effet, elle consiste seulement à remettre les machines et les lignes de production en un état qui leur permet de produire d'une façon optimale.

Les questions qui se posent :

- Est-elle vraiment nécessaire ?
- Existe-t-il une méthode unique normalisée pour l'effectuer ?
- Comment s'y prendre ?
- Peut-on diminuer les coûts ?
- Quels sont les paramètres qui entrent en jeu ?
- Quel est son impact sur la production ?

Toutes ces questions et d'autres, ont permis à la maintenance de se développer et d'être étudiée comme un secteur à part entière ces dernières années. Des termes ont été définis : fiabilité, disponibilité, maintenabilité... des outils informatiques ont été développés, GMAO, système expert, des programmes insérés dans les PLC... des méthodes ainsi que l'instrumentation utilisée, analyse vibratoire, endoscopie, thermographie, capteurs intelligents, caméras,...

## **2. Un peu d'histoire**

La maintenance est aussi ancienne que l'apparition des outils créés par l'Homme, destinés à une fonction précise. Soit pour la production : un boucher doit toujours aiguiser son couteau et l'entretenir contre la rouille pour bien couper la chair. Soit pour le bien-être : nettoyer chez soi, entretenir un bâtiment pour qu'il soit toujours habitable, des moyens de transport, chariot, navire. Soit pour la sécurité : entretenir les toits des maisons avant qu'ils s'effondrent sur ses habitants, les murs de protection contre des intempéries ou des ennemis.....

La maintenance a pris une autre ampleur avec l'apparition des machines dans l'industrie et dans le domaine des transports. Les mécanismes sont devenus plus complexes et une connaissance approfondie des systèmes est devenue nécessaire pour maintenir les machines en bon état. Cela a poussé les industries à séparer les activités de production de celles de l'entretien et de maintenance.

Dans les années soixante, la société TOYOTA a introduit une approche connue sous le nom de TPM (Total Production Maintenance) dans l'industrie japonaise. Cela n'est pas une invention, mais seulement un retour en arrière. Avant la séparation des activités de production et de maintenance, l'agent de production était responsable de la machine sur laquelle il travaillait. Cette méthode existe toujours dans les pays sous-développés. Un garagiste, faisant l'entretien d'une voiture, s'occupe de l'électricité, la mécanique, la carrosserie et la pneumatique. C'est le même phénomène dans le domaine du bâtiment. Ceci est dû aux problèmes économiques, impossibles d'engager du personnel spécialisé. On verra plus loin pourquoi un approche TPM est devenue intéressante dans l'industrie.

### **3. pourquoi la maintenance ?**

La matière, dans n'importe quel état (solide, liquide ou gazeux), subissant des contraintes est soumise aux phénomènes d'usure, fatigue, rupture... en général, elle perd ses propriétés initiales pour lesquelles elle avait été sélectionnée.

Les caractéristiques des matières ont évolué pour mieux résister (acier dur, matières composites, les huiles spéciales...). L'idéal, est d'obtenir une matière qui résiste indéfiniment et dans n'importe quelles conditions. Les recherches se poursuivent, mais en attendant, la production se poursuit avec des matières plus au moins résistantes. Inévitablement, la matière perd ses performances, le composant ne remplit pas sa fonction correctement, d'où l'obligation de le changer ou de le rectifier. Le but est de maintenir l'ensemble des composants qui constituent un mécanisme en état de fonctionner d'une façon optimale, ce qu'on appelle « **la maintenance** ».

### **4. Les types de maintenance**

Comme définie plus haut, la maintenance consiste à assurer le fonctionnement d'une machine le plus longtemps possible. Quatre types de maintenance ont été définis selon leur apparition au fil de temps :

#### **4.1. La maintenance curative**

Le premier type de maintenance exercé, elle consiste à changer un composant une fois défectueux. Ceci implique l'arrêt imprévu de la machine, donc de la production. Un arrêt brutal peut entraîner des endommagements sur des pièces saines. La maintenance curative s'exerce toujours sur des éléments qui n'ont aucune influence sur la production, comme changement d'ampoules d'éclairage

#### **4.2. La maintenance préventive**

La maintenance préventive consiste à remplacer des composants qui sont susceptibles de tomber en panne, à qui on a déterminé une durée de vie. Ceci se fait par des arrêts programmés (avant). On peut aussi allonger leur durée de vie en diminuant les contraintes soit par lubrification systématique, pour diminuer les frottements, soit par changement des filtres...

#### **4.3. La maintenance prédictive**

Comme son nom l'indique, la maintenance prédictive consiste à prédire la date exacte où le composant tombera en panne. Pour y parvenir, on effectue des mesures soit périodiques (off Line) soit en temps réel (on line), pour mesurer la dégradation des composants et le remplacer à la date optimale.

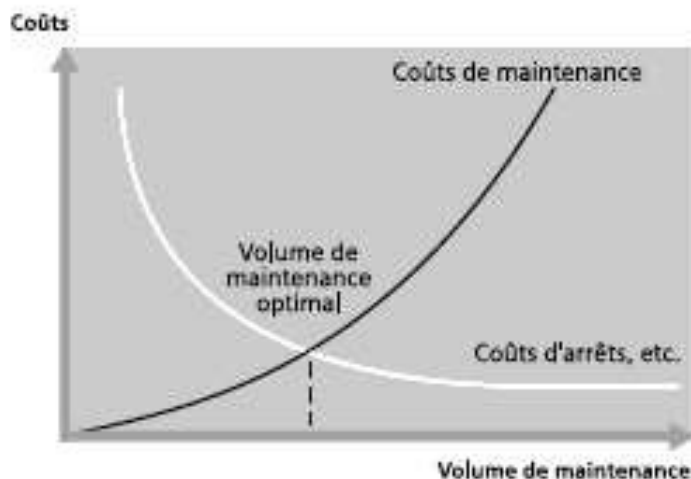
#### **4.4. La maintenance proactive**

Consiste à analyser les causes des défaillances et de les supprimer après. Cela nécessite un historique détaillé des actions de maintenance exercées sur les machines auparavant et l'environnement de leur fonctionnement.

## **5. Le coût de la maintenance**

La maintenance épuise une partie non négligeable des bénéfices générés par la production d'une machine. Ce coût dépend de plusieurs facteurs :

- la complexité de la machine : plus la machine est complexe, plus elle demande des agents experts et des composants chers
- la fréquence des pannes,
- La priorité de la machine. Si la machine est principale pour la production (exp : une machine-outil dans une usine de production de pièces usinées) son arrêt signifie une perte de production, par contre une machine secondaire (exp : une climatisation dans la même usine) n'affecte pas la production.
- Une maintenance préventive excessive. Ceci implique des remplacements de pièces toujours en bon état qui peuvent encore fonctionner normalement.



Le graphique ci-dessus montre que le coût global est un compromis entre le coût direct d'une action de maintenance et le coût généré par les arrêts dus aux défaillances. D'où la nécessité d'optimiser et de bien gérer le service maintenance

## **6. Méthode et technologie**

Pour la maintenance curative, aucune méthode spécifique n'est définie. L'amélioration de la technologie se limite au montage/démontage rapide, sachant que dans le domaine de production, cette technologie a connu une grande évolution (changement rapide d'outils dans un centre d'usinage, changement de produit, etc...)

Alors qu'une maintenance préventive nécessite au minimum la mise en place d'une base de données contenant les temps de fonctionnement moyen de chaque pièce incluse dans le programme de maintenance et définir les délais des interventions systématiques de lubrification.

Dans le cadre d'une maintenance prédictive, plusieurs étapes sont nécessaires. Il faut dans un premier temps analyser de façon approfondie la structure du système, afin d'optimiser le nombre et le positionnement des capteurs requis. Cette phase demande des connaissances techniques et théoriques très spécifiques, et le plus souvent l'intervention d'un laboratoire de recherche spécialisé dans ce domaine. Puis, les capteurs adaptés aux pièces à surveiller (capteurs de température, de courant, de vibrations, de son, etc.) doivent être montés sur l'installation et reliés à un système informatique de supervision, système adapté aux caractéristiques de chaque capteur présent sur le réseau ainsi formé. Ce système joue le rôle d'interface entre les résultats de la surveillance effectuée et un opérateur de maintenance. Il doit également être capable d'auto décision dans certains cas (arrêt d'urgence du système), lorsqu'une intervention humaine risque d'être trop lente pour assurer une sécurité minimale.

## **7. Gestion de la maintenance**

Avec la complexité des systèmes de production, les enjeux économiques, les différents services d'une société et le nombre du personnel. Un flux énorme d'information arrive au service de maintenance. Une mauvaise gestion de ces informations conduit à des conflits de responsabilité, des retards d'exécution et des pertes de temps et d'argent.

Pour une bonne gestion, on doit savoir mesurer ce qu'on gère. Comme le Lord Kelvin a dit « Si vous pouvez mesurer ce dont vous parlez, et l'exprimer en nombres, vous savez quelque chose ; dans le cas contraire, votre savoir est d'un genre éthérique et déficient. ». Après il faut trouver des solutions et faire le meilleur choix

### **7.1.L'indicateur**

#### **7.1.1. TRG (Taux de Rendement Globale)**

Comme déjà cité ci-dessus, le but de la maintenance est de prolonger le temps de production des machines au maximum. Un indicateur s'avère nécessaire pour mesurer l'activité. Le **TRG** est défini comme un indicateur sur les performances des machines. Cet indicateur utilise le temps des arrêts des machines comme paramètres. Ce facteur est le rapport entre le temps de fonctionnement utile de la machine (purement production) et la durée de vie de la machine.

