



Evaluation et organisation des activités opérationnelles en maintenance dans le cadre de processus industriels

Pascal Vrignat, Manuel Avila, Florent Duculty, Frédéric Kratz

► To cite this version:

Pascal Vrignat, Manuel Avila, Florent Duculty, Frédéric Kratz. Evaluation et organisation des activités opérationnelles en maintenance dans le cadre de processus industriels. Colloque International Francophone, Evaluation des Performances et Maîtrise des Risques Technologiques pour les Systèmes Industriels et Energétiques, May 2009, LE HAVRE, France. hal-00594896

HAL Id: hal-00594896

<https://hal.science/hal-00594896>

Submitted on 23 Jun 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation et organisation des activités opérationnelles en maintenance dans le cadre de processus industriels

Pascal VRIGNAT¹, Manuel AVILA¹, Florent DUCULTY¹ et Frédéric KRATZ²

1- Institut PRISME – Equipe MCDS – Université d'Orléans
IUT de l'Indre

2, Av. François MITTERRAND
36000 Châteauroux

2- Institut PRISME – Equipe MCDS – Université d'Orléans
ENSI
88 boulevard Lahitolle
18020 Bourges cedex

Résumé : Cet article tente de montrer qu'il est possible de "qualifier" les activités et l'organisation opérationnelle en maintenance dans le cadre de processus industriels "continus" et "discontinus". Une suite d'événements particuliers peut éventuellement informer d'une panne prochaine. Notre étude tente d'appréhender "cette signature" à l'aide d'un Modèle de Markov Caché.

Mots clefs : diagnostic, maintenance, évaluation, chaîne de Markov cachée, apprentissage.

Introduction

Les activités industrielles et humaines font presque quotidiennement les grands titres des actualités avec leurs cortèges d'incidents, d'accidents ou d'événements catastrophiques. En effet, le zéro défaut ou le risque zéro n'existe malheureusement pas pour les activités industrielles à cause de l'occurrence de défaillances humaines ou matérielles (Figure 1).

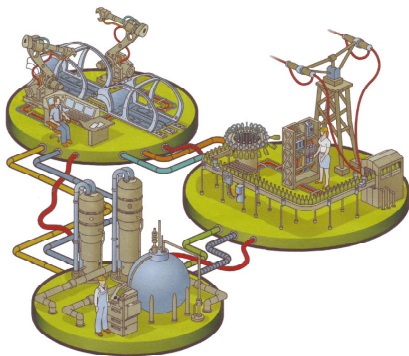


Figure 1 : Exemple schématique de processus industriels

Toutefois, pour tenter de réduire les risques à un niveau le plus faible possible et acceptable, des méthodes, des techniques et des outils scientifiques ont été développés dès le début du 20^{ème} siècle pour évaluer les risques potentiels, prévoir l'occurrence des défaillances et tenter de minimiser les conséquences des situations catastrophiques, lorsqu'elles se produisent. Dans un grand nombre d'applications industrielles, une demande croissante est apparue en matière de remplacement des

politiques de maintenance curative par des stratégies de maintenance préventive. Cette mutation depuis une situation où l'on "*subit les pannes ou les défaillances*" jusqu'à une situation où l'on "*maîtrise les pannes ou les défaillances*", nécessite des moyens technologiques ainsi que la connaissance de techniques d'analyse appropriées. L'ensemble de ces développements méthodologiques à caractère scientifique représente, à l'aube du troisième millénaire, la discipline de la sûreté de fonctionnement. La sûreté de fonctionnement consiste à connaître, évaluer, prévoir, mesurer et maîtriser les défaillances des systèmes technologiques et les défaillances humaines. Cette sûreté de fonctionnement sera de qualité si la maintenance associée est de qualité, tant sur le plan Humain que Technologique. Nous sommes, dans le cas présent, sur la description d'un processus bouclé comme le montre la Figure 2 (Basseville *et al.*, 1996).

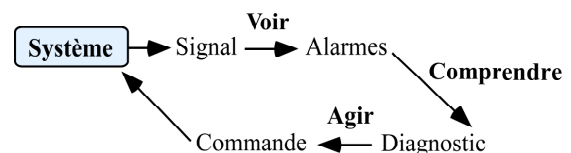


Figure 2 : Les trois étapes du diagnostic

La première étape, "*Voir*", correspond à la génération d'alarmes (i.e. la détection d'états perturbés dans le système). La suivante, "*Comprendre*", correspond au filtrage et à l'interprétation des alarmes (i.e. le traitement des alarmes pour mieux comprendre le phénomène qui a eu lieu). La dernière étape, "*Agir*", correspond à la commande du système (i.e. comment remettre le

système dans son état nominal). La fonction maintenance, dont la vocation est d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est maintenant une des fonctions stratégiques dans les entreprises. De manière plus pragmatique, un système de production n'est performant que si sa finalité, c'est-à-dire les objectifs qui lui sont attribués, les résultats qu'il fournit et les moyens qu'il met en œuvre, sont en parfaite cohérence (Figure 3), (Bescos *et al.*, 1995).

