

Rapport de projet de maintenance industrielle et qualité

Processus de la maintenance prédictive:

Etude de cas d'un système de climatisation, de ventilation et de réchauffement

Réalisé par: (2GE1)

JEAFAR Manale

YACOUBI Mohamed Reda

Encadré par:

Mr. CHERRAT

Remerciement

Ce rapport de projet a été le fruit d'un travail acharné et une implication mais aussi grâce à plusieurs personnes qu'il est primordial de les remercier pour leurs efforts fournies.

Aux termes de ce travail, on tient à adresser nos sincères remerciements à l'égard de notre professeur Monsieur CHERRAT pour la qualité de son enseignement, son attention et sa gentillesse, qui ont fait des séances d'enseignement de l'élément de module maintenance industrielle et qualité, un moment très intéressant d'apprentissage et de partages d'informations.

On réserve aussi une reconnaissance spéciale à tous les enseignants de l'Ecole Hassania des travaux publics qui ont su donner une formation didactique et appréciable durant notre cursus. On ne terminera pas sans avoir exprimé des remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.



Table des matières

ntroduction	3
I. Généralités sur le processus de la maintenance prédictiv	e4
I.1 Définition	5
I.2 Les objectifs de la maintenance prédictive	6
I.3 Méthode à suivre	7
I.4 Avantage de la maintenance prédictive	9
I.5 Maturité de la maintenance	10
I.6 l'ERP ET LA GMAO	12
II. Etude d'un cas réel : système de climatisation, réchauffe	ment et de
ventilation	13
II.1 Solution élaborée par Matricis	14
II.2 Test de la solution m2	15
II.3 Acquisition des données des équipements	16
II.4 Prévisions sur une période de temps	17
II.5 Prédiction de l'amorce d'une défaillance	19
II.6 Visualisation du processus	20
II.7 Création de bons de travail dans votre GMA	21
Conclusion	22
Rihliographie	23

Introduction

Nous vivons dans des sociétés purement évolutives, chaque jour et chaque moment impose un défi à surmonter. Ces défis sont de plus en plus complexes que la capacité de consommation et les attentes des personnes se multiplient sur tous les niveaux et les secteurs. Pour répondre à ses multiples besoins et résoudre les problèmes, les secteurs technologiques et industriels sont les plus concernés. Par ce fait l'industrie a connu plusieurs changements pour s'adapter aux conditions de vie de chaque génération. De nos jours l'industrie 4.0 en étant une phase marquante de l'histoire de l'industrie est devenue maintenant la préoccupation des industriels et des sociétés en général en essayant de l'investir dans différents domaines. Parmi les technologies de l'industrie 4.0 on trouve la maintenance prédictive.

Le maintien des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien que pour la qualité des produits. C'est un défi industriel impliquant la remise en cause des structures figées actuelles et la promotion de méthodes adaptées à la nature nouvelle des matériels.

Dans ce rapport de projet on va traiter les volets suivant :

- Généralités sur la maintenance prédictive.
- Etude d'un cas réel d'un système de climatisation, de réchauffement et de ventilation.



I. Généralités sur le processus de la maintenance prédictive

I.1 Définition:

Le principe de la maintenance prédictive est simple : il s'agit d'analyser les performances et de détecter en avance les baisses de rentabilité et/ou l'obsolescence des machines et appareils. Concrètement, un logiciel étudie le cycle des machines et évalue leur espérance de vie selon les cadences imposées et s'il y a un souci, un message d'alerte est envoyé au personnel en charge de la maintenance afin qu'il fasse le nécessaire. Avoir un coup d'avance dans le but de s'éviter une perte de productivité, de temps et d'argent.

Par d'autres termes, il s'agit d'une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. Elle doit permettre d'éviter les défaillances du matériel en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.



Figure : La maintenance prédictive des machines et appareils

1.2 Objectifs de la maintenance prédictive :

L'objectif final de la maintenance prédictive est double : réduire la fréquence des pannes des machines et, en conséquence, diminuer la fréquence des interventions de réparation.