Le TRG permet d'améliorer la productivité et la maintenance des machines, il s'applique à toute activité, simple et décomposable donc facile à analyser. Les paragraphes suivants définissent les éléments essentiels du TRG.

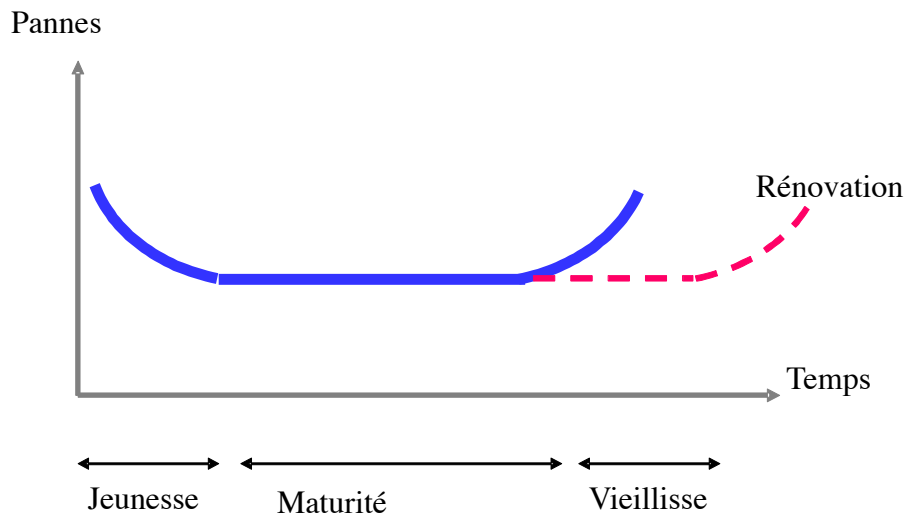
##### **7.1.1.1. cycle de vie des machines**

La vie d'une machine est définie entre sa première mise en marche et sa rénovation. On peut la décomposer en trois temps :

— La jeunesse, définit le temps des réglages nécessaires jusqu'à la production optimale de la machine. Il s'agit de changer les réglages par défaut, reconfiguration du matériel à connecter, ... et des défauts de programmation : temporisation, manque des parties pour empêcher les sorties d'entrer en conflit, élément de sécurité (des conditions qu'on ajoute au programme pour empêcher qu'une telle sortie s'effectue au moment d'alerte par exemple)...

— La maturité, est la période où la machine produit en fonction optimale. Les arrêts pendant cette période sont causés par la défaillance des composants, capteurs, actionneurs et connecteurs.

— La vieillesse, la période où la machine est dépassée par le temps, soit sa technologie ne permet pas une augmentation de la production soit les arrêts sont très fréquents à cause du vieillissement de ses principales composantes, de toutes façons aucune machine ne peut fonctionner éternellement (pour une cause ou autre) même si c'est le but d'une maintenance idéale. Cette période peut s'étaler avec une rénovation de la machine.



### 7.1.1.2. temps de production théorique

C'est le temps défini par les concepteurs de la machine, il dépend des coefficients de sécurité utilisés pendant le calcul des éléments et l'environnement dans lequel la machine est supposée travailler. Ces deux paramètres, même si on les prend en considération pendant la conception, ne sont pas mesurables d'une façon précise, sauf dans des cas particuliers où le risque doit être réduit au minimum et que le coût de réalisation de la machine n'a pas d'importance majeure.

Prenons un exemple simple, deux cartes d'alimentation électronique destinées à remplir la même fonction, une installée sur une navette et l'autre sur une machine outil. Elles auront la même forme, seulement la première est étudiée avec précision, produite par unité et elle subira des tests ce qui augmente son coût de fabrication. Contrairement à la deuxième, fabriquée en série et dont les tests sont réalisés sur des échantillons seulement. Qu'en est-il de celles qui n'ont pas subi des tests, sachant qu'ils sont majoritaires?

### 7.1.1.3. temps de production planifié

On peut définir deux types de machines :

— Des machines autonomes, sans aucune assistance d'un opérateur. Par exemple, les systèmes de conditionnement d'air, les chaînes de fabrication continue...

— Des machines non autonomes, où la présence d'un opérateur est obligée. Par exemple, les ponts roulants, des unités non incluses dans un processus continu (une presse hydraulique, une emboutisseuse...)

Dans les deux cas, des arrêts sont planifiés par les responsables de production, soit pour un problème de liquidation des stocks, soit pour une maintenance préventive globale du parc machine de la société

Pour le deuxième cas, des arrêts planifiés supplémentaires à cause de l'opérateur. Les pauses déjeuner, changement d'équipe...

Le temps de production planifié est le temps de production théorique moins le temps des arrêts planifiés cités juste avant

On définit un facteur de planification, **Pf**, qui représente le pourcentage de temps de fabrication planifié sur un fonctionnement théorique (24/24 pendant 365j/ans)

$$Pf = \text{temps production planifié (h)} / 365 * 24$$

#### 7.1.1.4. temps brut de fonctionnement

Les machines sont susceptibles de tomber en panne, comme expliqué ci-dessus. Donc en plus des arrêts planifiés, viennent s'ajouter les arrêts imprévus à cause des pannes. Ce temps d'arrêt est plus lent avec la complexité de la panne et la mauvaise gestion de maintenance.

Une autre cause oblige des arrêts fréquents, les changements d'outil pendant la production. Pendant une phase d'usinage on est souvent amené à changer l'outil, dans une usine de produit plastique par injection, les produits sont très diversifiés donc un changement de moule. Ce type d'arrêt est mesurable, les technologies récentes ont pu les réduire de plus en plus.

On se retrouve avec un temps de production théorique encore réduit et on définit un autre coefficient qui tient compte de ces deux types d'arrêt, le facteur de disponibilité **D**

$$D = (\text{temps brut de fonctionnement}) / (\text{temps de production planifié})$$

#### 7.1.1.5. temps net de fonctionnement

La réduction de vitesse de production intervient aussi comme une perte de production qu'on peut assimiler à un arrêt. Des micros arrêts influencent aussi la production comme des coupure ou des chutes de tension.

Cela s'ajoute à la totalité des arrêts et le temps brut de fonctionnement ce réduit à un temps de fonctionnement net. On peut définir le facteur de vitesse **V** de deux manières différentes :

$$V = (\text{temps net de fonctionnement}) / (\text{temps brut de fonctionnement})$$

$$V = (\text{temps de production réel}) / (\text{temps de production nominal})$$

#### 7.1.1.6. temps utile

La qualité des produits de fabrication est primordial surtout avec les exigences des clients et la concurrence, mais de temps en temps, on se rend compte qu'elle n'est pas accomplie.

Deux types de pertes à cause de mauvaise qualité se produisent. Le premier, les produits non-conformes au cahier des charges et qu'on ne peut pas vendre. Le deuxième, le



temps de détection de la cause de mauvaise qualité et sa réparation (mauvais paramètres, mauvais programmes...) ainsi que le temps de démarrage de la machine (le temps de démarrage dépend de l'inertie du système global)

Le temps utile de fonctionnement se définit comme le temps de fonctionnement de la machine dans la quelle elle a fabriqué un produit conforme sans compter les temps d'arrêt auparavant. Le coefficient de qualité **Q** est :

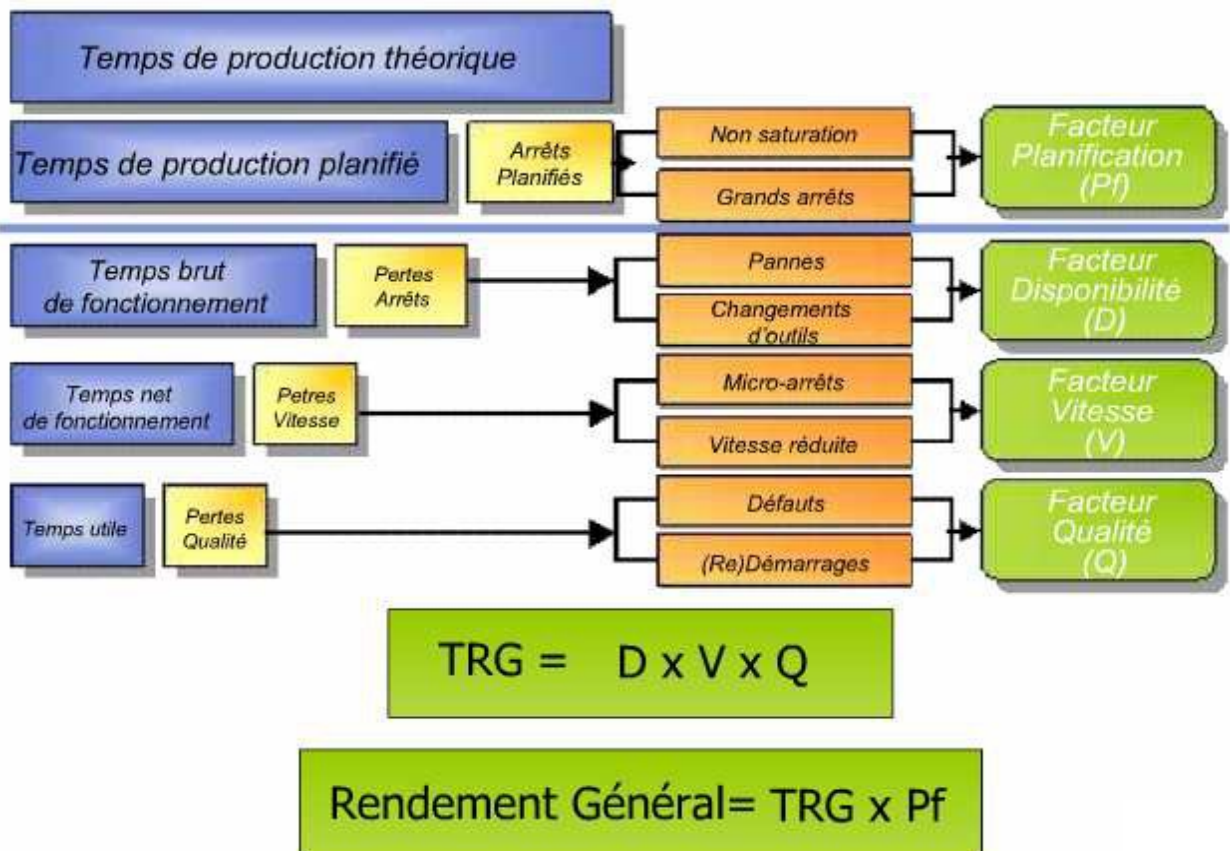
$$Q = (\text{temps utile})/(\text{temps net de fonctionnement})$$

