



# État critique

Quelles stratégies de maintenance pour les sites industriels complexes ?

KARI SAARINEN, SHIVA SANDER TAVALLAEY, PATRIK M. WESTERLUND – Passer d'une stratégie de maintenance réactive à une stratégie préventive peut s'avérer payant pour bon nombre de secteurs industriels. Pour autant, l'industrie des procédés compte des installations avec des milliers d'équipements pour lesquels il est difficile, voire impossible, de mettre en œuvre des actions purement préventives. Dans ce cas, quelles méthodes adopter pour optimiser la maintenance de ces sites ? La méthodologie analytique CRIM (*CRI*ticality-*AN*alysis-based *MA*intenance) d'ABB permet d'identifier rapidement les équipements critiques et de planifier de manière opportune les tâches de maintenance au vu des contraintes d'environnement et d'exploitation. Elle détermine la criticité des équipements de l'usine avant d'analyser leur coût global.



La méthodologie CRIM d'ABB privilégie une stratégie de maintenance financièrement avantageuse pour l'ensemble d'un site industriel par une analyse systématique de la criticité des équipements, une analyse de coût global et une estimation de la durée de vie.

Les méthodes d'optimisation de la maintenance vont des plus simples, basées sur le retour d'expérience et l'empirisme, aux plus complexes. Parmi les premières, citons la stratégie «non-interventionniste» qui consiste à exploiter jusqu'à la défaillance des équipements redondants et à très faible taux de panne ; la maintenance à échéance fixe, des plus efficaces lorsque la remise en état ou le remplacement périodique d'un équipement coûte

moins cher que les conséquences de sa défaillance et qu'un seul mode de défaillance connu prédomine ; enfin, la maintenance conditionnelle, la plus économique pour les équipements critiques.

Les méthodes plus complexes incluent la maintenance basée sur la fiabilité, très exhaustive pour fixer la meilleure politique de maintenance proactive et s'assurer une fiabilité élevée des systèmes, ou encore la topomaintenance (*total productive maintenance*) qui associe qualité totale et maintenance proactive afin de maximiser le rendement productif. La première est

assez lourde à mettre en œuvre et la deuxième se focalise sur la productivité des machines ; aucune n'est donc adaptée au contexte du process. La méthodologie CRIM d'ABB, par contre, y trouve

Les facteurs de criticité sont identifiés avec les spécialistes de la maintenance et du process.

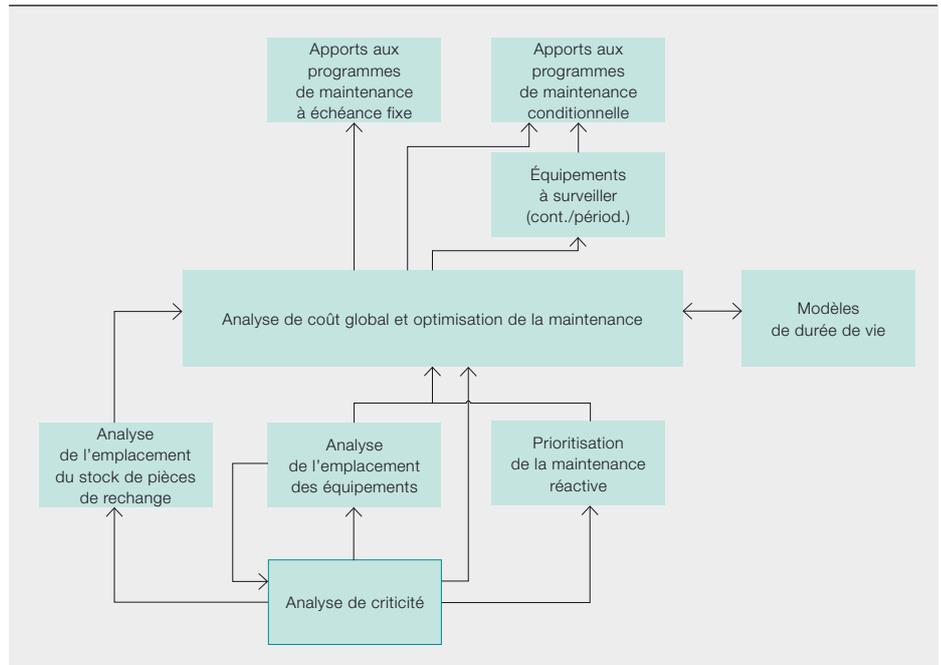
parfaitement sa place car elle privilégie une stratégie de maintenance financièrement avantageuse pour l'ensemble d'un site industriel. Ses trois volets sont une analyse systématique de la criticité des