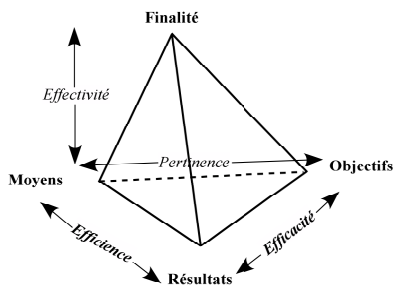


Figure 3 : Le tétraèdre des performances des systèmes de production

Par exemple, les entreprises en agroalimentaire (fabrication de pain de mie, brioche...) ou en verrerie (fabrication de plats pour cuisiner, de verres pour boire...) dépendent essentiellement du rendement des machines qui fabriquent les produits. Les fabricants de voitures tiennent à la qualité de leurs produits pour pérenniser leur image. Les industries fabriquant des produits de haute technologie (ordinateurs, vidéo-projecteurs, téléviseurs...) sont dépendantes de la vitesse à laquelle leurs produits sont commercialisables. Dans ces contextes différents, la gestion de la maintenance est loin d'être stabilisée dans un environnement où l'automatisation et le processus de fabrication deviennent de plus en plus complexes !

1. Activités de maintenance

1.1 Politiques de maintenance

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect correctif. On peut résumer les différentes politiques de maintenance selon la Figure 4. Une bonne synthèse de ces différentes stratégies de maintenance se trouve par exemple dans la thèse de B. Castanier (Castanier, 2001). Le choix d'une politique est parfois imposé, comme c'est le cas dans le nucléaire en France par exemple. Ainsi, l'optimisation de la maintenance par la fiabilité détermine la maintenance préventive "optimale". Dans le cas où il n'y a pas de maintenance préventive, cela revient à attendre la défaillance, et donc à mettre en place une

maintenance corrective. De nombreuses études ont montré que les politiques de maintenance préventive (ou plutôt mixte) sont souvent les moins onéreuses sur le long terme.

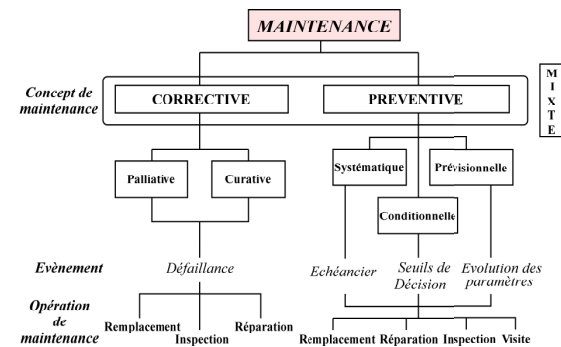


Figure 4 : Exemple de politiques de maintenance

Une approche efficace est proposée dans le cadre d'une activité de maintenance basée sur la fiabilité (Nasa, 2000). L'analyse des politiques de maintenance dans l'industrie du transport aérien à la fin des années 1960 et au début des années 1970 a conduit au développement du concept RCM¹. L'approche RCM est un concept continu recueillant des données de performance sur les systèmes. Il utilise ces données pour améliorer la conception et l'entretien futur des processus. Ces stratégies d'entretien, plutôt que d'être appliquées indépendamment, sont associées pour tirer parti de leurs compétences respectives afin d'optimiser l'efficacité tout en minimisant les coûts du cycle de vie des processus (Figure 5).

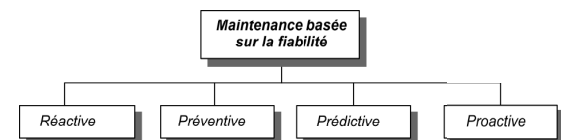


Figure 5 : Approche du concept RCM

1.2 Tentative d'établissement d'un système expert

Hypothèse : les événements qui précèdent une panne sont souvent récurrents. Une suite d'événements particuliers peut, éventuellement, informer d'une panne prochaine !

Quelques exemples connus peuvent illustrer notre hypothèse.

- En mécanique : un bruit, une vibration précèdent la rupture. Une baisse de performance traduit une ou des anomalies.
- En informatique : un déplacement inopiné du pointeur, un ralentissement, un dysfonctionnement d'une application comme un navigateur Internet peuvent traduire la présence d'un virus sur l'ordinateur concerné.

¹ Reliability Centered Maintenance

Notre approche tente d'appréhender "*cette signature*" à l'aide d'un Modèle de Markov Caché² ou HMM³. Le processus caché correspondra à l'état du système (ou sous-système) et les observations seront les informations visibles sur le système (Figure 6).