$$Q = (\text{production bon})/(\text{production totale})$$

### 7.1.1.7. le TRG

Après avoir défini les facteurs des arrêts possibles, il reste à les mesurer. Pour cela, il est obligatoire de créer un journal de bord de chaque machine, qui contient un timing bien détaillé de chaque arrêt qui c'est produit, sa cause et la solution apporté. Après un certain temps, on obtient l'historique de tout le parc machine.

Pour la mesure de l'indicateur TRG, on s'intéresse au facteur temps de l'historique créé, on le calcule en se référant à tous les types d'arrêts.



Comment le TRG peut améliorer la productivité?!... Comme on a mesuré les temps d'arrêts et leur proportion dans la totalité de la production, on peut définir quel type d'arrêt cause le plus de tort. L'information circule entre les différents services, bureau des méthodes, production et maintenance. Chacun prend la partie qu'il peut améliorer. Le résultat final dépendra des compétences et de la créativité de la société.

### **7.1.2. AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, leurs Effets et leur Criticité)**

L'AMDE est essentiellement une démarche déductive qui consiste à définir au niveau d'un système les effets des défaillances des éléments de ce système (les défaillances des éléments doivent être connues).

Il est possible de compléter cette démarche par :

- Une recherche des causes de cette défaillance ;
- une recherche des données existantes (contrôles, préventifs ou non) en mesure de détecter la cause avant qu'elle n'entraîne pas la défaillance ;
- une recherche des recommandations permettant de réduire ou de supprimer la cause ou son impact.

L'AMDEC ajoute à l'AMDE une criticité permettant une hiérarchisation. Cette criticité peut être :

- restreinte à un indice de gravité établi sur la gravité du seul effet (exemple : 0 = perte d'alimentation, 0R = perte d'alimentation mais groupe de secours existe, 1 = perte d'une fonction comme chute de puissance fournie, 2 = dégradation d'une fonction, etc.) ;
- la multiplication de l'indice de gravité par l'indice d'occurrence de la cause ;
- la multiplication de l'indice de gravité par l'indice d'occurrence de la cause et par l'indice de détection des contrôles.

Dans les deux derniers cas il est possible de fixer un IPR (Indice de Priorité du Risque), au dessus duquel toute criticité doit être réduite.

De telles analyses peuvent être adaptées à toute interrogation dans tout domaine. Elles peuvent servir de base, entre autres, aux analyses de risque et aux analyses de testabilité.

Le but est de hiérarchiser les actions d'amélioration à conduire sur un processus, un produit, un système en travaillant par ordre de criticité décroissante.

#### **7.1.2.1. Démarche**

Pour garantir un résultat acceptable, la réalisation d'une AMDEC doit avant tout s'inscrire dans une démarche d'analyse du système. En effet, celle-ci aura permis d'identifier les fonctions, les paramètres critiques à mettre sous contrôle et sur lesquels les analyses type AMDEC porteront. Ainsi le périmètre sur lequel l'AMDEC doit être réalisée sera identifié. Une fois ce périmètre établi, on identifie (de manière systématique) les modes de défaillance

potentiels. On peut se baser sur l'expérience acquise ou, selon les domaines, sur des référentiels définissant les modes de défaillance "type" à prendre en compte.

Ensuite on identifie pour chaque mode de défaillance :

- ses causes, pondérées en termes de probabilité d'apparition,
- ses effets, pondérés en termes de gravité,
- ainsi que les mesures en place pour limiter la défaillance, pondérée en probabilité de non détection.

Le produit (probabilité d'apparition) x (gravité) x (probabilité de non détection) donne la criticité.

On traitera en priorité les causes des modes de défaillance présentant les plus fortes criticités.

### 7.1.2.2. Pondération

En général on construit le tableau de pondération adapté au problème à étudier. Souvent on utilise une notation allant de 1 à 10 (il ne faut jamais coter zéro car elle conduit en erreur de calcul et une mauvaise interprétation).

Note F	Fréquence ou probabilité d'apparition	Note G	Gravité	Note D	Probabilité de non détection
10	permanent	10	mort d'homme	10	aucune probabilité de détection
5	Fréquent	5	Conséquences financières et/ou matérielles	5	un système de détection est en place mais n'est pas infaillible
1	rare	1	pas grave	1	le système de détection est infaillible

Tout ceci pour :

- améliorer la conception du processus ou du produit.
- orienter les mesures de prévention.

On évalue la criticité par le produit :  $C = F \times G \times D$ . Plus C est grand, plus le problème est critique.

### 7.1.2.3. Format d'AMDEC

Pour réaliser une AMDEC, on utilise un tableau qui comporte les colonnes suivantes :

- identification du composant ou du sous-ensemble,

- identification de la ou des défaillances pouvant affecter le composant ou le sous-ensemble,
- recherche des conséquences de cette défaillance sur le système,
- cotation de la fréquence de la défaillance,
- cotation de la gravité des conséquences,
- évaluation de la criticité (en général on retient le produit fréquence x gravité).

Il existe de nombreux logiciels d'analyse des défaillances et de gestion des risques qui utilise la méthode AMDEC. Certains sont couplés à d'autres logiciels de gestion de projet,

Une méthode dérivée de l'AMDEC est aussi utilisée dans les industries agro-alimentaire, chimique et pharmaceutique : le HACCP. Cette méthode s'intéresse plus particulièrement à la fabrication.

Les fabricants de machines utilisées en ambiance explosive doivent obligatoirement réaliser un AMDEC qui tient compte aussi des risques d'échauffement ou d'étincelles, quelle que soit leur origine.

#### **7.1.2.4. Limitations de l'AMDEC**

Si l'AMDEC est un outil intéressant pour la sûreté de fonctionnement, elle ne permet pas cependant d'avoir une vision croisée des pannes possibles et de leurs conséquences (deux pannes surviennent en même temps sur deux sous-systèmes, quelle est la conséquence sur le système tout entier ?).

De plus, l'outil AMDEC ne doit pas devenir une fin en soi. Il est courant que des risques soient associés inutilement à un AMDEC (ex : l'arrêt de distributeur de boisson dans la buvette de l'usine), ou que des acteurs considèrent que les problèmes notés dans l'AMDEC sont des problèmes résolus.

## **7.2. Les outils de gestion de maintenance**

Le développement de l'informatique, les moyennes de transmission, les appareils de mesure, le développement des GMAO, les capteurs intelligents, les voies de communication et leurs protocoles, et les systèmes experts pour l'analyse, ont permis à la gestion de la maintenance de se développer et de devenir une discipline indépendante ces dernières décennies.

### **7.2.1. les GMAO**

Ce sont des logiciels qui permettent la création des bases de données sur l'historique des machines, la variation des stocks des magasins..., elles sont dotées des fonctionnalités suivantes :

- fonction maintenance, pour repérer l'emplacement des machines, créer la liste des pièces de rechange, création des plans et ordres des travaux, calendrier de la maintenance systématique, visite des inspections et fiche des relevés.
- fonction stock, détails sur les pièces, leur catalogue, leur emplacement dans le magasin, sortie entrée et réservation des pièces, l'outillage...

- fonction personnel, pour l'attribution des tâches, compétence, disponibilité du personnel (congé, maladie)...
- fonction fournisseur, les fournisseurs existants et leur produit ainsi que les prix
- fonction achat, création des bons de commande, appels d'offres, factures

### 7.2.2. les capteurs

Le rôle des capteurs dans la maintenance est de prélever des mesures sur l'état des machines ou sur la qualité des produits fabriqués, un rôle différent de ceux destinés à la production. Les plus répandus sont :

- Les capteurs des vibrations, la surveillance vibratoire des machines tournantes qui permet de mettre en évidence des balourds, désalignements, défauts de roulements, tourbillons de fluides, déséquilibres électriques et résonances...;

- Les caméras infrarouges, la thermographie qui permet de vérifier les connexions électriques, les déphasages, les roulements, les surchauffes mécaniques, les calorifuges, les défauts internes de certains composants ;

- 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 rôle de diminuer les frottements ;

Il existe d'autres techniques de surveillance comme l'endoscopie, la gammagraphie, la magnétoscopie pour les matériaux ferromagnétiques, la détection des fuites. Reste aussi la possibilité que les responsables peuvent imaginer **par les moyennes existants**, comme le contrôle de consommation d'énergie par une simple mesure de courant absorbé, la variation de température à l'aide d'un Pt100 ou un thermocouple, l'objectif est de pouvoir déceler les défauts avec des moyennes moins chères, le choix est défini par **les tolérances, les prix et l'emplacement** des capteurs.

