

Analyser la fiabilité

Des outils d'évaluation probabiliste et de modélisation aident une usine de traitement des liquides du gaz naturel à améliorer sa maintenance et à fiabiliser ses équipements

Fernando Vicente, Hector Kessel, Richard M. Rockwood

Depuis plusieurs années, la fiabilité – caractérisée, au sens mathématique, par la probabilité qu'un dispositif (produit, équipement, système ou procédé) accomplisse une ou plusieurs fonctions requises dans les conditions données pendant une durée donnée –, revêt une importance grandissante dans toute démarche d'amélioration continue. Fiabiliser un procédé et, ce faisant, réduire les coûts de défaillance de l'équipement contribuent à accroître la production et la marge brute de l'industriel. Qui plus est, la fiabilité renforce la sécurité du site et diminue la gravité des menaces sur l'environnement.

Dans le contexte très concurrentiel de l'industrie pétrogazière, les usines doivent faire preuve d'un haut niveau de fiabilité, sans pertes financières ni surcoûts. ABB les aide à atteindre ce triple objectif moyennant des mesures objectives et quantifiables permettant de résoudre les défaillances matérielles le plus tôt possible. Cet article relate trois exemples ciblés d'analyse de fiabilité réalisée sur le site Loma La Lata de MEGA, en Argentine. Et depuis, les économies coulent à flot!

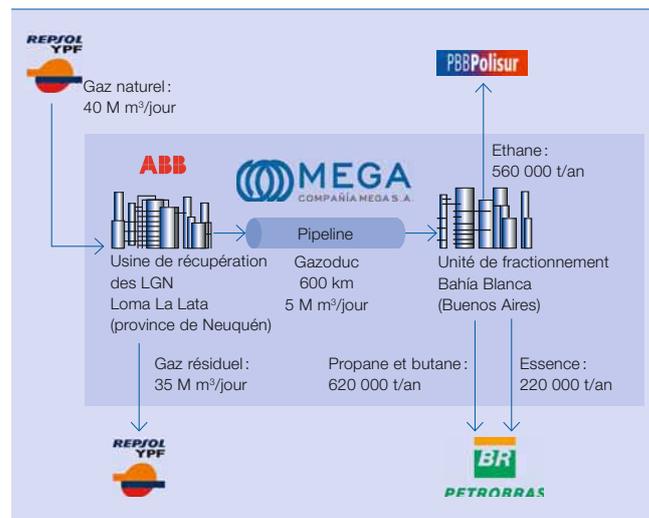
Les industriels bien avisés ciblent le *zéro défaut* et le *zéro accident*, auxquels beaucoup ajoutent la *tolérance zéro* sur les défaillances pour briguer le *zéro panne*. Néanmoins, les équipements laissés sans surveillance finissent toujours par « lâcher ». Pour y remédier, les grandes entreprises ont recours à deux stratégies décisives de gestion des actifs industriels : la maintenance conditionnelle et les programmes de fiabilité. Leur but est de maîtriser les défaillances en les détectant à un stade précoce et en planifiant les interventions selon un échéancier précis.

Les programmes de fiabilité font beaucoup pour cette double stratégie, comme en attestent les trois études de cas ci-dessous : la première analyse la fiabilité d'une garniture d'étanchéité mécanique de pompe de liquides du gaz naturel ; la deuxième valide une modification de compresseur à vis ; la troisième évalue la fiabilité d'un transmetteur de température.

Le partenariat MEGA – ABB sous l'étendard Full Service®

Dans le cadre de son contrat Full Service® avec MEGA, complexe gazier implanté sur le site argentin de Loma La Lata (province de Neuquén), ABB multiplie les responsabilités : installations mécaniques et électriques, ins-

1 Synoptique de production de gaz MEGA à Loma La Lata (Argentine)



trumentation, gestion et contrôle statiques, planification, ordonnancement et gestion complète des pièces détachées.

Pour consolider sa position sur un marché mondialisé, une entreprise doit jouer sur les deux tableaux de la disponibilité et la fiabilité de ses équipements.

Le site de MEGA se charge de récupérer et de débarrasser le méthane, principal constituant du gaz naturel, des hydrocarbures lourds appelés « liquides du gaz naturel » (LGN), pour le

reinjecter dans le gazoduc approvisionnant le marché argentin. Les autres composants sont acheminés vers l'unité de fractionnement de Bahía Blanca, près de Buenos Aires, qui les décompose en éthane, propane, butane et essence pour les vendre à l'Etat argentin et à Bahía Blanca elle-même 1.