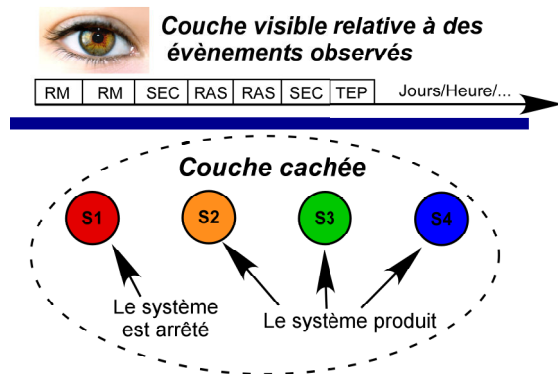


Figure 6 : Couche visible et couche cachée (états du système)

Nos travaux (Vrignat *et al.*, 2008) montrent qu'il est possible de modéliser le niveau de dégradation d'un processus (dit "*continu*"). Les résultats montrent également, que notre démarche de travail complétant les travaux de V. Zille (Zille *et al.*, 2007) peut apporter une aide à la décision dans l'organisation et l'évaluation quotidienne de la maintenance (Figure 7).

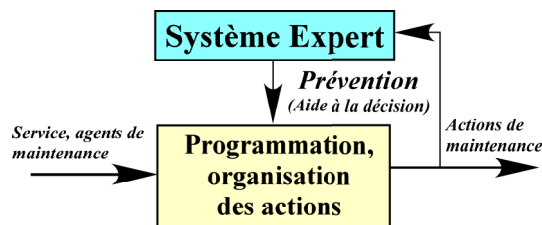


Figure 7 : Objectif des travaux initiés

2. Notre système expert

2.1 Choix de la topologie

Avant de décrire les résultats sur nos premiers essais, nous nous posons la question suivante : Combien de niveaux de vigilance significatifs et interprétables peut-on choisir ?

Force est de constater que dans bon nombre de domaines, les usages et pratiques utilisent quatre niveaux de vigilance comme dans le cas :

- du renforcement de la politique de prévention des risques liés aux inondations (Ministère de l'écologie et du développement durable – 2006),
- du plan national canicule, fortes chaleurs, sécurité des élèves et des personnels (Ministère de la santé – 2004),
- ...

Nous sommes restés sur le constat des pratiques reconnues et efficaces sur quatre niveaux.

L'apprentissage de notre modèle (Figure 8) CMC⁴ consiste à estimer son vecteur paramètre λ sur la base d'un ensemble de séquences d'observations. La Figure 8 montre également que le modèle choisi permet de situer l'estimation en S1 à la seule condition qu'il y ait eu au préalable un passage obligatoire par les états S3 et S2.

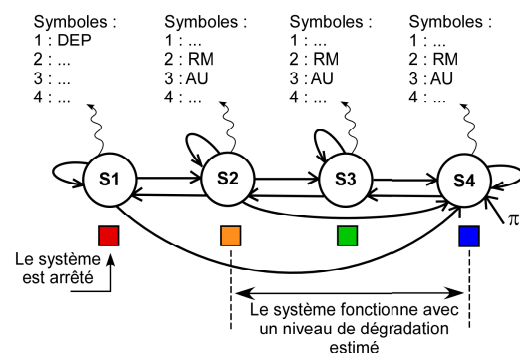


Figure 8 : Modèle à topologie orientée à 4 états

2.2 Outils utilisés

L'objectif de cet article n'est pas de présenter de façon détaillée les CMCs. Pour les lecteurs intéressés pour en savoir plus, nous vous recommandons de lire le document (Rabiner, 1989). Ce tutorial présente les CMCs. Dans cet article, nous utilisons la même notation pour les modèles.

Le modèle $\lambda = (A, B, \Pi)$ est décrit par trois matrices :

- $A = [\dots a_{ij} \dots]$ matrice de distribution des probabilités de transition entre états,
- $B = [\dots b_j(k) \dots]$ matrice de distribution des probabilités de génération des symboles,
- $\Pi = [\dots \pi_i \dots]$ matrice de distribution des probabilités initiales.

$O = \{O_1, O_2, \dots, O_T\}$ est la séquence d'observations pouvant être récupérée sur un processus.

Les CMCs trouvent leur intérêt dans la résolution de trois problèmes fondamentaux que sont l'évaluation, le décodage et l'apprentissage (Rabiner, 1989). Nous utilisons l'évaluation et l'apprentissage. Etant données une CMC λ et une séquence o d'observations, nous cherchons à

² Un modèle de Markov Caché est un processus doublement stochastique dont une composante est une chaîne de Markov non observable. Ce processus peut être observé à travers un autre ensemble de processus qui traduit une suite d'observations.