#### Photo

Adopter les bonnes stratégies de maintenance pour un site regroupant plusieurs milliers d'équipements (comme cette installation de pelletisation de minerai de fer) n'est pas chose aisée. La méthode CRIM d'ABB aide à identifier les stratégies les plus efficaces.

L'analyse de criticité suppose une analyse quantitative des événements et défauts, ainsi que leur hiérarchisation afin d'établir la gravité de leurs conséquences.

## 1 Synoptique de la méthodologie CRIM



équipements, une analyse de coût global et une estimation de la durée de vie.

### Méthode analytique CRIM

Point de départ de la méthode CRIM, l'analyse de criticité → 1 est au cœur de toute politique de maintenance et de fiabilité. Elle consiste à déterminer l'indice de criticité d'un équipement et son impact sur la sécurité des personnes, l'environnement et le procédé de production. Elle établit également le niveau d'attention requis par l'équipement en termes de stratégie et de tactique de maintenance.

L'étape suivante est une analyse de coût global des actifs identifiés comme critiques afin de démontrer les avantages

elle suppose une analyse quantitative des événements et défauts, ainsi que leur hiérarchisation afin d'établir la gravité de leurs conséquences. En d'autres termes, seules les conséquences des défaillances sont ici évaluées. Les probabilités de défaillance sont prises en compte ultérieurement lors de l'analyse de coût global.

Une méthode rigoureuse et des outils *ad hoc* permettent d'analyser la criticité de milliers d'équipements à un coût raisonnable.

Avant de démarrer l'analyse, l'animateur ABB du groupe de travail demande au client de dresser la liste de tous les équipements concernés.

L'animateur ABB du groupe de travail pose une série de questions sur chaque équipement et, partant des réponses, attribue des indices de criticité.

de stratégies de maintenance spécifiques pour ces actifs.

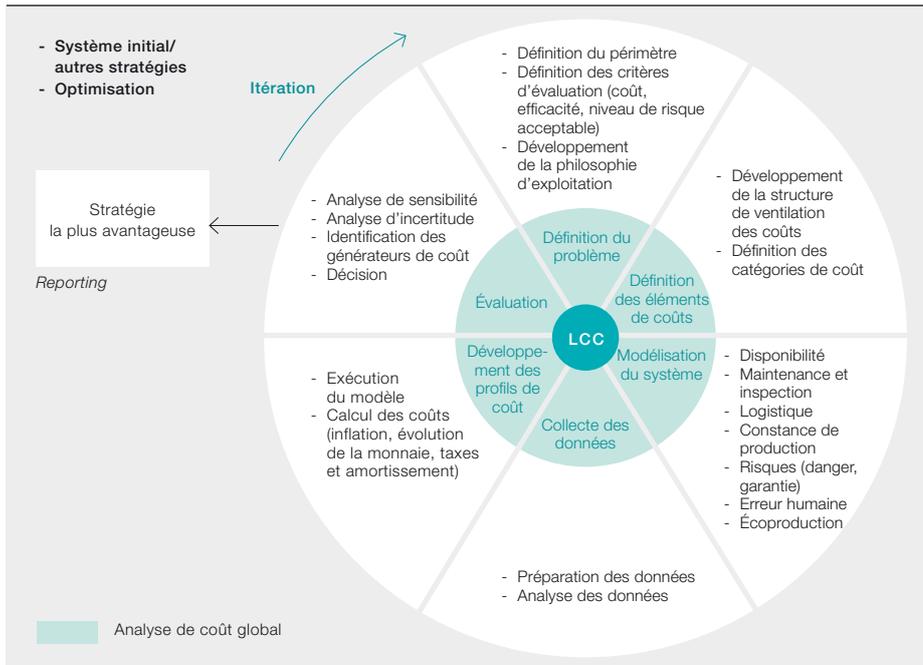
### Analyse de criticité

La criticité est une mesure relative des conséquences d'une défaillance. De fait,

lors de la réunion, il pose une série de questions très précises sur chaque équipement et, partant des réponses, attribue des indices de criticité spécifiques à chacun des facteurs de criticité de la liste. Ces derniers

auront été préalablement identifiés lors d'échanges avec les spécialistes de la maintenance et du process. L'indice de criticité final, automatiquement établi pour chaque actif, tient compte de très nombreuses variables : temps d'indispo-