Le recours à la maintenance prédictive est envisagé pour les raisons suivantes :

- ✓ Anticiper les moments précis où une panne pourrait intervenir.
- ✓ Détecter la probabilité de ces défauts.
- ✓ Prévoir les défaillances des machines avant qu'elles ne surviennent.
- ✓ Augmenter la durée de vie du matériel.
- ✓ Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- ✓ Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- ✓ Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- ✓ Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- ✓ Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc....
- ✓ Améliorer les conditions du travail du personnel de production.
- ✓ Diminuer le budget de maintenance.
- ✓ Supprimer les causes d'accidents graves.

La maintenance prévisionnelle, ou prédictive, permet de planifier les réparations de machines au moment le plus opportun pour l'entreprise, à savoir quand elles ont des conséquences minimales sur la production. Le processus optimal est de mettre en place un plan de maintenance prédictive pour réaliser des économies liées aux réparations et améliorer la productivité.

I.3 Méthodes à suivre:

Pour une maintenance prédictive optimale, il est possible de combiner différentes méthodes pour obtenir de meilleurs résultats. Nous vous présentons trois méthodes de maintenance.

Avant toute chose, il faut :

- lister les pièces à surveiller,
- établir les seuils d'alerte,
- définir la périodicité de la vérification,
- auditer la mise en place de la maintenance prédictive dans votre entreprise,
- mettre à jour la procédure dans le plan de maintenance préventive.

> La mesure acoustique

Cette méthode a recours aux ultrasons pour évaluer l'état des machines industrielles. L'écoute des ultrasons émis par les équipements en fonctionnement aide à détecter :

- un défaut mécanique,
- une fuite,
- un problème électrique,
- un défaut d'étanchéité.



Figure: diagnostic acoustique

> La thermographie

La thermographie surveille le profil thermique des équipements industriels grâce à des capteurs de températures. Les caméras infrarouges sont fréquemment utilisées.

Elle identifie les variations anormales de température qui peuvent indiquer :

- une fuite,
- un point chaud,
- un défaut électrique.

Avantage de la thermographie : elle ne nécessite aucun contact avec les machines, et n'impose donc pas d'interrompre les opérations en cours.



Figure: Thermographie infrarouge

> L'analyse vibratoire

L'analyse vibratoire intervient comme un complément de la méthode thermique ou acoustique pour confirmer un diagnostic et le préciser. Elle analyse les vibrations émises par les machines en fonctionnement.

Cette méthode identifie :

- un défaut de serrage,
- un défaut d'alignement (arbre de transmission, par exemple),
- une usure d'une pièce.

Les vibrations peuvent être mesurées selon l'amplitude, le niveau acoustique (décibels) ou la fréquence (hertz).

D'autres méthodes existent : contrôle par examen visuel, contrôle radiographique, contrôle d'étanchéité, magnétoscopie, etc.



Figure: L'analyse vibratoire

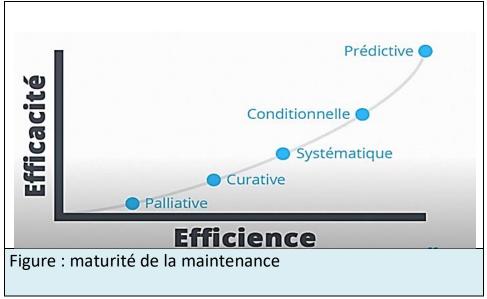
I.4 Avantages de la maintenance prédictive :

La maintenance prédictive permet :

- de diminuer le nombre d'interruptions des machines pour des opérations de maintenance,
- de diminuer le nombre de pannes,
- de mieux planifier les interventions,
- de mieux préparer les équipes d'intervention,
- de mieux échanger entre les professionnels de maintenance et les équipes de production,
- de mieux anticiper et gérer les besoins de pièces détachées des outils.

I.5 Maturité de la maintenance :

Maintenant avant d'aller plus loin au niveau de la maintenance prédictive, on va parler un peu de maturité au niveau de la maintenance.



Dans un premier temps, la maintenance en tant que terme générique, regroupe les actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien (machine, équipement, procédé...) dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

Dans un second temps, quand on parle de la maturité de la maintenance on distingue entre les interventions de maintenance corrective, qui sont consécutives à une défaillance et les actions de maintenance préventive, qui sont destinées à réduire la possibilité de défaillance.