³ Hidden Markov Model

⁴ Chaîne de Markov Cachée

calculer la vraisemblance de cette séquence $\mathbf{o}$ avec la CMC λ , c'est-à-dire avec quelle probabilité la CMC λ engendre la séquence $\mathbf{o}$. Cette valeur est notée $P(\mathbf{O} = \mathbf{o} | \lambda)$.

L'apprentissage d'un modèle de Markov caché consiste à estimer son vecteur paramètre λ sur la base d'un ensemble de séquences d'observations appelé corpus d'apprentissage. L'algorithme d'apprentissage le plus communément utilisé est l'algorithme de Baum-Welch (Baum, 1972), lequel est une instance d'algorithmes EM⁵ appliquée aux CMCs. Il se fonde sur le critère du Maximum de Vraisemblance. Etant données une CMC λ et une observation $\mathbf{o}$, nous cherchons la CMC λ^* qui a la plus forte probabilité d'engendrer la séquence $\mathbf{o}$. C'est une procédure de ré-estimation itérative des matrices A , B et Π d'une CMC. Etant donné un modèle $\lambda = (A, B, \Pi)$ quelconque et une séquence d'observations $\mathbf{o} = (o_1, o_2, \dots, o_T)$, l'algorithme de Baum-Welch ré-estime les valeurs des matrices A , B et Π de façon à maximiser la vraisemblance de la séquence $\mathbf{o} : P(\mathbf{O} = \mathbf{o} | \lambda)$. Nous obtenons après exécution de l'algorithme, la CMC λ^* telle que :

$$\lambda^* = \arg \max_{\lambda} P(\mathbf{O} = \mathbf{o} | \lambda) \quad (1)$$

La dernière partie consiste à rechercher "le meilleur chemin entre états du modèle" à partir d'une séquence d'observations. Ce que nous voulons trouver, c'est la séquence d'états $\mathbf{Q}$ qui a eu le plus de chance de produire la séquence d'observations $\mathbf{O}$. Autrement dit, cela consiste à maximiser $P(\mathbf{O} | \mathbf{Q}, \lambda)$. Il existe un algorithme, basé sur la technique de programmation dynamique qui permet de calculer efficacement la valeur maximale de cette quantité et, ce faisant, de déterminer le chemin conduisant à ce résultat. Cet algorithme est l'algorithme de Viterbi (Andrew Viterbi) segmental k-means algorithm en anglais (Rabiner *et al.*, 1986). La variable $\delta(t, i)$ est définie comme la probabilité maximale que les observations jusqu'à l'instant t aient été émises par le modèle de Markov caché λ en suivant un chemin dont l'état à l'instant t est l'état d'indice i :

$$\delta(t, i) = \max_{q_1 \dots q_{t-1}} P(o_1 \dots o_t, q_1 \dots q_t = i | \lambda) \quad (2)$$

avec $\mathbf{O} = (o_1 \dots o_T)$ la suite d'observations et i le numéro de l'état atteint par le processus caché q à l'instant t (Brouard, 1999), (Aupetit, 2005).

3. Etude de cas industriels

3.1 Boulangerie industrielle

Nous présentons dans ce paragraphe le cas d'un processus continu de fabrication de pain de mie. Ce

processus fonctionne toute l'année sans interruption en équipes organisées en 3x8. Pour chaque équipe, des bases de données sont disponibles et renseignées conformément aux activités de maintenance opérationnelle (Tableau 1). La Figure 9 décrit l'organisation du processus continu. L'ensemble des informations détaillées ainsi que d'autres simulations à partir d'autres modèles topologiques sont présentés dans (Vrignat *et al.*, 2008).

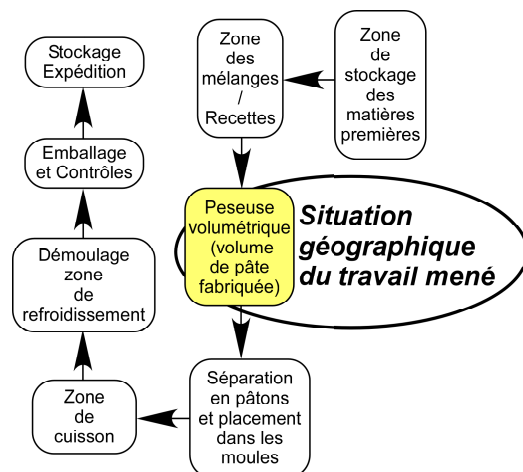


Figure 9 : Principe d'organisation du processus continu

L'arrêt d'un sous-système engendre l'arrêt total de production en amont de celui-ci. Une maintenance préventive est donc indispensable ! Le principe de fonctionnement de la peseuse volumétrique peut s'assimiler au fonctionnement d'une seringue que l'on remplirait par un effet de dépression.