## 2 Analyse de coût global [1]



La différence entre les pertes de production résultant de la défaillance de l'équipement et celles dues à l'arrêt pour maintenance préventive est l'élément clé de l'analyse.

## L'analyse de coût global prend en compte la somme des dépenses sur tout le cycle de vie d'un équipement.

abilité, temps de réactivité de la production, capacité, qualité, environnement, risques sécuritaires et pertes d'énergie engendrés par la défaillance de l'équipement et effets secondaires ultérieurs. Un rapport d'analyse de criticité est ensuite élaboré.

### Analyse de coût global

L'analyse de coût global prend en compte la somme des dépenses tout au long de la vie d'un équipement (recherche et développement, fabrication, exploitation, maintenance et fin de vie). Elle débute par la définition du problème → 2 et procède dans le sens horaire de manière itérative jusqu'à remplir tous les critères définis au début.

Avec la méthode CRIM, il s'agit de déterminer les dépenses de maintenance moyennes minimales sur le long terme par unité de temps, calculées pour trois stratégies de maintenance : réactive, à échéance fixe et conditionnelle.

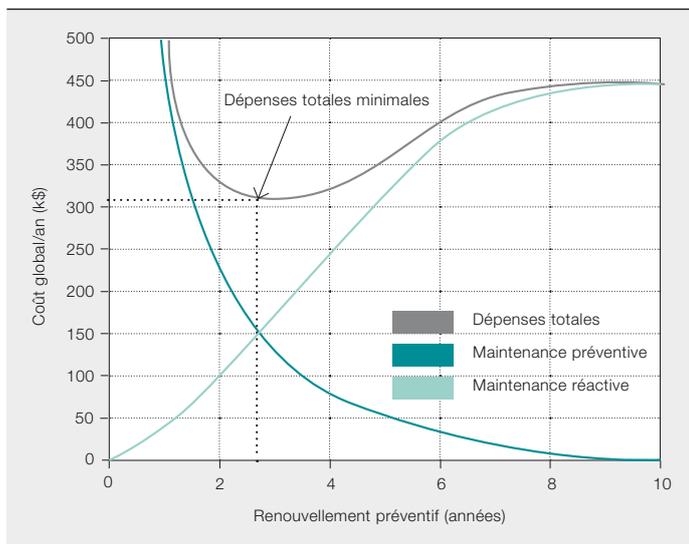
Dans le cas présent, on ne tient compte que des dépenses liées à la stratégie sélectionnée pour l'équipement en question, soit les dépenses en capital pour sa maintenance conditionnelle. Aucune dépense en capital n'est donc liée à sa maintenance réactive. Les dépenses d'exploitation se décomposent en charges fixes annuelles et en dépenses pour des tâches de maintenance réactive ou préventive. Les charges fixes annuelles n'incluent que les dépenses pour la surveillance d'état.

La différence entre les pertes de production résultant de la défaillance de l'équipement et celles dues à l'arrêt pour maintenance préventive est l'élément clé de l'analyse.

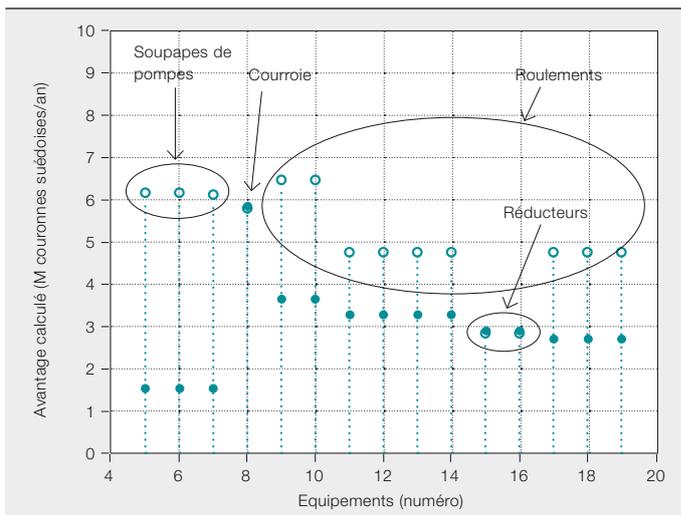
Une action proactive ou préventive est engagée sur la base des besoins prévisionnels de maintenance, sa définition excluant l'étape du diagnostic. Si elle est parfaitement préparée et anticipée, l'arrêt de production doit être beaucoup plus court que pour une action réactive. De même, tout matériel nécessaire peut être commandé avant que ne survienne la défaillance et être ainsi disponible au moment opportun.