Dans le niveau correctif cité on trouve deux volets :

Le niveau palliatif: dit aussi niveau de dépannage, c'est « l'ensemble des actions destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie de la fonction requise ». Elle permet de remettre rapidement un bien en état de fonctionnement. Elle oblige, cependant, à une deuxième intervention pour effectuer la réparation définitive. Exemple : le bâchage d'une toiture permet de mettre hors d'eau, mais elle n'est qu'une solution provisoire nécessitant une réparation définitive de la toiture. Donc son principe repose sur le fait de corriger

- temporairement la situation et à remettre provisoirement le bien en état de fonctionnement, en attendant la réparation.
- Le niveau curatif : Contrairement à la maintenance corrective palliative, qui, pour rappel, consiste à réparer un équipement provisoirement, la maintenance curative s'applique lorsqu'une machine ou une installation est en panne et ne peut être réparée. Dans ce cas il faut changer le matériel partiellement ou dans son intégralité. Il est possible que cette maintenance curative survienne après une maintenance préventive ou corrective. Dans le cadre de la maintenance curative, on ne précise pas si le matériel défectueux gêne ou non le Processus dans sa globalité. Il peut donc s'agir une réparation mineure ou majeure. Par exemple un sèche-linge dont la résistance est hors service ne sèche plus. Il faut donc intervenir et changer la résistance afin de rétablir la fonction principale du matériel. Un vélo qui aurait un pneu crevé et qui aurait été réparé avec une rustine (maintenance corrective palliative) et qui éclaterait de nouveau devra être changé : c'est la maintenance curative.

En ce qui concerne les actions de la maintenance préventive elle peut être divisée en deux niveaux :

- Le niveau systématique: Ce type de maintenance est effectué suivant un échéancier et établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage (produites). Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité de produits fabriqués, la longueur de produits fabriqués, la distance parcourue, la masse de produits fabriqués, le nombre de cycles effectués, etc.
- Le niveau conditionnel : Il s'agit d'une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.). Elle est dépendante de l'expérience et fait intervenir des informations recueillies en temps réel. On l'appelle aussi maintenance prédictive (terme non normalisé). Elle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent

systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs. Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

I.6 I'ERP ET LA GMAO:

De nos jours la grande majorité des entreprises possède un ERP mais rares sont celles à l'avoir intégré à une GMAO.

Pour l'ERP, il délivre des informations en temps réel sur tous les processus essentiels et facilite le travail des responsables de production. L'entreprise constate ainsi une nette amélioration de sa productivité, une réduction de ses couts, une meilleure flexibilité ainsi qu'une simplification de ses processus.

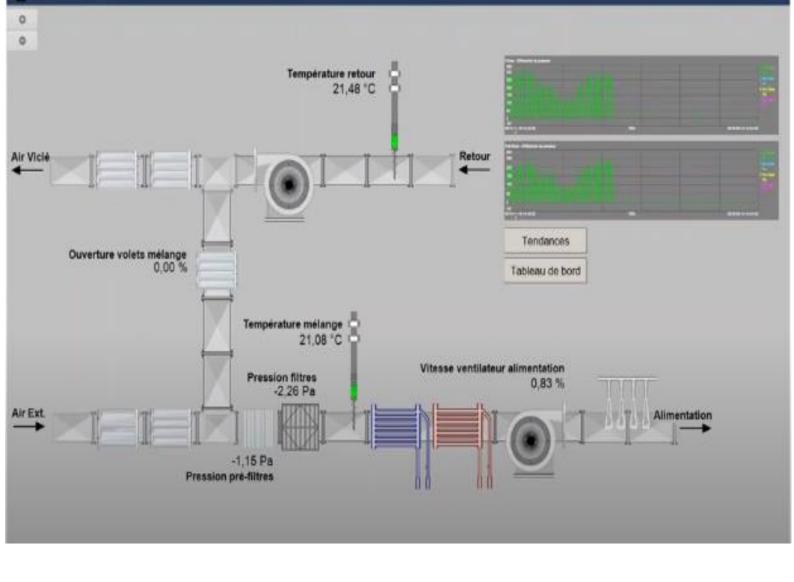
Tandis que les GMAO permettent aux entreprises d'avoir un suivi clair de l'état de leurs diverses ressources. Les équipes connaissent toutes les actions de maintenance effectuées car un tel logiciel permet de tracer, d'archiver et d'analyser le nombre de ressources déployées et les moyens physiques et matériels utilisés.