A partir des données dont nous disposons, nous avons travaillé dans un premier temps à synthétiser le bilan des observations codifiées sur l'année 2005 soit au total 475 relevés relatés chronologiquement dans le Tableau 1. La base de temps choisie étant la journée (conformément à la politique de maintenance interne), nous avons inséré le code Ras dans l'empilage des interventions lorsque le service de maintenance n'était pas sollicité (Figure 10).

RM	RM	SEC	Ras	Ras	Ras	SEC	TEP	...
2	2	6	10	10	10	6	5	...

↑ ↑ ↑ Insertions journalières

Figure 10 : Principe de codage de la séquence d'observations conformément au Tableau 2 avec ses insertions de codage (10) n'étant pas présentes dans le tableau initial (Tableau 1)

⁵ Expectation-Maximization

Numéro dans la liste	NOM	EQUIPE	DATE	TRAVAUX EFFECTUES	CODES INTERNES A LA MAINTENANCE
1	M.Dupond	AM	03/01/2005	réglé cadence à la demande du RL	RM
2	M.Dupond	AM	03/01/2005	réglé cadence à la demande du RL	RM
3	M.Dupond	M	04/01/2005	consigné et deconsigne armoire	SEC
7	M.Dupond	M	08/01/2005	consigné et deconsigne	SEC
8	M.Dupond	VSD	08/01/2005	pas de bruit à vide	TEP
9	M.Dupond	VSD	08/01/2005	pas de bruit à vide	TEP

Tableau 1 : Exemple de consignation des évènements sur la peseuse M2

Etat du processus	
MARCHE	vert
ARRÊT	rouge

Codes symboliques : Observations	
N°	Nature des interventions (Observations pour modèle)
1	DEP (Dépannage/arrêt prod) sur la période
2	RM (Règle Machine) sur la période
3	AU (Autre) sur la période
4	OBS (Observation) sur la période
5	TEP (Travaux Entretien Préventif pas d'arrêt prod) sur la période
6	SEC (Sécurité) sur la période
7	RAN (Remise A Niveau / planifié) sur la période
8	NET (Nettoyage Machine) sur la période
9	VEP (Visite Entretien Préventif) sur la période
10	Ras pas d'intervention

Tableau 2 : Présentation du choix de codification symbolique des différentes occurrences d'observations

3.1.1 Résultats

L'intégralité des observations collectées durant la campagne 2005 de maintenance a servi de corpus d'apprentissage pour le modèle.

Les résultats présentés sont issus de séquences observées sur les six premiers mois de l'année 2006. Dans notre approche, nous pouvons considérer deux lectures possibles sur la création de ce "pseudo-VU-mètre" dont pourrait disposer le responsable de la maintenance. La première correspond à une estimation du niveau de dégradation du processus qui doit permettre d'orienter les choix de maintenance préventive. La seconde, permettrait une évaluation des activités de maintenance et de leur organisation comme nous en discuterons dans la conclusion.

Probabilité d'être en panne 1 ^{er} semestre 2006			
à + 1 jour	à + 2 jours	à + 3 jours	à + 4 jours
72,73%	81,82%	90,91%	100%
Temps moyen avant que la panne arrive			
4,8 jours			

Tableau 3 : Prédiction de pannes

La première lecture permettrait comme le montre le Tableau 3 la mise en place "d'alarmes" pouvant apporter de l'aide à l'expert (responsable du service de maintenance) pour ajuster les interventions prioritaires de maintenance. Les résultats présentés dans ce tableau montrent que notre "système expert" apporte une bonne estimation de la probabilité de tomber en panne.

3.1.2 Commentaires

Nous constatons Figure 11 qu'une activité de travaux d'entretien préventif permet de faire remonter la qualité du système. Ne rien faire sur le système peut engendrer une dégradation de celui-ci! Une activité opérationnelle de maintenance comme des travaux d'entretien préventif cumulés permettent de faire remonter le niveau de dégradation du système. Notre indicateur fournit donc l'information que l'on attend de lui : le niveau de dégradation.

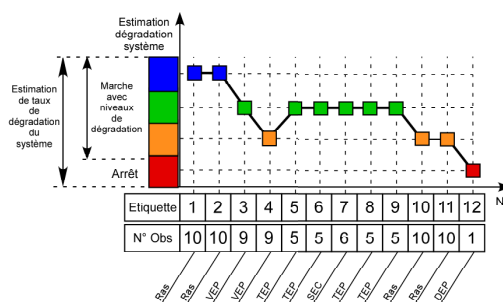


Figure 11 : Résultat obtenu (données 2006)

3.2 Fonderie aluminium

3.2.1 Approche complémentaire dans le cadre d'une démarche TPM⁶

Dans l'étude précédente issue d'un processus continu pour l'agro-alimentaire, nous avons montré que notre démarche apportait des résultats encourageants. La Figure 12 montre notre approche de travail complétée par une démarche TPM.