Deux méthodes sont utilisées,

- **off Line**, qui utilise des appareils portatifs, l'agent de maintenance prélève des mesures périodiquement, qui sont ensuite enregistrés sur une base de donnée . Ces appareils portatifs sont constitués du capteur, d'un conditionneur de signal, d'un enregistreur et parfois d'un analyseur ;

- **on line**, les capteurs sont installés en permanent, connectés directement avec le poste de contrôle, les relevés de mesure sont en temps réel transmis en direct vers le post de maintenance ou des logiciels sont installés pour l'analyse.

### 7.2.3. Transfert des données

(Cette partie concerne les applications **on line** citées ci-dessus)

Pour le transfert des données, les supports restent les mêmes que pour les autres applications, à savoir câble coaxial torsadé, fibre optique, Wifi, infrarouge...

Par contre, le problème reste dans les protocoles de communication. Je ne vais pas parler de tous les protocoles existants, mais seulement du protocole OPC. Ce protocole essaie de résoudre le problème de standardisation, car avant, chaque fournisseur développait son propre protocole et le client se trouve devant des centaines de produit non compatibles entre eux, ce qui limite la multiplicité des fournisseurs.

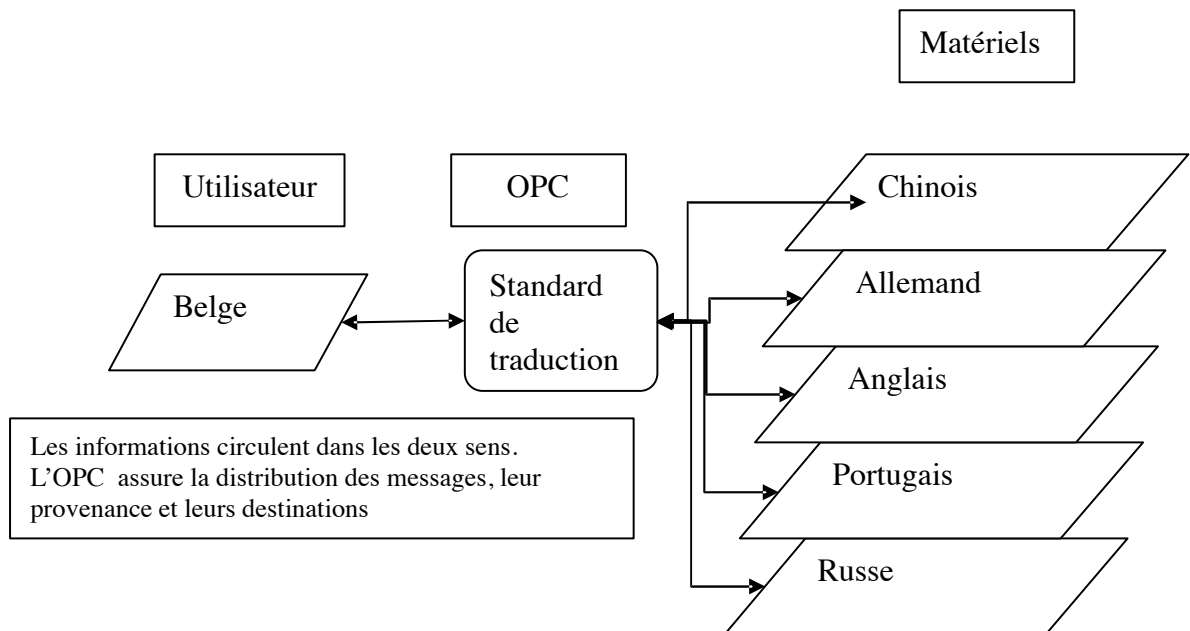
### 7.2.3.1. OPC

L'OPC est un protocole de communication qui permet l'échange des données entre des systèmes hétérogènes (logiciels et matériels), il est basé sur les technologies OLE, développé par Microsoft, technologie d'intégration d'objet par intégration complète soit par référence (les liens), COM, standard de communication entre différentes applications et DCOM, qui est une évolution de COM pour la répartition sur un réseau.

Les spécifications OPC définissent des groupes « d'interface ». Ces interfaces traitent des différents domaines du « Process Control ».

- OPC Common et OPC Security (spécification commune à tous les serveurs)
- OPC Data Access (les données temps réel).
- OPC Alarm & Event (Les alarmes et événements).
- OPC Historical Data Access (Les historiques)
- OPC Batch (les traitements par lot)

Pour mieux comprendre l'OPC, voici une similitude avec un centre de traduction



#### Quels sont les avantages que l'OPC présente ?

– Avec OPC on peut remplacer un équipement par un autre sans remplacer l'application cliente.

Exemple : L'automate A1 du constructeur C1 est installé sur un four de coulée. L'exploitant du four de coulée utilise une application ERP reliée sur l'automate via un client OPC. Si l'automate A1 est remplacé par l'automate A2 du constructeur C2. Le lien ERP ne demandera au pire qu'un simple paramétrage.

– De la même manière, on peut remplacer ou ajouter des applications clientes sans toucher aux serveurs et sans altérer les autres clients.

— Avec OPC on peut réaliser des supervisions plus performantes et pour un coût réduit.

— Avec OPC on simplifie nos opérations de maintenance.

— Avec OPC les applications sont toujours prêtes à évoluer avec les nouveaux besoins des clients.

Après avoir standardisé le protocole de communication, les utilisateurs se trouvent devant un autre problème, celui du signal. En fait, il faut assurer la concordance entre les informations échangées entre différents services, car pour une bonne gestion de maintenance, les informations utilisées proviennent de tous les services et vice-versa, d'où l'apparition de MIMOSA.

### **7.2.3.2. MIMOSA**

MIMOSA est une standardisation des informations destinées à la maintenance et aux opérations par un système ouvert, ceci permet aux entreprises de créer leur propre architecture de leur système avec des produits multifournisseurs avec un protocole de communication unique. Il fournit un niveau par lequel les informations s'écoulent dans les deux sens entre le ERP<sup>1</sup> et EAM<sup>2</sup> et la possibilité de les réutiliser.

MIMOSA a été développé par l'armée américaine. Aujourd'hui, c'est une fondation sans but lucratif dont les membres sont les grands fournisseurs industriels des systèmes automatisés. Basé sur la technologie XML, l'OPC-XML et MIMOSA ont aidé les utilisateurs à travailler avec un seul bus de communication, où toutes les informations, opérations et maintenance, circulent et sur lequel chaque service de l'entreprise peut se connecter soit pour recevoir des informations, soit pour les fournir. La collaboration entre la fondation OPC, MIMOSA, et leurs membres a donné naissance à un système ouvert d'échange d'information pour la production et la maintenance intitulé Open O& M

### **7.2.3.3. PROTEUSE**

PROTEUSE est un projet similaire à MIMOSA, qui est développé par Cegelec, CNRS et Schneider Electric. Ses objectifs sont de fournir une plate-forme et les concepts génériques pour construire des systèmes de e-maintenance industrielle incluant les systèmes existants d'acquisition de données, de contrôle – commande, de gestion de la maintenance, d'aide au diagnostic, de gestion de la documentation, etc. c'est-à-dire, une interaction complète entre les systèmes d'acquisition de données (comme SCADA<sup>3</sup>), des aides au diagnostic, un système de GMAO, un ERP, un système de documentation. Chacun de ces systèmes s'appuie sur un certain modèle de l'entreprise, du système physique ou de l'installation à maintenir. Ces modèles sont différents puisque leurs objectifs le sont, mais ils sont aussi incohérents, car définis indépendamment les uns des autres. Les logiciels sont parfois redondants (dû au même langage utilisé), mais dans tous les cas non interopérables, car les informations sont représentées d'une façon hétérogène et que les interfaces sont incompatibles. C'est cette interopérabilité que le projet Proteuse cherche à développer.

---

<sup>1</sup> **ERP** : Entreprise Resource Planning

<sup>2</sup> **EAM** : Entreprise Asset Management

<sup>3</sup> **SCADA** : Supervisory Control And Data Acquisition

## 7.2.4. Systèmes d'acquisition des données

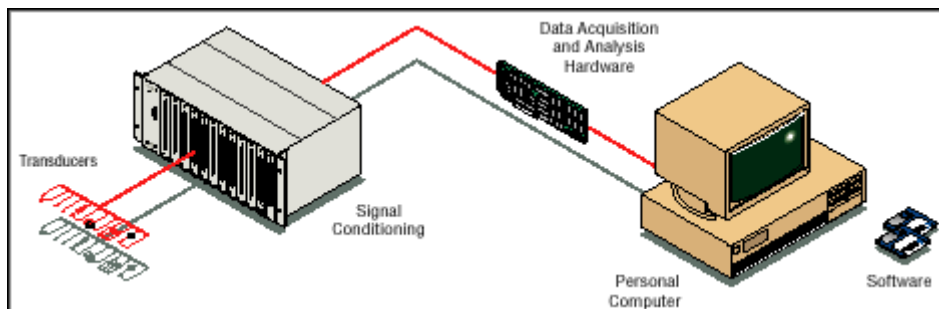
Aujourd'hui, de nombreux ingénieurs et scientifiques utilisent un ordinateur de bureau traditionnel avec des périphériques de types PCI, ISA, PXI/CompactPCI, PCMCIA, et des communications via les ports USB, IEEE 1394, parallèle ou encore le port série pour faire de l'acquisition de données dans les laboratoires de recherche, dans les domaines du test et de la mesure, ou bien de l'automatisation industrielle.

