

# Maintenance 4.0

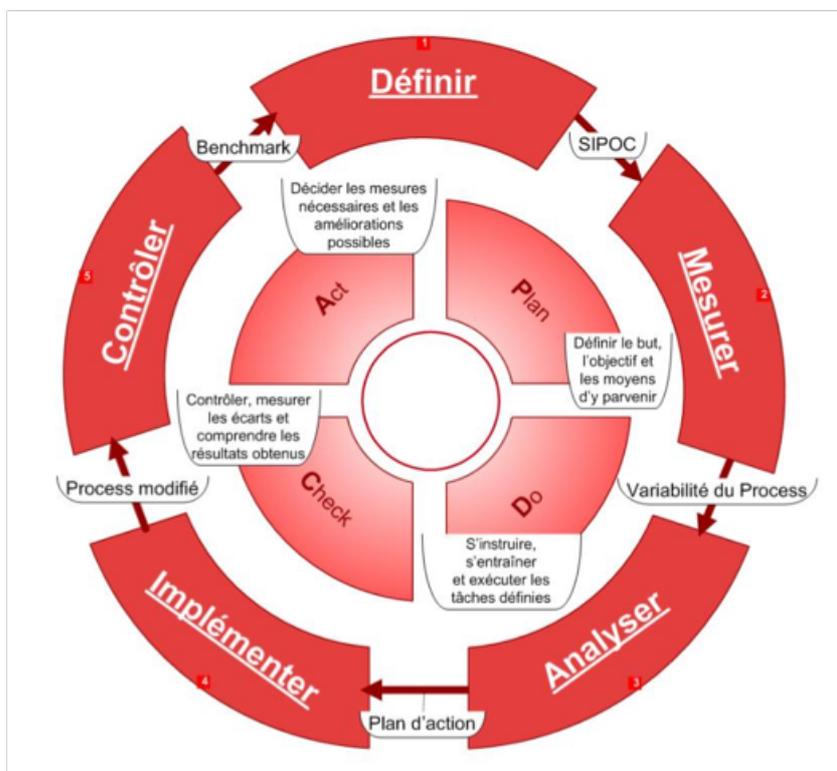
Que veut dire la **Maintenance 4.0** ?, ce serait logiquement la suite de la Maintenance 1.0, 2.0, 3.0, mais qui a vu ces évolutions dans les 10 dernières années !!! Toute personne en ayant vu un OVNI de ce genre est toujours le bienvenu dans mon blog....

C'est une mouvance lente mais continue dans **l'Industrie 4.0**, cependant assez logique, car la Robotisation et l'Automatisation des grandes entreprises propulsent la fonction **Maintenance au rang prioritaire**, car dans certains ateliers, il n'y a presque plus d'Exploitants physiques sur place..

Et donc elle devient une **fonction Majeure !!** Alors qu'UN grand nombre d'Entreprises considèrent encore la Maintenance comme faisant partie des frais généraux qui coutent, alors que c'est une source de **Profits**<sup>1</sup>.

Trois méthodes majeures permettent d'identifier et de réduire les pertes dans les Entreprises :

1. Le **Lean** (Manufacturing et Transactionnel) traitant sur la réduction des pertes de toutes sortes sur le Gemba sur la base de la conception d'une **VSM**<sup>2</sup>
2. **6 Sigma** traitant de la variabilité des processus en réduisant le nombre des **ppm**<sup>3</sup> avec la démarche **DMAIC**<sup>4</sup> et mettre au rencard le **PDCA** des années 70, qui ne contient que des bonnes volontés de faire mais sans Méthodes ni outils pour y arriver.



<sup>1</sup> Se rappeler d'un excellent ouvrage « La maintenance, Source de Profit » parus aux Éditions d'organisation dans les années 90...

<sup>2</sup> Value Stream Mapping

<sup>3</sup> Partie Par Million de défauts produits

<sup>4</sup> Définir, Mesurer, Analyser, Innover, Contrôler

3. **MAXER**<sup>5</sup> (Méthode de Résolution de problèmes, de Diagnostic, d'Analyse et de Fiabilisation), pour traiter les déviations brutales.