Satisfaction client

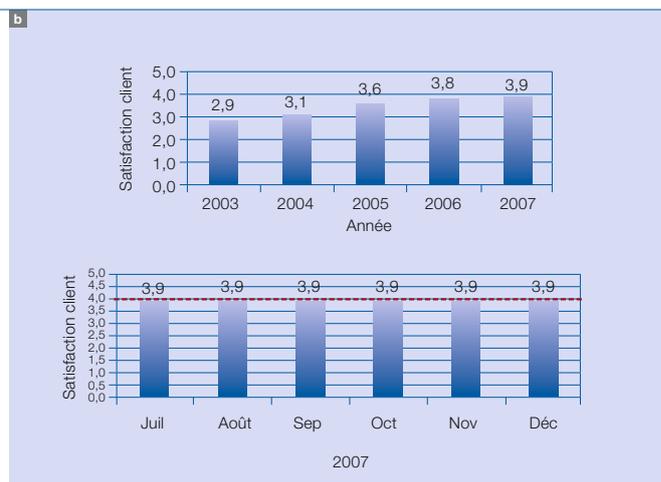
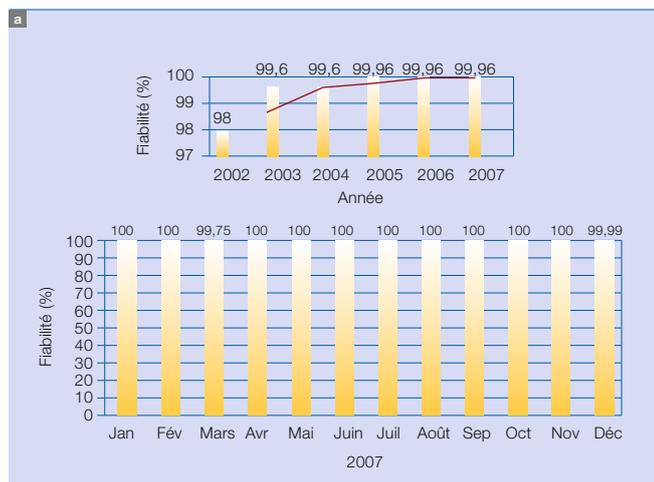
La disponibilité des équipements atteint les plus hauts niveaux mondiaux 2. Néanmoins, cet indicateur reflète la disponibilité des éléments critiques du procédé, assortis pour beaucoup d'un stock de

pièces détachées ou d'équipements de secours en bord de chaîne. Aux termes du contrat Full Service®, ABB est censé fournir le dernier cri des prestations de service et des pratiques de gestion irréprochables. Aussi fut-il invité à se concentrer d'abord sur d'autres équipements sensibles du procédé et à hausser la disponibilité à des niveaux permettant de subordonner le fonctionnement de l'usine à la demande du marché.

De l'audit à l'action

L'audit annuel Full Service® du site MEGA, achevé début 2008, permit d'identifier les procédures donnant satisfaction et celles sujettes à améliorations. Chaque audit s'est accompagné de préconisations pour aider l'équipe de mission ABB à combler les

2 Histogrammes reproduisant a le taux de fiabilité de l'équipement (objectif = 99,6 %) et b la cote de satisfaction client (objectif = 4 sur 5)



Un progrès tangible

lacunes constatées dans les performances de l'outil industriel.

Si l'audit du site MEGA s'est avéré très efficace, il devint évident que l'on pouvait encore faire progresser ces initiatives de progrès, tant sur le plan qualitatif que quantitatif ; concrètement, il s'agissait d'améliorer leur exécution, au bénéfice du client, d'ABB et du personnel, conformément au triangle de résultats de l'offre Full Service **3** : une démarche inédite, baptisée « assistance post-audit » **Encadré 1**.

Il est primordial de maîtriser les défaillances en les détectant à un stade précoce et en planifiant les interventions selon un échéancier précis.

Dans la pratique, cette assistance *a posteriori* déroule de nouvelles pistes d'action pour chaque site ; elle se compose d'objectifs, de missions et d'initiatives spécifiques pour gommer les obstacles à la performance du site et à la satisfaction du client **4**.

Chiffrer la fiabilité

Pour beaucoup, les indicateurs de la fiabilité (taux de panne, moyenne des temps de bon fonctionnement ou « MTBF », diminution des bons de travaux d'urgence ...) ne sont pas signi-

ficatifs pour apporter des améliorations. Pour le gestionnaire, le volet financier de la fiabilité revient à maîtriser le coût de la non-fiabilité due à la défaillance des équipements et du procédé, qui induisent un manque à gagner et dégradent la capacité de production.