Pour qu'elle soit efficace, la GMAO doit être personnalisée : Elle doit s'adapter à l'organisation interne de l'entreprise. Cela passe par une formation des équipes de maintenance et des sous-traitants pour apprendre à utiliser l'outil

Ces petites formalités ne représentent rien à côté de l'avantage que va procurer une GMAO : Une gestion grandement améliorée (prise en charge des actifs de production, remplacement etc...).

Et en alliant les deux, on obtient :

- Une meilleure gestion des pièces détachées.
- Une meilleure gestion des commandes
- Une amélioration de la communication
- Un échange de données constant



II. Etude d'un cas réel : système de climatisation, de chauffage et de ventilation.

II.1 Solution élaborée par matricis:

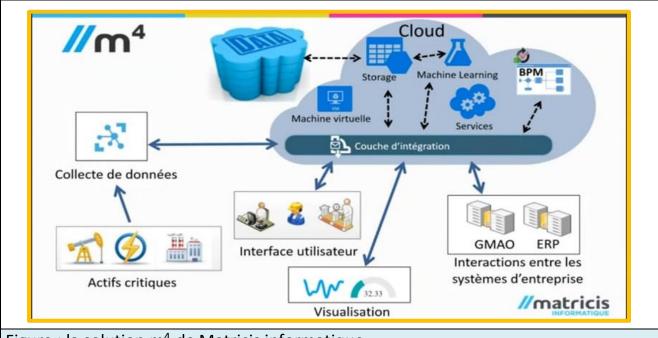


Figure: la solution m⁴ de Matricis informatique

Afin de permettre aux entreprises de bénéficier de la maintenance prédictive, Matricis informatique élaborait une solution qui s'appelle m⁴. m⁴ consiste à pouvoir connecter les données au niveau des actifs critiques qui ont un impact important au niveau opérationnel, donc peut avoir des temps d'arrêt qui peuvent occasionner des milliers de dollars de pertes monétaires. Une fois que ces actifs critiques ont été identifiés on peut collecter l'information qui évidement permet de détecter des défaillances. Ces données-là sont collectées et emmagasiner dans des bases de données historiées. Après cette action il est temps de bâtir des modèles prédictifs ; des modèles qui vont être utilisés pour pouvoir justement prédire qu'une défaillance potentielle est sur le point d'avoir lieu. En fait quand on bâtit des modèles prédictifs on ne prend pas seulement un paramètre en considération mais on va pouvoir prendre plusieurs paramètres comme on le voit tantôt en considération comme la température, la pression et ainsi de suite.

Une fois que ces modèles-là sont bâtit, maintenant on va pouvoir prendre des données et les évaluer en fonction de derniers. Cela va permettre de prédire ce qui va arriver et savoir si une défaillance potentielle est sur le point de se produire et ainsi déclencher un processus. Une fois que ce processus est déclenché il va avoir des décisions qui seront prises à la base des outils de visualisation et du tableau de bord et qui vont permettre justement de prendre les bonnes démarches et aussi interagir avec les utilisateurs. Maintenant une fois que le responsable de la maintenance a déterminé qu'il y a vraiment un problème potentiel il va pouvoir créer à partir d'une couche d'intégration qui est transparente à l'utilisateur un bon travail directement dans son GMAO ou dans son ERP.

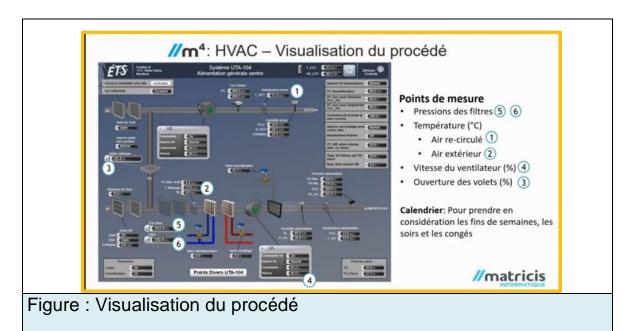
II.2 Test de la solution m⁴:

Maintenant pour pouvoir tester la solution m⁴ de Matricis informatique en collaboration avec l'école de technologie supérieur de Montréal (ETS), ils ont procédé à un projet pilote qui consistait à faire une surveillance au niveau des systèmes de climatisation, de chauffage et de ventilation.