De nombreuses applications utilisent des cartes enfichables pour acquérir les données et les transférer directement vers la mémoire de l'ordinateur. D'autres systèmes nécessitent du matériel déporté relié à l'ordinateur par les ports parallèle ou série.

Récupérer des résultats cohérents à partir d'un système d'acquisition de données sur ordinateur dépend de chacun des éléments suivants (figure 1) :

- l'ordinateur
- les capteurs
- le conditionnement du signal
- le matériel d'acquisition de données (DAQ)
- le logiciel

Cette note d'application offre une vue d'ensemble de chacun de ces éléments en expliquant les critères les plus importants. Elle détaille également la terminologie propre aux éléments qui composent un système d'acquisition de données sur ordinateur.



**Figure 1.** Le système de base d'acquisition de données sur ordinateur

### 7.2.4.1. L'ordinateur

L'ordinateur utilisé pour le système d'acquisition de données peut particulièrement influencer la vitesse maximale à laquelle est réalisée l'acquisition de données continue. La technologie d'aujourd'hui vante les processeurs PowerPC et Pentium associés à l'architecture haute performance du bus PCI, ainsi que du bus ISA traditionnel ou de l'USB. Avec l'arrivée du PCMCIA, l'acquisition de données portable est rapidement devenue une alternative plus flexible que les systèmes d'acquisition de données sur ordinateur standard.

Pour les applications d'acquisition de données déportées qui utilisent la communication série RS-232 ou RS-485, le débit des données est habituellement limité par le taux de transfert de ce type de communication. Les capacités de transfert des données de l'ordinateur utilisé peuvent affecter de façon significative les performances du système DAQ.



Tous les ordinateurs disposent de plage mémoire et d'IRQ<sup>4</sup> (transfert d'interruption). Les DMA<sup>5</sup>, non disponibles sur certains ordinateurs, augmentent le débit du système en utilisant des données matérielles réservées pour transférer directement les données acquises vers la mémoire du système.

En utilisant cette méthode, la mémoire du processeur n'est pas sollicitée pour déplacer les données et est ainsi disponible pour effectuer des tâches plus complexes. Pour bénéficier des avantages des DMA et des IRQ, la carte DAQ que vous choisissez doit être capable d'effectuer ce type de transfert. Le facteur restrictif pour l'acquisition d'un grand flux de données est souvent le disque dur. Le temps d'accès au disque et la fragmentation du disque dur peuvent diminuer de façon importante le taux maximum de données acquises et transférées vers le disque. Pour les systèmes acquérant des signaux haute fréquence, vous devez sélectionner une haute vitesse pour votre PC et être certain que l'espace disponible sur le disque dur du PC est suffisant pour contenir toutes les données de façon contiguë (les données ne doivent pas être fragmentées).

Les applications nécessitant le transfert temps réel de signaux haute fréquence ont besoin d'une haute vitesse, d'un processeur 32 bits avec un co-processeur associé ou bien d'un processeur intégré comme une carte DSP. Si l'application acquiert et ajuste les données simplement une ou deux fois par seconde, un ordinateur bas de gamme est suffisant.

On doit aussi faire attention au choix de notre système d'exploitation ainsi qu'au format de nos cartes (PCI, ISA...) afin de pérenniser notre application et de pouvoir la faire évoluer si nous le souhaitons. Les facteurs qui doivent influencer notre choix dépendent à la fois des applications souhaitées et des besoins des développeurs, des utilisateurs finaux et autres personnes qui vont utiliser l'ordinateur aujourd'hui et demain. Les facteurs à prendre en compte dans le choix de telle ou telle configuration sont les coûts et la compatibilité de l'application avec l'environnement final.

#### **7.2.4.2. Les capteurs**

Les capteurs mesurent les phénomènes physiques et fournissent des signaux électriques aux systèmes d'acquisition de données. Par exemple, les thermocouples, RTD (sondes platine), thermistances ou les capteurs intégrés convertissent une température en un signal analogique qu'un convertisseur analogique/numérique peut mesurer.

Comme capteur, on peut également citer les jauges de contrainte, les capteurs de flux, de pression, de force. Dans chaque cas, les signaux électriques produits sont proportionnels aux paramètres physiques mesurés.

#### **7.2.4.3. Conditionnement des signaux**

Les signaux électriques générés par les capteurs doivent être adaptés à la gamme d'entrée de la carte d'acquisition. Les accessoires de conditionnement du signal doivent amplifier les signaux faibles, puis les isoler avant de les filtrer pour obtenir des mesures plus précises.

---

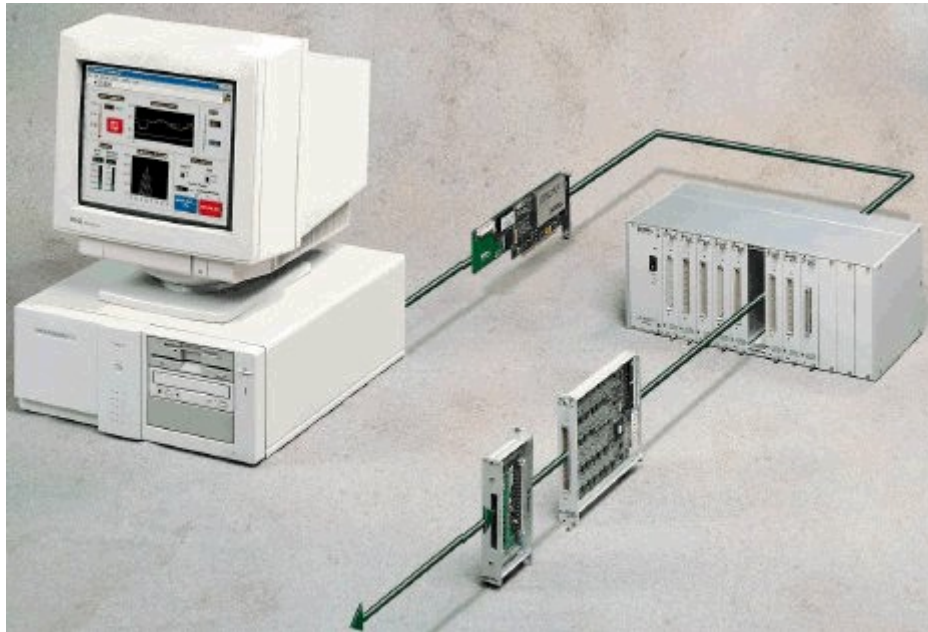
<sup>4</sup> **IRQ** : Interrupt Request, une interruption qui est déclenchée par une ligne d'entrée-sortie matérielle d'un microprocesseur ou d'un microcontrôleur.

<sup>5</sup> **DMA** : Direct Memory Access,

- **Amplification**

Le conditionnement le plus courant est l'amplification. Par exemple, les signaux issus de thermocouples étant de faible amplitude, ils doivent être amplifiés afin d'améliorer la résolution et de réduire le bruit. Pour avoir la meilleure précision possible, le signal doit être amplifié afin que la gamme maximale en tension du signal conditionné soit égale à la gamme maximale du convertisseur analogique/numérique.

Le gain est appliqué aux signaux de faible amplitude au niveau d'un amplificateur. Ainsi, à l'entrée de l'ordinateur, on envoie des signaux amplifiés ce qui minimise l'effet du bruit sur les lectures. Il est nécessaire d'amplifier les signaux au plus près de la source afin d'augmenter le rapport signal sur bruit.



**Figure 2.** Représentation d'un système DAQ avec une centrale de conditionnement SCXI de chez NI

- **Isolation**

Un autre type de conditionnement du signal courant consiste à isoler les signaux issus du capteur de l'ordinateur pour des problèmes de sécurité. En effet, l'application peut fournir des signaux transitoires haute tension qui risquent d'endommager l'ordinateur. Une autre raison pour laquelle il est nécessaire d'isoler les signaux est de s'assurer que les signaux issus de la carte d'acquisition ne sont pas affectés par des différences de potentiel provoquées par un problème de masse ou de mode commun. Lorsqu'une entrée de la carte d'acquisition et le signal acquis sont chacun référencés à une masse, des problèmes peuvent apparaître s'il y a une différence de potentiel entre les deux masses.

Cette différence peut créer une boucle de masse qui fausse la représentation du signal acquis, et peut même causer des dommages au système de mesure. En utilisant des modules de conditionnement du signal, vous éliminerez la boucle de masse et vous vous assurerez que les signaux acquis sont précis.

- **Multiplexage**

Une technique usuelle pour mesurer de nombreux signaux avec un seul périphérique est le multiplexage. Les périphériques de conditionnement du signal pour les signaux analogiques fournissent souvent un multiplexage pour les signaux lents comme une température. Cela vient en plus du multiplexage déjà fourni par la carte d'acquisition de données. Le convertisseur analogique/numérique échantillonne une voie, puis commute sur une autre voie, échantillonne cette nouvelle voie, et ainsi de suite. Etant donné que le même convertisseur analogique/numérique échantillonne plusieurs voies au lieu d'une seule, la vitesse d'échantillonnage réelle sur chaque voie est inversement proportionnelle au nombre de voies multiplexées.