## 1. Évolutions dans le domaine de la Maintenance

Que s'est-il passé depuis le début des années 70 dans le domaine de la Maintenance ? :

- L'apparition des premières **GMAO**, des vraies !!!
- La disponibilité des premiers appareils de **CND**<sup>6</sup> (Contrôles non Destructifs) de plus en plus petits, performants, mais considérés par certains comme des moyens sur étagère, qu'on utilise de temps de temps, mais pas complètement identifiés dans les Plans de Maintenance prévisionnels
- Des Méthodes d'organisation venant du Japon, comme la **TPM**, aujourd'hui complètement dépassée dans sa mise en œuvre, on ne retient qu'aujourd'hui que le premier niveau réalisé par les Opérateurs, les **5S** que l'on trouve également dans les outils du **Lean**
- Il n'a pas été retenu à l'époque une méthode de résolution de problème, la Méthode **PM (Physical, 5M)** qui était complexe à mettre en œuvre, car elle ne possédait pas la représentation de la Chaîne Causale, le Défailligramme comme dans la Méthode **MAXER**.

Nota : Aujourd'hui, l'efficacité en Production passe, en plus du premier niveau de Maintenance, par la formation des Opérateurs au premier niveau du Diagnostic, afin de les intégrer dans le processus de Diagnostic afin de les faire participer avec les techniciens de Maintenance au processus de recherche de la **Cause de la panne**<sup>7</sup> et ce le plus rapidement possible.

- Des moyens de gestion de la Documentation Technique, les **GED**<sup>8</sup>
- L'apparition de **tablettes** où on a toutes les informations disponibles sur soi, évitant de faire des recherches pénalisantes qui font perdre du temps, avec l'historique des Comptes-rendus de la **GMAO**. Mais presque inutiles pour le Diagnostic, car il n'existe presque pas de bases de données de Retour d'Expérience sur l'Analyse des Causes premières des événements transcrites en Base de données exploitables (sauf **DIAGDEF**<sup>9</sup>)
- Et depuis quelques années, des **ERP**<sup>10</sup> incluant des Modules de Maintenance et de Gestion des stocks, avec les résultats que l'on connaît parfois, qui sont très mal exploités en particulier dans les Comptes-rendus d'intervention
- Des solutions basées sur les réseaux Bayésiens qui permettent de concevoir une base de données de Diagnostic au stade de la Conception et par l'utilisation de **l'Intelligence Artificielle (IA)** pour l'apprentissage
- Et le **Lean 6 Sigma**, ignoré royalement par la Maintenance qui n'a pas compris que la Variabilité existe partout, et en particulier dans ses propres processus... Et quand on

---

<sup>5</sup> Méthode de conception Française, de Diagnostic des Panne, d'Analyse et de Fiabilisation, datant des années 70 !!

<sup>6</sup> Thermographie IR, Analyse des lubrifiants, Ultrasons pour les fuites et mesures d'épaisseurs,

<sup>7</sup> On ne peut pas à ce stade identifier la Cause première, car cela fait l'objet d'une Analyse plus approfondie

<sup>8</sup> Gestion Électronique des Documents

<sup>9</sup> Logiciel de conception du Défailligramme et de constitution d'une base de données de REX

<sup>10</sup> Logiciels d'Entreprise Ressources Planning intégrant tous les modules de Gestion des Entreprises

parle de Moyennes, de Ratios (MTBF, MTBF), cela ne représente rien sans qu'on les accompagne de leurs **écarts types**, ce qui n'est jamais le cas.

○ ....

Et depuis peu, des capteurs de toutes natures sont apparus, miniaturisés grâce aux nanotechnologies, permettant de surveiller pratiquement tous les phénomènes physiques possibles et surtout communicants par des réseaux dédiés (Wi-Fi, filaires)

Ces capteurs délivrent des informations en temps réel, concentrées, analysées, corrélées et enregistrés dans des BIG DATA et interactifs en communications.

Un exemple d'intégration de capteurs ;



Et avec les démarches heuristiques et les Systèmes Experts, les résultats des analyses ne sont plus identiques mais différentes car les systèmes apprennent en temps réel.

Toutes ces solutions, du stade de la Conception où celle de l'Exploitation jusqu'au Retour d'Expérience ont besoin d'information précises, sur :

- ✓ la connaissance des Technologies, des Matériaux
- ✓ la description de leurs Fonctions Principales et de leurs Fonctions de Contraintes (Internes et Externes)
- ✓ la connaissance précise des Modes de Défaillance des Sous-ensembles,
- ✓ la bibliothèque des CND et Capteurs et les Défaillances qu'ils peuvent surveiller.

Et il ne faut pas oublier qu'il existe un grand nombre de capteurs sur les équipements qui ne sont utilisés que pour faire fonctionner les équipements.

Mais pourquoi pas ne pas utiliser leurs signaux, souvent binaires qui sont disponibles dans les API, comme les positions des actionneurs, les intensités moteurs, et autres informations utiles pour alimenter les bases de données ?