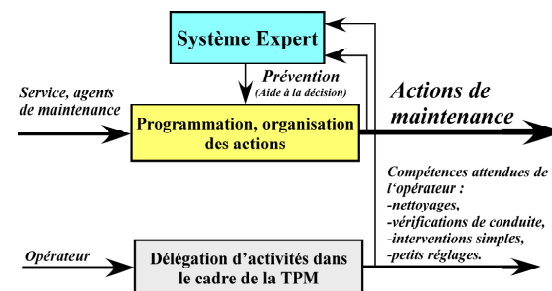


Figure 12 : Démarche de travail avec TPM

3.2.2 Contexte de travail

Montupet est un groupe industriel français, constitué en société anonyme, spécialisé dans les produits moulés en alliages d'aluminium destinés à l'industrie automobile. L'environnement du

⁶ Total Productive Maintenance

processus discontinu étudié s'intègre dans la fabrication des jantes en aluminium pour les véhicules légers au sein de cette société située à Châteauroux (Figure 13 et Figure 14).

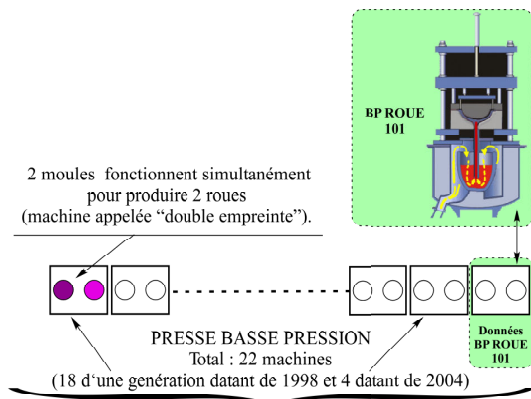


Figure 13 : Situation du processus parmi d'autres processus identiques

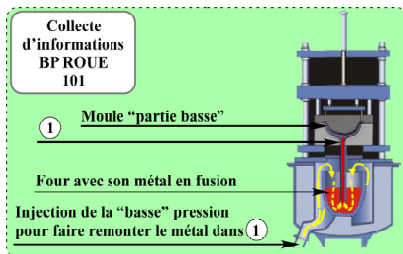


Figure 14 : Schématisation d'une presse basse pression

Le procédé consiste à remplir la pièce avec un système sous pression et à utiliser ce même système pour remplacer les masselottes⁷ afin de nourrir la pièce, les attaques servant de masselottes.

Le principe de fonctionnement de la machine basse pression repose sur quatre éléments principaux :

- le four étanche qui sera mis en pression,
- le système d'alimentation entre le four et le moule,
- le système de commande et de maintien des éléments du moule,
- le moule.

Le principe de la coulée sous basse pression consiste à appliquer dans le four étanche une pression de 0,2 à 2 bars. Cette pression permet d'élever le métal liquide jusqu'au niveau du moule. Le métal liquide monte dans le tube de liaison avant de remplir le moule. L'air contenu dans le moule s'échappe sous la pression du métal. Le principal avantage du procédé basse pression est le mode de remplissage, calme, de bas en haut qui préserve la qualité de l'alliage. La solidification se propage

⁷ Réservoir aménagé dans le moule, recevant du métal liquide lors du remplissage et restituant une partie de ce métal à la pièce pendant la solidification pour compenser la réduction de volume due à la contraction liquide et de solidification.

naturellement des zones froides aux zones chaudes, des zones éloignées vers l'attaque.

Lorsque la pièce est solide, on relâche la pression du four et le métal resté liquide, recoule dans le four, séparant ainsi la pièce du système d'alimentation.

Ce processus est maintenu par un service de maintenance et d'une délégation de petits travaux effectués par les opérateurs dans le cadre d'une démarche TPM. Ce processus fonctionne 24H/24H avec des équipes travaillant en 3x8. Le premier travail a consisté à créer une base de données car l'ensemble des interventions opérateurs était consigné sur papier. Ces données collectées sur six mois de production représentent 2218 lignes d'informations (Tableau 4). La nouvelle codification symbolique est représentée Tableau 5.