- **Filtrage**

L'objectif d'un filtre est de supprimer les signaux non désirés (parasites) du signal que l'on souhaite acquérir. Un filtre anti-bruit est utilisé sur des signaux continus comme une température pour atténuer les signaux haute fréquence qui réduisent considérablement la précision de la mesure.

Les signaux alternatifs comme une vibration nécessitent souvent un type de filtre différent comme un filtre anti-repliement. Comme le filtre anti-bruit, le filtre anti-repliement est également un filtre passe-bas : cependant, il dispose d'une fréquence de coupure très raide qui permet presque d'éliminer totalement toutes les fréquences du signal supérieures à la bande passante d'entrée de la carte d'acquisition. Si les signaux ne sont pas éliminés, ils pourront apparaître à tort comme des signaux "entrant" dans la bande passante de la carte.

- **Excitation**

Le conditionnement du signal peut également fournir une excitation, en tension ou en courant, pour des capteurs comme les jauges de contrainte, les thermistances et les RTD (sonde platine).

Les modules de conditionnement de signaux pour ces capteurs sont souvent fournis par ce type de matériel. Les mesures effectuées avec des RTD sont en général acquises avec une excitation en courant qui convertit la variation de résistance en tension. Les jauges de contrainte, dont les variations de résistances sont très faibles, nécessitent une configuration en pont de Wheatstone avec une excitation en tension.

- **Linéarisation**

Un autre type de conditionnement du signal est la linéarisation. De nombreux capteurs, comme les thermocouples, jauges de contrainte et autres RTD, ont une réponse non linéaire.

Il est très important de comprendre la nature de votre signal, la configuration dans laquelle le signal a été mesuré et les effets de l'environnement extérieur de la mesure. A partir de cela, vous pouvez facilement déterminer si le conditionnement du signal est une partie essentielle de votre système d'acquisition de données.



#### 7.2.4.4. logiciel

Il existe plusieurs logiciels de gestion des données, ceux qui travaillent avec des tableaux, ceux qui travaillent avec des fichiers textes, ces derniers sont plus avantageux vu l'énorme quantité de données qu'ils peuvent stocker avec un minimum de mémoire physique. Le plus répandu est le SQL, vu sa simplicité et sa gratuité.

SQL se décompose en 5 parties, à savoir :

- Ordres LDD (langage de définition des données, ou DDL, Data Definition Language) : permet de modifier la structure de la base de données
- Ordres LMD (langage de manipulation des données, ou DML, Data Manipulation Language) : permet de consulter / modifier le contenu de la base de données
- Ordres LCD (langage de contrôle des données, ou DCL, Data Control Language) : permet de gérer les privilèges, c'est-à-dire les utilisateurs et les actions qu'ils peuvent entreprendre
- Ordres TCL (Transaction Control Language, langage de contrôle des transactions) : permet de gérer les transactions, c'est-à-dire rendre automatique divers ordres enchaînés en séquence
- SQL procedural : PSM (Persistent Stored Module), CLI (Call Level Interface), Embedded SQL, ... qui est un ensemble d'outils pour que SQL s'interface avec des langages hôtes.

Afin de prendre en compte les spécificités (héritage, navigation transparente) des langages objets (Java, DotNet, C++...), de nouveaux langages de requête sont venus compléter SQL. Ceci permet une manipulation des données plus élaborées d'une façon plus simple.

### 7.3. la maintenance intelligente

Le mot « intelligente » ne signifie pas l'intelligence artificielle, mais elle fait référence à l'utilisation des technologies les plus récentes dans le domaine industriel et du traitement d'information pour optimiser les interventions de maintenance.

La taille des instruments de mesure est devenue tellement petite qu'on peut les insérer au cœur de la machine, comme les capteurs utilisant les matériaux piézoélectriques. La capacité de stockage des données a augmenté considérablement ainsi que la vitesse de leur traitement et leur transfert. Les algorithmes développés de correction et de détection s'investissent dans les systèmes de suivi de production comme les MES<sup>6</sup>.

La maintenance intelligente se base sur trois fonctions essentielles, les mesures, l'archivage et l'analyse des données, et la surveillance.

---

<sup>6</sup> MES : Manufacturing Execution System

### 7.3.1. les mesures

Les mesures consistent à collecter les informations sur l'état de la machine. Les grandeurs les plus exploitées sont les vibrations, la température, l'état des huiles, le couple et les variables de procédé.

-les vibrations

Les mouvements relatifs des rotors par rapport à leurs paliers, accessibles notamment par les capteurs à courants de Foucault, les plus utilisés. Les mouvements absolus de ces rotors qui associent les premiers aux mouvements des paliers. Les mouvements absolus des paliers et carters, accessibles par des vélocimètres et des accéléromètres. Les "bruits" mécaniques et aérodynamiques accessibles par des capteurs de type microphonique et par des accéléromètres.

-la température

L'augmentation de la température est souvent un signe de l'existence des frottements, des mauvaises connexions électriques ou tout simplement un mauvais fonctionnement d'un refroidisseur. Deux types de capteurs se distinguent. Mesure par contact, PT100, thermocouple, thermistance. Les mesures sans contact, caméras infrarouges ; les plus utilisées actuellement, les thermomètres à distance

— l'état de l'huile

D'une manière générale, tous les mécanismes lubrifiés, sont susceptibles d'être surveillés dans leur fonctionnement par analyse de leur lubrifiant en service. Les résultats permettent de déceler 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.

— le couple

Le couple nominal d'une machine indique son fonctionnement normal, sa mesure se fait par l'intermédiaire du courant absorbé. L'existence des variations du couple ou l'apparition des harmoniques au niveau de courant (attention à ne pas confondre avec ceux générés par l'électronique d'alimentation) indique l'existence des anomalies : des frottements, pertes dans la charge, colmatage d'une pompe...

— les variables du procédé

Les variables du procédé sont souvent les entrées d'un API. elles peuvent être analogiques, numériques ou TOR. Leur intérêt est qu'elles sont déjà mesurées pour le fonctionnement de la production, mais on peut observer leur absence, leur variation ou leur apparition pendant des instants inappropriés. Cela indique : des dysfonctionnements des capteurs, des mauvaises connexions, une mauvaise programmation ou un mauvais déroulement du procédé (apparition des retards des mouvements ou ils deviennent très lents).

### 7.3.2. l'archivage et l'analyse des données

L'archivage est la création des bases de données sur l'état des machines. Le début de cette action était sur des supports en papier puis on les encodait sur les PC via le clavier, c'est toujours le cas en ce qui concerne les observations des techniciens, par contre, les mesures se transfèrent directement vers la mémoire des PC via les systèmes d'acquisition des données. Le stockage de grands volumes de données peuvent être stockées de manière diverse, dans des bases de données relationnelles, dans un entrepôt de données (datawarehouse), mais qui peut aussi être récupérées de sources riches plus ou moins structurées comme Internet, ou encore en temps réel (appel à un call center).

Une base de données se traduit physiquement par un ensemble de fichiers sur disque.

Il existe plusieurs types de bases, Bases de données hiérarchiques, Bases de données réseau, Bases de données relationnelles, Bases de données orientées objet, Bases de données semi-structurées, Bases de données multidimensionnelles et Bases de données XML natives. La différence entre eux est le type de données ainsi que la structure utilisée pour les stocker. Ceci rend les uns plus avantageux que les autres pour une applications ou l'autre. Dans un but comme la gestion de maintenance intelligente avec une interaction avec tous les services de l'entreprise, dans laquelle les informations sont hétérogènes, la base la mieux adaptée est les Bases de données XML natives, ces bases de données s'appuient sur la structure offerte par le langage XML pour stocker les données et les repérer. Elles permettent de stocker des volumes importants de données ou de documents, y compris multimédia. Sachant aussi que le standard MIMOSA et le projet PROTEUS utilisent aussi la technique XML pour intégrer le WEB dans la gestion globale de l'entreprise.

Après, vient la phase d'analyse de ses données. Interpréter et définir l'origine des défauts, diagnostiquer les meilleurs moments et type d'intervention. La complexité d'analyse dépend de celle de la machine et de sa criticité, plus la machine est complexe technologiquement plus la détection de l'origine du défaut est difficile et plus elle est critique plus la décision d'intervention devient complexe vu les enjeux intervenants.

Actuellement, l'archivage et l'analyse se font en temps réel grâce :

- Au développement des systèmes d'acquisition des signaux analogiques
- Au développement des logiciels pour leur traitements et aide au diagnostic (système expert)
- Le plus intéressant, et ce qui a permis les deux premiers développements, est la standardisation du protocole de communication « OPC » et celui des informations de maintenance et des opérations « MIMOSA », « PROTEUS » ou similaire.

L'analyse des données implique l'analyse des mesures prélevées, donc la nécessité de bien comprendre le fonctionnement du système étudié. Les logiciels qui traitent ses données utilisent des algorithmes mathématiques très puissants, mais avant, ils ont besoin d'un modèle mathématique comme référentiel de comparaison d'où l'intérêt d'une modélisation du système. Peut – ont créer ses propres outils d'analyse ?