Le coût moyen d'une action de maintenance au cours d'une période donnée est la somme des différentes dépenses de maintenance, chacune pondérée par la fréquence de l'intervention. La fré-

### 3 Coût global d'un actif renouvelé après un certain nombre d'années ou après défaillance



### 4 Avantage d'une maintenance à échéance fixe (cercles pleins) ou d'une surveillance d'état (cercles vides), calculé pour des équipements d'indice de criticité 4 ou 5



La méthode CRIM détermine les dépenses de maintenance moyennes minimales sur le long terme par unité de temps, calculées pour trois stratégies de maintenance : réactive, à échéance fixe et conditionnelle.

quence et le nombre total d'actions dépendent de la stratégie de maintenance sélectionnée. Cette fréquence est évaluée par des modèles de durée de vie qui intègrent les différentes conditions d'exploitation des actifs concernés : température, saleté, niveau de charge, etc. Celles-ci sont déterminées au cours de l'analyse des équipements critiques (cf. *supra*).

Étape suivante : utiliser les modèles de durée de vie et de coûts pour élaborer le modèle de coût global de chacune des stratégies de maintenance. Dans un exemple concret de maintenance à échéance fixe, où l'équipement fut changé après avoir atteint l'âge de remplacement préventif ou au moment de sa défaillance (à la première de ces deux conditions), l'intervalle de remplacement optimal fut estimé à 2,8 années pour un coût global annuel de 310 000 dollars → 3.

L'analyse de coût global peut également servir à optimiser les stocks de pièces de rechange en calculant le coût global de différents emplacements de stockage.

Les effets de tout changement de variables d'entrée sur les résultats sont examinés par une analyse de sensibilité et d'incertitude. Un changement dans une plage donnée peut montrer l'impact des facteurs majeurs et des arbitrages sur le coût.

#### Cas de figure

Une analyse de criticité de 2 jours au sein d'un site client pilote fut menée sur 698 équipements de 2 lignes de procédé.

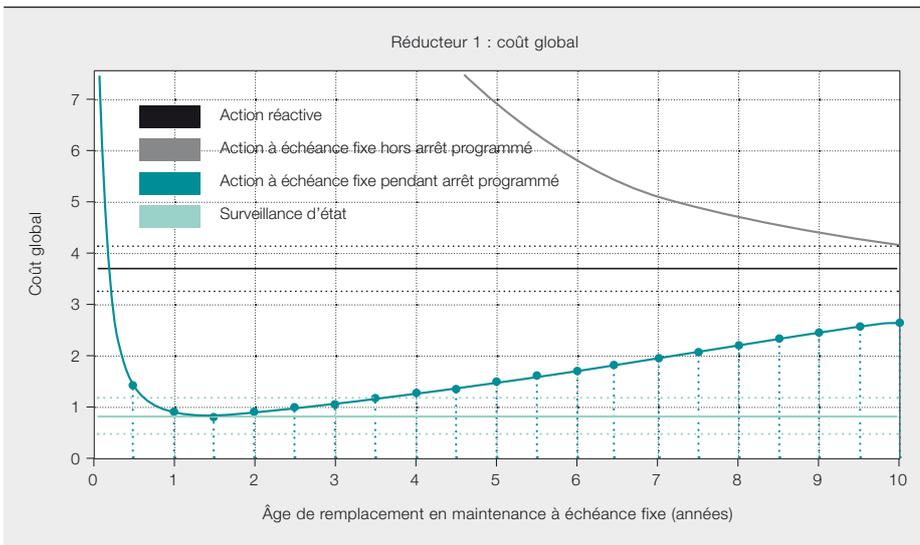
La phase de préparation et de saisie des données se déroula sur une matinée, les 100 premiers équipements furent analysés durant le reste de la journée, puis 50 à 100 équipements par heure le lendemain. L'analyse de criticité alimente l'analyse de coût global et l'outil CRIM calcule le coût global des composants critiques identifiés → 4.