EQUIPE	N° moule	N°carcasse	DATE	Manque métal	TPM	Chang. moule	Mise en chauffe	Pb Tube colle	Pb scotche
PM	7939	45	2/1/08	401	850	605	202	112	405
	7935	47							
NUIT	7939	45					x		x
	7935	47							
AM	7906	39	3/1/08						
	7935	47				x			
Maintenance									x

Tableau 4 : Exemple sur la base de données actuelles

Codes symboliques Observations	Nature des interventions (Observations pour modèle)	
1	Manque métal	Délégation d'activités consignées dans le cadre d'une mise en place TPM (Opérateurs)
2	Nettoyage	
3	TPM	
4	Chang. moule	
5	Mise en chauffe	
6	Chappa	
7	Chocs	
8	Collier	
9	Joint	
10	Pb outillage	
11	Pb machine	
12	Pb robot	
13	Pb four	
14	Fabrication	
15	DEP (Dépannage)	Actions de maintenance (Agents de maintenance)
16	REE (Remise En Etat)	
17	PREV (Préventif)	
18	RAS (Rien à signaler)	
19	PPROD (Pas de Production)	

Tableau 5 : Présentation du choix de codification symbolique des différentes occurrences d'observations

3.2.3 Méthode utilisée

La méthode utilisée est identique à celle présentée dans le paragraphe 2 avec un préalable :

- la base de temps choisie est 2 heures (temps moyen calculé ou perdure une observation sur le corpus d'apprentissage),
- le système est arrêté s'il y a une situation de dépannage ou s'il y a une situation de mise en chauffe du four (respect de la

considération objective du retour sur expérience du terrain).

Le corpus d'apprentissage, issu des données relatives aux quatre premiers mois de l'année 2008, a servi à établir le modèle. La suite chronologique des mois suivants a servi de base de tests.

3.2.4 Résultats

Probabilité d'être en panne période : avril - juin			
à + 2 heures	à + 4 heures	à + 6 heures	à + 8 heures
71,43%	71,43%	85,72%	100%
Temps moyen avant que la panne arrive			
109,30 heures			

Tableau 6 : Prédiction de pannes

Le Tableau 6 montre que dans notre étude, la prévision de panne à venir et donc la sollicitation éventuelle du service de dépannage est forte à 2 heures. Sur la période testée, le passage "à l'orange" (S2) signifie que la panne arrivera forcément dans les 8 heures. Cela devrait conduire le gestionnaire de la maintenance à programmer "d'urgence" une intervention pour éviter la panne.

3.2.5 Commentaires

La Figure 15 montre que les informations qui sont issues du terrain sont à prendre en considération. Des problèmes outillage (Pb outillage) sont très impactant sur la bonne marche du processus. La Figure 16 montre qu'une activité de remise en état (REE) sur le processus fait remonter la qualité de l'estimation.

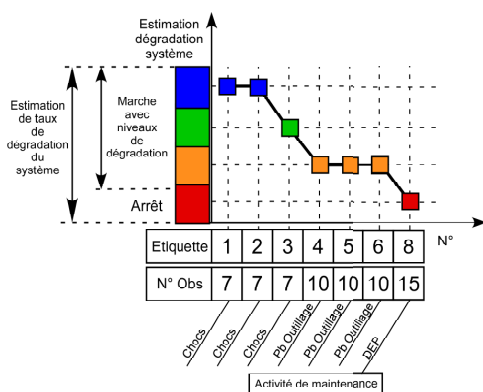


Figure 15 : Résultat obtenu (données 2008)

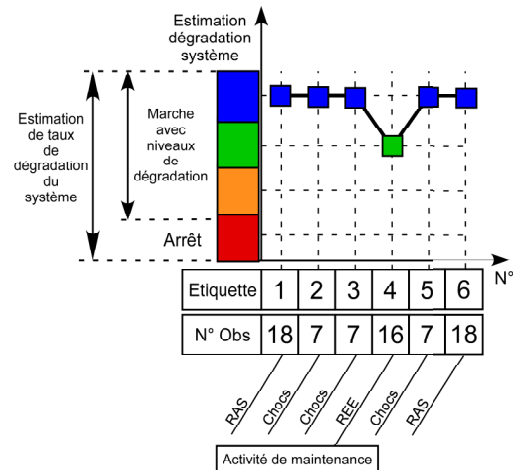


Figure 16 : Résultat obtenu (données 2008)

4. Conclusion

Les résultats des deux cas présentés montrent que notre modélisation fournit une bonne prédiction de la panne. Cet indicateur doit pouvoir aider à la planification des opérations de maintenance préventive.

Dans le premier cas, les actions de maintenance étant effectuées pour la journée, la prévision à la journée est suffisante pour affecter les priorités des actions de maintenance. Cela suppose également de pouvoir disposer d'un indicateur pour chaque ensemble ou sous-ensemble de l'outil de production.

Dans le second cas, les prévisions sont mises à jour toutes les deux heures. Cela permet à l'opérateur de décider s'il est nécessaire d'opérer des actions préventives pendant la durée de son service.

Dans les deux cas, le passage à l'orange (S2) indique que la panne est imminente, relativement à l'échelle temporelle concernée (jour/heure). Dans la majorité des cas, la panne arrivera au prochain cycle ; dans une plus faible partie des cas, la panne arrivera un peu plus tard, ce qui laisserait un peu de marge de manœuvre pour intervenir sur le terrain. Les tests ayant été effectués a posteriori, nous ne pouvons évaluer les effets d'éventuelles actions préventives. En considérant le cas de la boulangerie industrielle, la Figure 17 montre que deux visites d'entretien préventif amènent l'estimation du processus à un niveau très alarmant (orange/S2). Ensuite des travaux d'entretien préventif font remonter le niveau de l'estimation. Malgré ces actions, suite à une visite d'entretien préventif (étiquette n°15) le système est arrêté avec une intervention de dépannage !