Toutes ces informations peuvent être utilisées pour surveiller des temps de déplacements, des évolutions de paramètres physiques.

Une expérimentation a été faite, il y a de nombreuses années, sur un centre d'Usinage Italien pour définir un Plan de Maintenance uniquement basé sur des informations en provenance de la machine et les outils de contrôles Non-destructifs. D'où est venu la méthode **OPTIMAC**<sup>11</sup>.

Et en plus, une source qui n'avait jamais été exploitée sur les centres d'usinages, c'est l'exploitation des mesures de Capabilité des machines.

Dans ce cas la Capabilité ne se fait pas sur les mesures des pièces, mais sur les résultats de l'usinage d'une pièce type, toujours la même, et où on peut faire des comparaisons, sur le moyen/long terme.

Une machine à 6 axes, des centaines de mesures, et donc l'idée de dire, comment puis-je à partir de ses mesures identifier quels axes sont en train de se dégrader..

Et sans **I'IA**, cela a été fait. Mais avec quel investissement intellectuel !! Maintenant ce serait facile et rapide avec les outils de **I'IA**.

## 2. Incidence sur les Méthodes et les Organisations

Est-ce que les Responsables de Maintenance ont modifié leurs Politiques, leurs Organisations, demandé des Formations sur la Fiabilité, et les Associations de Maintenance ont-elles fait leur travail de Veille Technologique ??

On voit déjà que les Normes sont dépassées, car le Préventif classique Normalisé est déjà obsolète, dépassé dans sa structure actuelle et doit changer de forme.

L'incidence de la **Maintenance 4.0** devrait être prise en compte par les éditeurs de **GMAO**, pour intégrer dans leurs équipes de développeurs des Expert Maintenance et Fiabilistes.

Par exemple, la Maintenance Conditionnelle déclenchée sur des Unités d'Usage (Volumes, quantités produites, compteurs, ne prennent pas compte les conditions d'utilisation et de la variabilité des paramètres de fonctionnement ainsi que celles des matières premières à transformer).

La surveillance continue des équipements s'en affranchie, tout en n'étant pas capable de savoir directement qu'elles sont les conditions d'environnement qui ont changées !! L'analyse humaine sera toujours nécessaire à terme pour identifier les Causes Premières, à choisir dans les familles suivantes :

- Choix stratégiques d'Achats (Moyens, Résultats)
- Conception (BE/Ingénierie)
- Réalisation (Assemblage chez le Constructeur)
- Montage (Chez le Client)
- Exploitation (Production, Opérateurs, Procédures)
- Modifications ratées
- Maintenance (Politique, Stratégie, Compétences, erreurs..)



*Presque toutes les causes premières sont d'origines humaines !!!!!*

*Ce qui n'est pas maîtrisable : Les conditions d'environnement, T°, pollutions diverses et la mort subite des composants électroniques*

<sup>11</sup> Optimisation de la maintenance par les outils de la Maintenance Conditionnelle

### 3. Solution(s) ?

Les solutions technologiques et informatiques qui nous sont proposées désormais (capteurs, logiciels d'IA, BIGDATA) viennent bousculer les processus d'élaboration des Plans de Maintenance basés sur la surveillance des paramètres physiques.

Quel problème risque d'apparaître ? Quel moyen d'Investigation non Destructif, quel capteur identifier pour quel phénomène physique à surveiller.

A part les capteurs classiques, qui existent depuis de longues années, Vibration, Température qui alimentent des alarmes sur des triggers, on a à choisir maintenant dans une bibliothèque importante de solutions.

Alors comment choisir ? Existe t-il une Méthode pour à partir d'une installation, d'une ligne de production, identifier des Modes de Défaillances, les phénomènes physiques et les capteurs à utiliser ??

Et bien oui !!

De nouvelles méthodes sont à adapter et/ou à concevoir ;

- ✓ La conception des diagnostics prévisionnels sur la base des défaillances potentielles traitées par des réseaux Bayésiens<sup>12</sup>,
- ✓ Sur la base de la Méthode **OPTIMAC**, (Méthode basée sur l'utilisation des Méthodes d'investigations non destructives classiques), la conception d'une nouvelle méthode qui prendra en compte désormais, les capteurs connectés, **MICMAP**<sup>13</sup>
- ✓ L'AMDEC y aura toujours sa place, mais si le début de l'étude sera la même, la fin en sera différente puisqu'il n'est plus besoin d'identifier la Fréquence qui est souvent un Avis, mais développer la Détection, les Modes de Défaillances, les phénomènes physiques à surveiller et identifier les capteurs adaptés
- ✓ Les Modes de Défaillances étant identifiés à partir de la description des Fonctions, les Causes étant identifiées par les Fonctions de contraintes, il apparaît que l'Analyse fonctionnelle prend toute son importance, surtout interne !!