En effet, l'une des situations qu'ils ont utilisé pour faire le projet pilote était de predre une situation où la maintenance était fréquente pour pouvoir voir les résultats le plus tôt possible. Donc il était plus adéquat de prendre une situation où les filtres devaient être changés. Pour y arriver, ils ont déterminé un certain nombre de points qui leurs permettaient justement de prédire quand le filtre doit être changé.

Il y avait la température au niveau de l'air qui circule ou de l'air qui vient de l'extérieur, la vitesse des ventilateurs, l'ouverture des volets, la pression des fils soit des pré-filtres ou des filtres. En fait avant d'élaborer des modèles prédictifs une chose qu'il a fallu faire c'est évidement de déterminer s'il y avait une certaine co-dépendance entre ces différents paramètres. Une fois que cette codépendance est déterminée, on est en mesure de déterminer les variables qui vont être utilisées pour effectuer la maintenance objective.

Une remarque à faire c'est que les listes de climatisation et de chauffage sont arrêtées durant les fins de semaine et les soirs de semaine ou les congés donc pour pouvoir élaborer des modèles qui prenne en considération l'ensemble de ces paramètres.



II.3 Acquisition des données des équipements:

Maintenant pour pouvoir collecter les données au niveau des actifs critiques dans le code du filtre, il est nécessaire de structurer ou refuser les actifs pour chaque bâtiment et regrouper les températures, les pressions et l'ouverture de volets à l'intérieur d'une même structure. Cela permet de mieux suivre l'actif pour avoir toute l'information et pouvoir prendre les bonnes décisions. Une fois une structure hiérarchisée des actifs est bâtit, les données sont mises dans une base de données chronologique.



II.4 Prévisions sur une période de temps:

Maintenant, il est temps de bâtir les modèles prédictifs, la technologie utilisée est la technologie offerte par Microsoft qui est Machine Learning dans Azure. Cette action est en mesure de bâtir des modèles par exemple des degrés de régression, des réseaux de neurones ou autres types de modèles de prédiction. L'ensemble des paramètres vont être en mesure de pouvoir prédire qu'un bris potentiel est sur le point de se produire.

Une fois les modèles prédictifs sont établi, on a prend la température et la pression. En effet, dans le graphique ci-dessous ce qui est en jaune se sont les données qu'on va appeler réels opérationnels et en ce qui est en rouge se sont les prédictions. Donc ces données prises sont pratiquement sur deux ans.

Le modèle va pouvoir s'adapter au fur et à mesure des données collectées ; plus on a de données plus le modèle redevient de plus en plus précis. Ainsi, l'observation est étalé de plus dans le temps, on voit que plus on avance dans le temps plus on se rapproche évidement de la courbe opérationnel mais on voit vraiment que la courbe était en mesure de prédire donc on voit ici que si on faisait continuer davantage on pourrait voir que le modèle donne effectivement ce qu'on attend avoir au niveau de la prédiction du remplacement des filtres en tant que tel.

On peut donc dire que plus on a des données plus le modèle est précis plus on est en mesure de se fier aux modèles et d'avoir la bonne décision.









II.5 Prédiction de l'amorce d'une défaillance :

En fait, quand on a une détection de défaillance, un courriel est envoyé aux personnes responsables qui à travers ce courriel vont pouvoir par exemple consulter les tableaux de bord pour voir les données qui viennent des températures et qui viennent aussi des pressions au niveau des filtres, et aussi jeter un coup de vue sur les tendances et les différentes courbes ainsi qu'une vue de processus de maintenance. Donc quand reçoit une alerte de cette nature-là, il est certain qu'un déclenchement d'un processus a été effectué puis à ce niveau-là il doit être pris en charge.



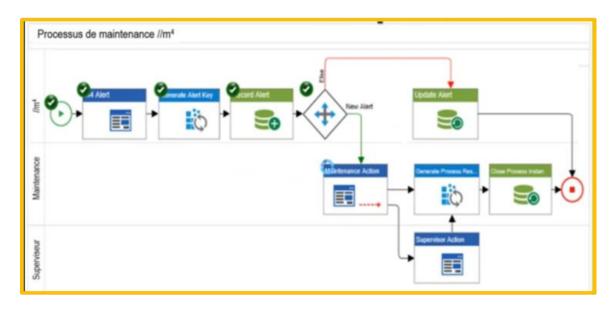
Si on regarde la figure ci-dessous, la personne qui est responsable par exemple et qui reçoit le courriel va avoir accès à une vue de procédé qui permet de voir les tendances au niveau des températures, des pressions.