Tous les coûts globaux calculés pour un actif (réducteur, par exemple) figurent en → 5. Les pointillés indiquent les incertitudes des différentes analyses de coût global. Dans ce cas précis, la maintenance à échéance fixe présente un intervalle économique optimal par rapport aux stratégies correspondantes de maintenance conditionnelle. On voit également qu'une action de maintenance à échéance fixe qui n'est pas réalisée au cours des arrêts programmés n'a pas de coût minimal et revient plus cher qu'une maintenance réactive. Une analyse de sensibilité est généralement réalisée pour calculer l'impact d'un petit changement positif ou négatif de chaque variable sur les résultats du coût global.

La liste de pièces de rechange générée par l'outil d'analyse de criticité sert à optimiser encore plus leur emplacement en utilisant l'analyse de coût global.

Une comparaison du coût global calculé d'une série d'actifs avec deux hypothèses différentes pour l'emplacement des pièces de rechange (délais d'approvisionnement supérieurs à un jour comparés à une heure) montre que, dans

## 5 Coût global de l'exemple « réducteur 1 » en fonction de l'âge de remplacement, compte tenu de 10 % d'incertitude (pointillés) dans les variables du modèle de durée de vie



## 6 Impact de la baisse de l'indice de criticité sur le coût global suite au changement d'emplacement des pièces de rechange

Type d'équipements	Indice de criticité	Évolution du coût global (k\$/an)	Coût des pièces de rechange (k\$)
Interrupteurs	5 → 2	350	31
Soupapes de pompes	5 → 3	512	15
Ventilateurs de refroidissement	3 → 1	113	3
Capteurs	3 → 1	77	3

certain cas, le coût global peut être considérablement réduit en rapprochant tout simplement les pièces de rechange de l'équipement ou en améliorant leur disponibilité.

De plus, ce changement d'emplacement peut avoir un impact direct sur l'indice de criticité calculé par CRIM; dans le tableau → 6, l'indice concernant des interrupteurs est passé de la valeur maximale (5) à la valeur non critique (2).

Le tableau montre l'effet de la baisse de l'indice de criticité sur le coût global. Le coût correspondant de la pièce de rechange utilisé dans le calcul ne représente plus qu'une infime partie du coût global.

### Solution CRIM

La solution CRIM aide l'industriel à panacher de manière optimale ses stratégies de maintenance prédictive, préventive et non-interventionniste pour les milliers d'équipements de l'usine. Dans notre exemple du site pilote, la mise en place d'une stratégie appropriée de maintenance conditionnelle et l'utilisation de moyens adéquats de surveillance d'état des soupapes de pompes et des roule-

ments identifiés comme critiques ont permis de réduire le coût global de 620 000 dollars par an.

Une des conclusions majeures de l'étude pilote est qu'il serait opportun d'effectuer une analyse CRIM dès le stade de conception d'un site ou lors des essais de réception. De même, la participation d'experts pluridisciplinaires est essentielle.

Ce sont peut-être les propos du client lui-même qui constituent l'argument le plus fort en faveur de l'analyse CRIM: «Avons-nous le choix de ne pas passer toute l'usine au crible de l'analyse CRIM?»

**Kari Saarinen**  
**Shiva Sander Tavallaey**  
 ABB Corporate Research  
 Västerås (Suède)  
 kari.saarinen@se.abb.com  
 shiva.sander-tavallaey@se.abb.com

**Patrik M. Westerlund**  
 ABB AB, Process Automation, Mining  
 Umea (Suède)  
 patrik.m.westerlund@se.abb.com

### Bibliographie

- [1] Kawauchi, Y., Rausand, M., «Life cycle cost analysis in oil and chemical process industries», [en ligne], disponible sur : <http://www.ntnu.no/ross/reports/lcc.pdf>, 1999.