Si on a une profonde connaissance sur le système étudié, et une base solide en informatique, on peut s'initier dans ce domaine. La limite dépendra du volume des données,

de leur homogénéité, et du type d'information qu'on veut extraire. Par exemple, la valeur efficace du courant absorbé par un ventilateur qui fonctionne 24/24 dans les mêmes conditions doit être constante, sa variation implique l'apparition d'anomalies ou plus généralement le changement des conditions de travail. Les causes sont très divers, tous types de frottement, changement de pression en amont ou en aval,... la base de donnée, ainsi enregistrée, nous indique l'évolution du courant. Si, par exemple, le courant est en augmentation constante, on peut supposer l'accentuation des frottements. Par contre, si sa valeur varie autour de la normale, on peut supposer la variation des pressions. Pour trancher entre les hypothèses avancées on utilise des enregistrements réalisés auparavant qui servent de comparatifs. La difficulté commence quand on veut plus de précision sur les causes, frottements dus aux roulements, paliers, les aubes... on aura besoin de plus d'informations sur le courant. Pour ceci, l'exploitation de tous les paramètres du courant (amplitude en temps réel, facteur de forme, les harmoniques...) peut donner des informations plus précis sur les causes, toujours en se référant à des enregistrements.

Cet exemple suggère l'utilisation d'instrumentation supplémentaire. Dans certains cas les données de production sont largement suffisantes pour avancer des hypothèses sur l'état des machines. Sur un système séquentiel automatisé, le simple enregistrement des variables de procédé au fil du temps est une mine d'or d'informations sur déroulement du procédé, on peut imaginer un vérin, qui effectue sa course en 2 secondes dans un fonctionnement nominal, une variation de cette durée (on tenant compte de toutes les conditions de travail, pression, charge...) peut indiquer une éventuelle dégradation du vérin, bien sûr, une analyse plus approfondie sur tous les paramètres enregistrés peut donner plus de précision sur la défaillance.

Dans le cas d'un système plus complexe, où les variables sont multiples, hétérogènes et que les données récoltées sont volumineuses, on réalise un « Data Mining » dont la signification est l'exploration de données, fouille de données, (forage de données) ou encore extraction des connaissances qui sont exploitables.

Le Data Mining est un processus d'analyse qui adopte une démarche empirique et essaye de faire sortir, à partir des données, des hypothèses dont l'utilisateur doit valider la fiabilité. Ces principales étapes sont les suivantes :

- Formaliser le problème qu'on cherche à résoudre en terme de données
- Accéder aux données quelles qu'elles soient
- Préparer les données en vue des traitements et utilisations futurs
- Modéliser les données en leur appliquant des algorithmes d'analyse
- Évaluer et valider les hypothèses extraites des analyses
- Faire circuler les analyses dans l'entreprise pour que tous les services de la société qui peuvent les utiliser soient servis

Le Data Mining se propose alors d'utiliser un ensemble d'algorithmes pour construire des modèles à partir des données, c'est-à-dire trouver des schémas selon des critères fixés au départ, et extraire de ces données un maximum d'informations utiles à l'entreprise. Tant d'algorithmes sont utilisés parce qu'ils n'ont pas tous le même objet, parce qu'aucun n'est optimal dans tous les cas, parce qu'ils s'avèrent en pratique complémentaires les uns des autres et parce qu'en les combinant intelligemment, en construisant ce que l'on appelle des méta modèles, il est possible d'obtenir des gains de performance très significatifs.

La complexité des processus modernes de fabrication industrielle couplée aux contraintes de compétitivité conduit les industriels à investir considérablement dans l'automatisation et l'instrumentation. Ces nouvelles installations génèrent des flux importants de données dont les historiques sont habituellement sous-exploités. Le Data Mining rend techniquement possible le bouclage du cycle de l'information pour la création des modèles et de pouvoir prédire la tendance de l'évolution des systèmes. Delà les responsables auront le temps de planifier toutes leurs actions, ce qui réduira considérablement les pannes inattendues et le temps d'intervention.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour cette analyse, voici quelques-unes :

### 7.3.2.1. les systèmes experts

Un **système expert** est un programme d'analyser un compte-rendu, sous forme des données numériques, issue d'un système où plusieurs mesures sont effectuées. Les données manipulées peuvent être aussi d'origines extérieures souvent encodées comme des remarques d'une longue expérience pratique. Le système expert est composé de :

- base des données, où sont stocké les types de panne possible (mauvais fonctionnement d'un compresseur, une valve, étanchéité, mauvaise temporisation,...), les observations (vérin ne sort pas, vérin sort doucement, vérin sort trop rapidement
- Un générateur d'inférences basé sur un ensemble de règles (des conditions : si *un problème* alors *hypothèses de son origine*), plus on augmente le nombres de ses conditions sous forme d'un enchaînement plus on diminue les hypothèses et on s'approche de la cible qui est l'origine de défaut. Deux types de raisonnement peuvent se faire : raisonnement par déduction, il s'agit d'utiliser les conditions dont le problème est défini comme condition, le deuxième est le raisonnement dans le sens inverse, il s'agit de supposer l'origine et de le démontrer en utilisant les règles. Prenons l'exemple d'un circuit hydraulique :

Observations	Origines possibles
Vérin 1 ne sort pas	Pompe, moteur, distributeur1, conduite1
Vérin 2 ne sort pas	Pompe, moteur, distributeur2, conduite2
Pression dans le réservoir insuffisante	Pompe, moteur, conduit3, valve anti-retour

De ce tableau, on peut tiré plusieurs règles (qui seront stockées dans une mémoire) du genre : si le vérin1 ne sort pas et la pression dans le réservoir et insuffisante alors la pompe est en panne ou le moteur est en panne. On remarque que si on avait qu'une seule observation dans la règle, le nombre des hypothèses est doublé. Comme les règles sont fixées, l'utilisation de plusieurs règles diminue le nombre des hypothèses. Si on se base sur le nombre des observations pour déduire la cause (le cas le plus fréquents) on parle de raisonnement par déduction. Si on suppose d'abord la cause est en vérifie si les observations possible sont présents on parle d'un raisonnement dans le sens inverse (de la déduction).

Le problème dans les systèmes experts est la création des bases des données. Ceux qui jouent le rôle le plus important sont les agents de terrain expérimentés à qui on demande d'enregistrer toutes leurs expériences. Les principales difficultés sont la quantité des



informations, leur qualité et le facteur humain, car les agents se sentent dépossédés de leur savoir-faire.

Un autre problème, dont le raisonnement précédent ne tient pas compte, est l'évolution des systèmes. En effet, chaque fois qu'une intervention s'est effectuée, les règles encodées avant ne sont plus valables et peuvent nuire à l'analyse, on parle ici de la maintenance des systèmes experts.

### **7.3.2.2. raisonnement par cas**

CBR (case based reasoning), le principe consiste à enregistrer les données sous forme de cas de pannes connues. Ces cas sont indexés par raisonnement de similarité, entre eux, au niveau des observations. Chaque nouveau cas est traité puis analysé pour définir son appartenance à un groupe de cas similaire, ensuite il est enregistré selon l'indexation de similarité. S'il n'y a pas d'appartenance, une nouvelle indexation est créée.

Ce raisonnement est très efficace, vu qu'on définit, directement, tous les cas similaires à la panne dont on connaît les origines. La démarche de ce raisonnement s'effectue par enchaînement des étapes suivantes :

- Observations de la panne ;
- recherche dans la mémoire des pannes similaires, issues des expériences faites auparavant, dont on ne retient que les cas les plus probables ;
- Adaptation des cas retenus : puisqu'il ne s'agit que d'une similitude, la solution à apporter est dépendante de cette similitude mais aussi de solutions proposées par le raisonnement, d'où la nécessité de les adapter ;
- Une fois la solution apportée, on observe son efficacité ;
- Si c'est bon, on enregistre la panne et sa solution par une indexation qui lui permet d'appartenir à un cas similaire. Ce qu'on peut qualifier d'auto apprentissage

On se rend bien compte, qu'après un certain moment la quantité des données enregistrées devient énorme. Dans ce cas une nouvelle structure de la base de données est nécessaire si on veut garder l'efficacité de la méthode. La structure la mieux adaptée est la hiérarchique vu qu'il n'y a pas de relation qui lie les différents groupes de cas classés par similitude. En fait, il suffit d'ajouter des indexations Parent pour le réaliser et ceci permet d'accélérer la recherche dans la mémoire des cas.

Un problème caractérise cette méthode, si on veut plus de précision et de limiter le nombre de cas proposé par similitude, il suffit d'augmenter la chaîne d'indexation en subdivisant les groupes de cas similaires par augmentation des indices. Mais cette solution va augmenter le temps de recherche et exige une évaluation plus pertinente sur l'observation d'où la nécessité d'un compromis. Certaines méthodes utilisent des moyens de pondération ou de la logique floue pour la détermination des degrés d'appartenance à un cas ou l'autre.

### 7.3.2.3. par utilisation d'un réseau connexionniste (neurones)

La base de cette technique est le système de cerveau. Le principe est d'affecter à chaque relation cause-panne un nombre sur une échelle qui définit les degrés d'existence de ces relations. Prenons l'exemple d'un circuit pneumatique représenté ci-dessous par des observations de panne et des origines possibles. Toutes les observations sont liées à chaque origine détaillons la première observation, le vérin 1 sort doucement :

- le lien avec la pompe est possible on lui donne un poids de 1
- le lien avec le distributeur 2 est possible, mais moins probable qu'avec la pompe on lui donne un poids de 2
- le lien avec son étanchéité est fort possible plus que la cause de la pompe on lui donne le poids de -2
- le lien avec l'étanchéité du vérin 2 est peut probable on lui donne un poids de 3
- le lien avec le distributeur 1 est probable, mais moins que l'étanchéité on lui donne un poids de -1

La distribution des poids n'est pas une normalisation standard, car elle dépend de la fiabilité des outils utilisés (si l'étanchéité est de bonne qualité et que la pompe est de qualité moyenne, les poids peuvent s'inverser), par contre on peut tenir compte de la dépendance des organes dans le système (l'étanchéité du V1 est indépendante de celui du V2).