### 4. Conclusions

Il ne faut pas réduire la **Maintenance 4.0** à la mise en place de capteurs et à leur utilisation par des solutions informatiques innovantes, mais une nouvelle solution à la vision systémique<sup>14</sup> de la fonction Maintenance.

Pour la mise en œuvre d'une Politique de Maintenance avec une vision **Proactive**, il faut quatre phases :

1. La conception du Plan de Maintenance réalisé par de l'Intelligence Naturelle inductive et la connaissance fondamentale des lois de Défaillances de toutes natures et donc la possession d'une base de données d'expérience structurée
2. Le choix et la Mise en Œuvre des capteurs, de leur collecte des données, de leur traitement, du choix des réseaux et des protocoles de communication, qui est de l'investissement technologique
3. L'exploitation des données pour identifier les dérives potentielles qui font appel à l'Intelligence Artificielle et de l'expertise des corrélations entre mesures relevées à travers des réseaux

---

<sup>12</sup> Voir le logiciel Best de la société Bayesia

<sup>13</sup> Méthode d'Identification des Capteurs pour la Maintenance et l'Analyse Proactive

<sup>14</sup> Pour ceux qui n'ont pas encore lu l'ouvrage « Le macroscopie » de Joël de Rosnay, il est encore temps...

#### 4. La recherche des Causes premières qui fait appel à de l'Intelligence Naturelle déductive.

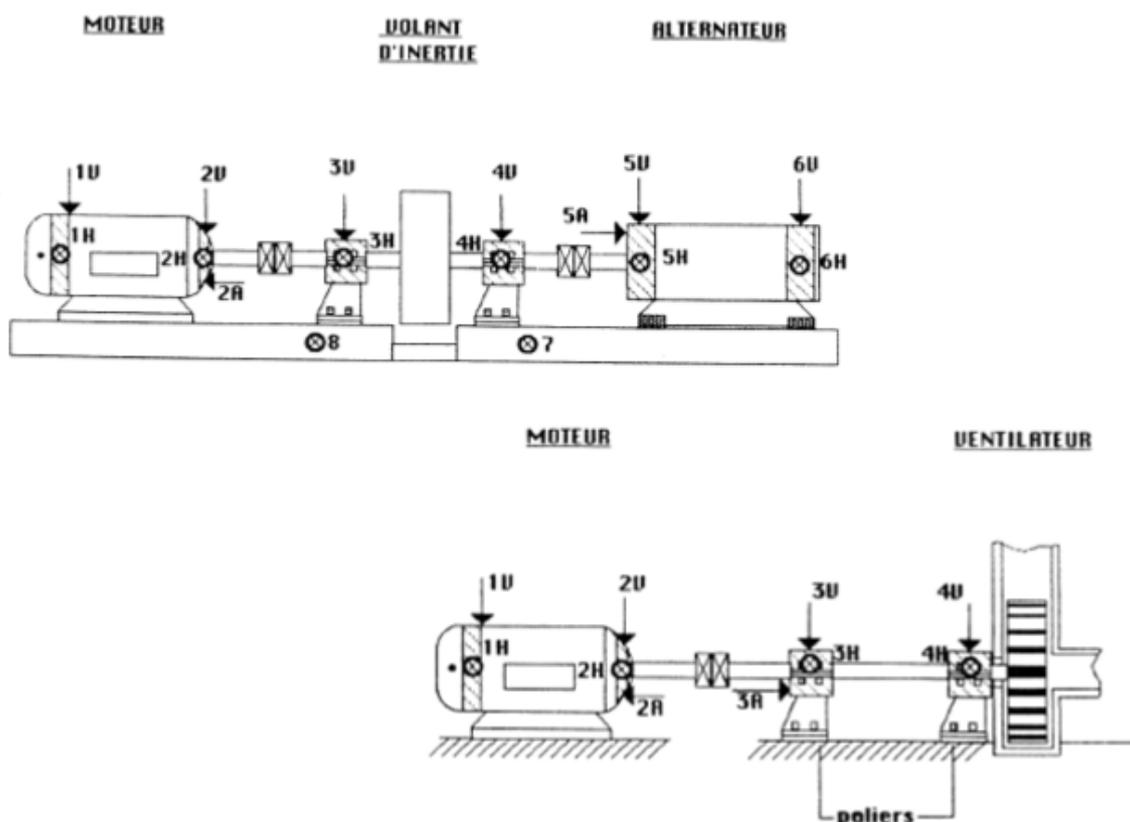
Par rapport à la conception d'un Plan de Maintenance traditionnel, basé sur l'Expérience, les Résultats des AMDEC moyens (Malheureusement souvent très mal réalisés, par manque d'Analyse Fonctionnelle préalable et de manque de culture de la Fiabilité par ceux qui y participent), la conception d'un **Plan de Maintenance 4.0** sera d'une autre nature.