Il va avoir aussi la possibilité de voir un tableau de bord sur les indicateurs de performance au niveau de la disponibilité de l'équipement et au niveau de son efficacité. Tout cela afin de pouvoir prendre les bonnes décisions au moment opportun.



Voici une vue de processus de maintenance qu'on a élaboré pour l'ETS

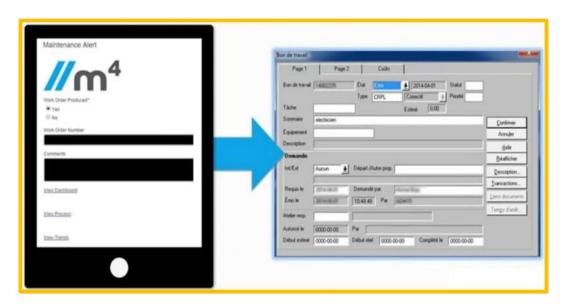
II.6 Visualisation du processus :



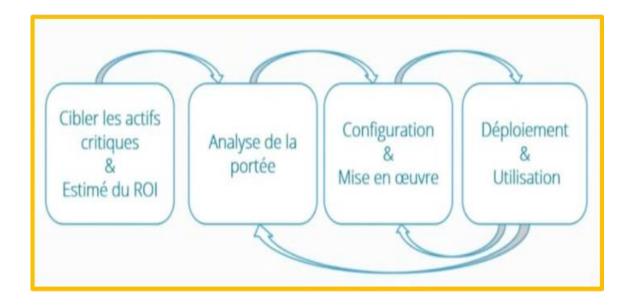
Une fois la personne détermine qu'il y a vraiment une problématique, dans ce cas il procède à créer un bon de travail dans le système de GMAO pour dire qu'il y a un bris et qu'il faut s'en occuper.

Donc ce qu'on peut voir jusqu'à maintenant c'est que le système permet de fournir des notifications, des outils de visualisation pour pouvoir prendre des bonnes décisions. Le processus est déclenché mais tout cela pour évidemment être en mesure d'offrir une solution qui est complète qui permet aux entreprises de bien gérer des bris potentiels qui peuvent arriver sur leurs actifs critiques.

II.7 Création de bons de travail dans votre GMAO :



Maintenant pour mettre en place une telle solution m^4 Matricis une méthodologie d'implantation consiste dans un premier temps de cibler les actifs critiques. En fait, on va les mettre sur des actifs qui peuvent avoir des pates de productivité ou des pates monétaires importantes au niveau de la production donc c'est important qu'au début pour voir si une solution m^4 peut ramener des bénéfices c'est d'établir ou de trouver quels sont les indicateurs de performance qu'on va suivre. Une fois qu'on les ait établi ça va permettre aussi d'estimer c'est quoi le retour sur l'investissement de l'implantation d'une telle solution.



Conclusion

La méthode de la maintenance prédictive doit être dans la mesure du possible standardisées entre les différents secteurs (production et périphériques) ; ce qui n'exclut pas l'adaptation essentielle de la méthode au matériel.

Avec l'évolution actuelle des matériels et leurs tendances à être de plus en plus fiables, la proportion des pannes accidentelles sera mieux maîtrisée.

L'étude de cas d'une solution développée par Matricis et appliquée à un système de climatisation, de chauffage et de ventilation nous a permis de témoigner du potentiel de la maintenance prédictive.

Ce projet présente un petit aperçu sur le domaine de la maintenance industrielle et le contrôle qualité et permet de donner envie pour s'ouvrir à d'autres horizons de recherches.

Bibliographie

- http://iut-gmp.univlille1.fr/fichiers/LPMICVI/15%20Stratgie%20de%20Maintenance%20Industriell e.pdf
- https://www.appvizer.fr/magazine/operations/gmao/maintenance-predictive-definition
- http://tpmattitude.fr/maintsyst.html
- https://www.matrix-engine.com/gmao-et-erp-une-fine-equipe/