Les entrées ( $E_i$ ) définissent un degré d'observabilité sur une échelle prédéfinie avant. Ils seront multipliés par le poids ( $W_i$ ) du lien qu'ils affectent. Au niveau des origines des pannes, on effectue la somme des produits de chaque lien entrant ( $\sum E_i \cdot W_i$ ).

C'est à ce stade que les analyses se différencient (sur la nature de la fonction  $f$ ). On peut effectuer une comparaison avec des seuils qui vont générer des sorties ( $\mathfrak{R}$ ) booliennes, des fonctions issues des statistiques dont les sorties sont des probabilités, ou tous simplement des fonctions linéaires dont on va créer à la suite un traducteur qui va les interpréter.

Dans ce système, l'auto-apprentissage se joue au niveau des poids attribués à chaque lien ( $W_i$ ). Au début, on fixe un poids pour une situation donnée, puis on commence à attribuer pour chaque nouvelle situation un poids qui représentera son importance par rapport à la situation initiale (si c'est moins important on lui attribuera un poids plus faible ou plus fort selon la fonction utilisée). Ceci est une méthode parmi d'autres.



Ceci nécessite de créer de nouveaux liens pour aboutir à une cause (c'est le but !). On décompose le système en trois parties, sa fonction, ses composants et les observations sur sa fonction.

- La fonction décrit le comportement normal de chaque composant ainsi que les relations qui existent entre les variables, cet ensemble est caractérisé par des propositions définies entre les composants (transmission mécanique, connexion électrique,...) et entre les variables (tension-courant, pression-débit,...)
- les composants sont considérés comme éléments finis du système, ils n'ont pas de fonctions internes propre à eux,
- Les observations sur la fonction, sont celles qui vérifient les états des variables et des composants (absence de pression, apparition des vibrations, ralentissement de la vitesse,...) ;

Dans mon exemple : la fonction qui décrit le système et le circuit qui est représentés par les conduites et les deux variable pression et débit. Les composant sont : la pompe, les distributeurs 1&2 et les étanchéités 1&2. Les observations sont les états des vérins 1&2.

Le diagnostic se base alors sur une observation, indépendamment de l'ensemble des observations observées. À chaque fonction, qui fait intervenir un composant dont la sortie est l'observation en question, on lui attribuer un poids. Prenons l'exemple précédant, si le vérin1 est l'observation et que la pompe et le composant, on affecte un poids à la fonctionne pression qui les lie, ce poids dépendras de la criticité de la pompes sur le fonctionnement du vérin1. Bien sur, l'idéal est d'attribuer des poids à valeur continue : par exemple à la pression on lui attribue sa grandeur réelle en bar, dans ce cas on sera ramené à utilisé des vrais modèles mathématiques qui représentent le système ce qui est très compliqué et de toute façon c'est se qu'on cherche à éviter. Pour les observations deux cas sont possible : soit on considère par exemple que le vérin1 sort doucement est une observation indépendant soit en lui affect un poids en étant une observation « mauvais fonctionnement du vérin1 ».Après on crée toutes les requêtes sur le bon fonctionnement du système : ex, si la pression à la sortie de la pompe est bonne alors le vérin1&2 doivent sortir normalement, et vice versa, si l'un des deux vérins fonctionne alors la pompe est bonne, de la même façon pour la pression. Chaque fois qu'on aura un panne, des requêtes ne seront pas vérifiées, on parle des incohérences avec le modèle, ces incohérences peuvent révéler une seule hypothèse (une cause) ou plusieurs, d'autres poids sont affectés à ses requêtes (souvent 0&1, d'autres classe les requêtes selon leur importance).

Des formalismes mathématiques très élaborés, qui sortent de la topologie des ensembles, manipulent ces informations pour réduire le nombre des incohérents et de créer des comparatifs avec le modèle .Les résultats sont stockés dans des base de données.

De cette façon avec une comparaison entre les résultats des simulations et celle du cas réel, le système est capable d'avancer des hypothèses sur les composants responsables de la panne plus rapidement avec un degré de probabilité qui permettra de définir les actions prioritaires



### **7.3.3. la surveillance**

Il est impossible de penser, après tout le chemin parcouru, de s'arrêter et de laisser les machines sans surveillance. Au moins, vérifier l'apport des améliorations effectué après l'analyse des données. Dans une maintenance intelligente, la surveillance implique un suivi complet de l'évolution du système. Certains systèmes utilisent des simulateurs avant d'effectuer les modifications suggérées par l'analyse des données, mais ça reste toujours une simulation et pas une réalité. La méthode la plus appropriée est de créer des historiques où seront enregistrés tous les effets, positifs ou négatifs, apportés par une modification éventuelle du système. Cette méthode permettra un suivi complet de l'évolution de système par :

- une correction de type d'analyse effectuée sur les données, dans le cas de mauvais résultats, ou les maintenir dans le cas contraire
- améliorer les chaînes de formations, soit ajouté d'autre relever de mesure soit supprimé celles qui n'apportent pas plus d'informations utiles.

## **8. Conclusion**

Les conclusions que je peux avancer sur cette synthèse sont :

- la maintenance est actuellement en plein développement, du coté technique et gestions
- plusieurs disciplines de haut niveau sont utilisées dans le domaine de la maintenance, sachant qu'avant elle était monopolisée par les agents du terrain.
- Pour ce qui concerne la maintenance intelligente, actuellement des recherche se poursuivent sur la création des base de données des systèmes depuis leur conception c'est comme si on crée un livret médical au système depuis sa naissance ceci permettra de pousser la recherche des diagnostique en avant.
- Par contre, une formation en maintenance pour tous les ingénieurs deviendra nécessaire d'ici quelques années si on veut suivre les évolutions techniques

Cette dernière remarque est le sujet du chapitre suivant. Elle traite un projet de formation sur la maintenance et la maintenance intelligente

## **9. La liste des abréviations les plus utilisées dans le jargon de la maintenance**

**La plus part des articles qui traitent le sujet de maintenance utilisent beaucoup d'abréviations qui ne sont pas facile à déchiffré j'ai dressé cette liste pour qu'elle m'aide en cas de besoin, ces abréviations ne sont pas toutes utilisées dans ce chapitre mais je les ai toutes rencontrés plusieurs fois pendant ma recherche d'information**

<b>AEO</b>	: Asset Efficiency Optimisation,
<b>ALM</b>	: Asset Lifecycle Management
<b>AMDEC</b>	: L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) est un outil de Sûreté de Fonctionnement, ou SdF et de gestion de la qualité
<b>CBM</b>	: Condition Based Maintenance
<b>CBO</b>	: Condition Based Operation
<b>CCM</b>	: Control Chain Management
<b>CM</b>	: Condition Monitoring
<b>DSS</b>	: Decision Support System
<b>EAI</b>	: Entreprise Application intégration
<b>EAM</b>	: Entreprise Asset Management
<b>ERP</b>	: Entreprise Ressource Planning
<b>FMECA</b>	: Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, c'est la traduction de AMDEC
<b>GMAO</b>	: Gestion Maintenance Assistée par Ordinateur
<b>HMI</b>	: Human Machine Interface
<b>ICDM</b>	: Instrumentation and Control Device Management
<b>IPR</b>	: Indice de Priorité du Risque
<b>MES</b>	: Manufacturing Execution System
<b>MIMOSA</b>	: Machinery Information Management Open Systems Alliance
<b>MRB</b>	: Maintenance and Reliability Browser
<b>MTBF</b>	: le temps moyen entre deux pannes
<b>MTTR</b>	: le temps moyen de réparation
<b>ODH</b>	: Operational Data Historian
<b>ODR</b>	: Operator Driven Reliability,
<b>OEE</b>	: Overall Equipment Effectiveness, voir TRG
<b>OPC</b>	: Object Linking and Embedding - for Process Control
<b>OPS</b>	: OperationS control center
<b>OSA</b>	: Open System Architecture
<b>SCADA</b>	: Supervisory Control And Data Acquisition
<b>SMDE</b>	: Single Minute Exchange of die, méthode pour réduire le temps de changement d'outil
<b>TRG</b>	: Taux de rendement globale, indicateur sur la production des machines en référence aux arrêts.
<b>TPM</b>	: Totale Production Maintenance
<b>VDM</b>	: value driven maintenance, indicateur sur les frais de maintenance

**Les abréviations utilisées (en connexion informatique)**

- IRQ** : Interrupt Request, une interruption qui est déclenchée par une ligne d'entrée-sortie matérielle d'un microprocesseur ou d'un microcontrôleur.
- DMA** : Direct Memory Access,
- PCI** : Peripheral Component Interconnect
- PCMCIA** : Personal Computer Memory Card International Association, ou PC [PCMCIA](#) Card, est un format de carte d'extension ultra-plat, dédié aux ordinateurs portables et à d'autres périphériques
- ISA** : Industry Standard Architecture
- USB** : Universal Serial Bus
- DSP** : Digital Signal Processor
- PXI** : PCIeXtension for Instrumentation