Ci-dessous un exemple simplifié de recherche de capteurs basé sur les fondamentaux des AMDEC moyens mais dont les résultats n'ont plus la même forme, la Fréquence ne sert plus à rien, puisque la détection est permanente, elle devient un critère majeur.

Seules les applications basées sur des bases de données relationnelles seront utiles, terminé les **AMDEC sur Excel**, toutes les données seront en base de données relationnelles et non identifiés lors de travail de groupe, où tout le monde dit tout et n'importe quoi.

De plus l'identification des Capteurs se fera à partir de la modélisation de tous les systèmes d'entrainements possibles et imaginables et de la base de données des corrélations entre les Objets à surveiller et leurs Modes de Défaillances.

Quelques exemples de systèmes d'entrainements modélisés (parmi des centaines..) :



Le logiciel **MICMAP**© permet à partir d'une base de données de tous les systèmes d'entrainement possibles, d'identifier les capteurs utiles à mettre en œuvre pour la surveillance en continue des **Phénomènes Physiques** caractérisant les **Modes de Défaillances** des **Objets** à surveiller et leurs emplacements adaptés.

L'Analyse par **l'Entropie** permettra d'identifier si tous les capteurs identifiés sont nécessaires à conserver pour éviter la redondance inutile, où seulement certains d'entre eux, ce qui nécessite une période de test.

SOUS-ENSEMBLE	ORGANE	Mode de Défaillance Intrinsèque	Phénomène Physique à surveiller	Capteur	Actions IND. Programmation
Groupe Moto Pompe	Moteur Triphasé	Vibration	Déséquilibre du rotor	Vibration	Analyse de Vibration
			Dégradation des roulements/paliers	Vibration	Analyse de Vibration
		Echauffement	Défaut d'isolement	Température	Thermographie IR
	Fonctionnement sur deux phases		Température	Thermographie IR	
	Accouplement	Désalignement	Desserrage	Bruit	Sonomètre
			Usure	Bruit	Sonomètre
	Pompe	Vibration	Vibrations	Vibration	Analyse de Vibration
			Usure des aubes, rotor	Vibration	Analyse de Vibration
		Cavitation	Desserrage des fixations tuyauteries d'entrée et de sortie		
			Encrassement du filtre à l'aspiration	Indicateur de colmatage, Delta P	Préventif systématique
Niveau du réservoir trop bas			Contrôleur de niveau		
Fuite de garniture		Ultra-sons	Fistolet Ultra-Snore		

Si **l'Intelligence Artificielle** est utilisée pour le traitement de l'information, il restera toujours **l'Intelligence Naturelle** basée sur le Raisonnement pour identifier les Causes Premières, car les BigData ne savent pas concevoir des chaînes causales, comme le fait magistralement et informatiquement le **Défailligramme** de la méthode **MAXER, DIAGDEF**.

En résumé la Maintenance 4.0 peut s'imager avec la comparaison suivante :

- ✓ Une montre mécanique donne l'Heure, sans plus
- ✓ Une montre connectée avec des capteurs multiples en contact avec le corps humain munie des capteurs inertiels, de localisation intégrés, permet de prendre des décisions sur son état physique.

On passe d'une information basique à une information consolidée avec de nombreux horizons d'exploitation et cela avec l'aide la miniaturisation des capteurs pour la saisie de l'information fondamentale.

Il faut donc **dépoussiérer** nos vieilles méthodes et en concevoir d'autres liés aux améliorations technologiques et revenir aux fondamentaux de la culture Fiabiliste Opérationnelle, en particulier dans les programmes de formation des cursus Maintenance dans l'éducation où c'est fondamentalement très peu présent.

A suivre ...

Jean-Paul SOURIS  
 Expert Maintenance.  
 Instructeur MAXER  
 Master Black Belt Lean 6 Sigma  
 S.CONSULTANTS  
[jps@sigmaxer.fr](mailto:jps@sigmaxer.fr)  
[www.sigmaxer.fr](http://www.sigmaxer.fr)  
 tél : 01 34 87 03 73  
 gsm : 06 80 30 56 43