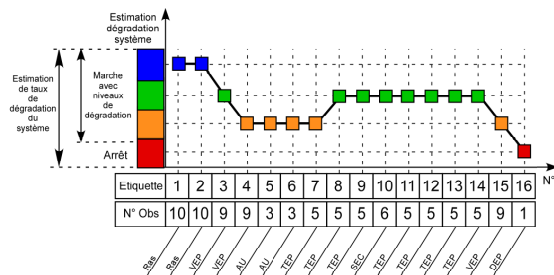


Figure 17 : Résultat obtenu (données 2006)

De façon plus générale, l'utilisation du modèle a posteriori peut permettre d'évaluer ou de critiquer les actions de maintenance. En effet, ces actions invasives peuvent parfois altérer le processus et accélérer la venue de la panne (Figure 17).

4.1 Perspectives

Afin d'améliorer la pertinence de notre estimateur, il nous reste quelques pistes à explorer. L'amélioration de l'échantillonnage des données est nécessaire pour affiner la prise en compte du temps qui s'écoule. Nous allons notamment comparer notre modèle avec des lois de dégradation "classiques" (Weibull, Exponentielle, Bertholon...). Une analyse de la pertinence des symboles sera également effectuée, par exemple pour limiter leur nombre. Dans le cas de la fonderie, dès que nous disposerons des données d'autres presses, nous pourrions comparer le comportement des différentes presses. Se comportent-elles toutes de la même façon (Figure 18) ?

4.2 Remerciements

Nous tenons à remercier nos différents partenaires industriels :

- boulangerie industrielle (Harry's),
- fonderie aluminium (Montupet),
- fonderie verre (Arc International).

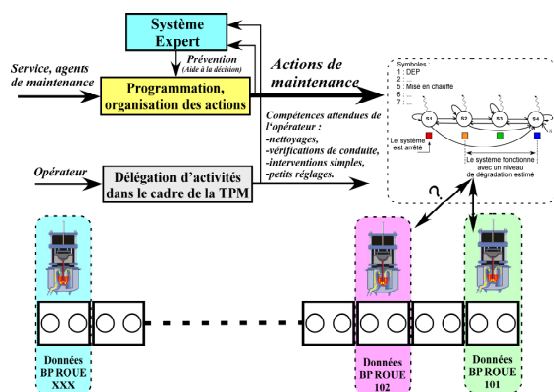


Figure 18 : Confrontation de la méthode et du modèle estimé sur d'autres processus identiques

Références

- Aupetit S., "Contribution aux modèles de Markov cachés : Métaheuristiques d'apprentissage, nouveaux modèles et visualisation de dissimilarité", Thèse de doctorat, Université François Rabelais, Tours, 2005.
- Basseville M., Cordier M. O., "Surveillance et diagnostic de systèmes dynamiques : approches complémentaires du Traitement de Signal et de l'Intelligence Artificielle", Rapport de Recherche INRIA 2861, 1996.
- Baum L. E., "An inequality and associated maximisation technique in statistical estimation for probabilistic functions", Inequalities, 3, pp. 1 – 8, 1972.
- Bescos P.L., Dobler P., Mendoza C., Naulleau G., "Contrôle de gestion et Management", Editions Montchrestien, Paris, 1995.
- Brouard T., "Hybridation de Chaînes de Markov Cachées : conception d'algorithmes d'apprentissage et applications", Thèse de doctorat, Université François Rabelais, Tours, 1999.
- Castanier B., "Modélisation stochastique et optimisation de la maintenance conditionnelle des systèmes à dégradation graduelle", Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes, 2001.
- Nasa, "Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment", February, 2000.
- Rabiner L. R., "A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition", Proceeding of the IEEE, 77(2), pp. 257 – 286, 1989.
- Rabiner L. R., Juang B. H., Levinson S. E., & Sondhi M. M., "Recognition of isolated digits using hidden Markov models with continuous mixture densities", AT&T Technical Journal, 64 , pp. 1211 – 1222, 1986.
- Vrignat P., Avila M., Duculty F., Kratz F., "Modélisation des dysfonctionnements d'un système dans le cadre d'activités de maintenance ", 16ème Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, Avignon, Communication 4A-1, 2008.
- Zille V., Bérenguer C., Grall A., Despujols A., Lonchampt J., "Modelling and simulation of complex maintenance strategies for multi-component systems", Maintenance and facility Management, 2007.