Pour l'ingénieur, la fiabilité se calcule habituellement en termes de probabilité d'occurrence d'une défaillance, à grand renfort d'outils probabilistes et statistiques, dont les plus utilisés dans le secteur gazier sont l'analyse de Weibull, les diagrammes de Pareto et la simulation de Monte Carlo **Encadré 2**.

La qualité des données de production est ici déterminante ; il convient notamment de savoir comment ces valeurs sont obtenues et traitées, et qui s'occupe de leur analyse. Si la plupart des complexes pétrogaziers alignent quantité de données sur des années, il est rare de mettre la main sur la personne chargée de les étudier et de récupérer les informations utiles pour résoudre les problèmes.

Or ces données sont un excellent moyen de mettre en lumière ce qui marche mais aussi de débusquer les sources d'amélioration. Pour bien débiter l'analyse, on localise les problèmes en étudiant leur fréquence d'apparition ; le premier outil capable de fournir un rapide aperçu de la situation est un diagramme de Pareto qui, en hiérarchisant les points d'amé-

lioration, permet de se focaliser sur les dix obtenant les meilleurs résultats. Une occasion de confirmer la légendaire loi des 80/20 : 80 % des problèmes ou pertes trouvent leur origine dans 20 % des équipements ou procédés ! **5**

Analyse de fiabilité :

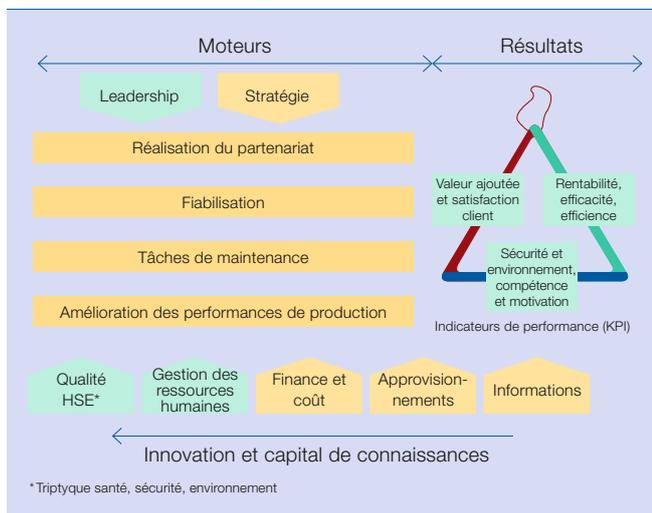
garniture mécanique de pompe LGN
En se basant sur l'analyse de Pareto, les ingénieurs ABB choisirent d'étudier la fiabilité de la pompe de LGN 510-P-01C. L'équipe imputait la faible fiabilité du système de pompage à l'évolution du procédé depuis sa conception d'origine.

Les études de fiabilité menées dans le secteur gazier font traditionnellement appel à l'analyse de Weibull, aux diagrammes de Pareto et à la simulation de Monte Carlo.

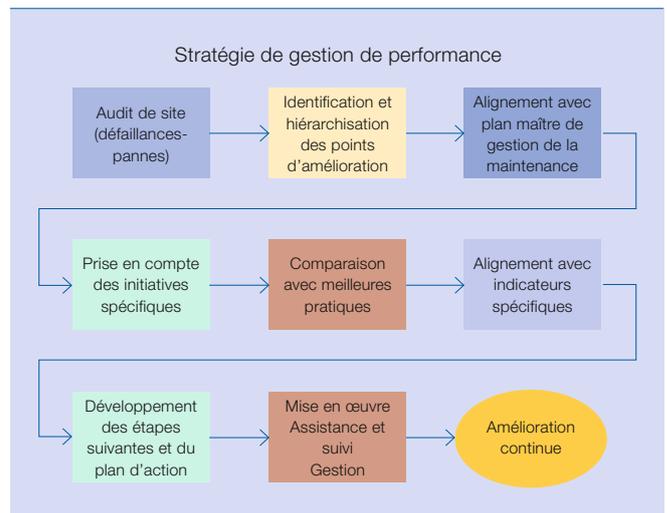
Or une recherche sur la pompe 510-P-01C dans la base de données du système de gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO) révéla qu'un mode de défaillance récurrent était lié à sa garniture d'étanchéité.

Les fiabilistes ont coutume de dire que la maintenance se gère au niveau

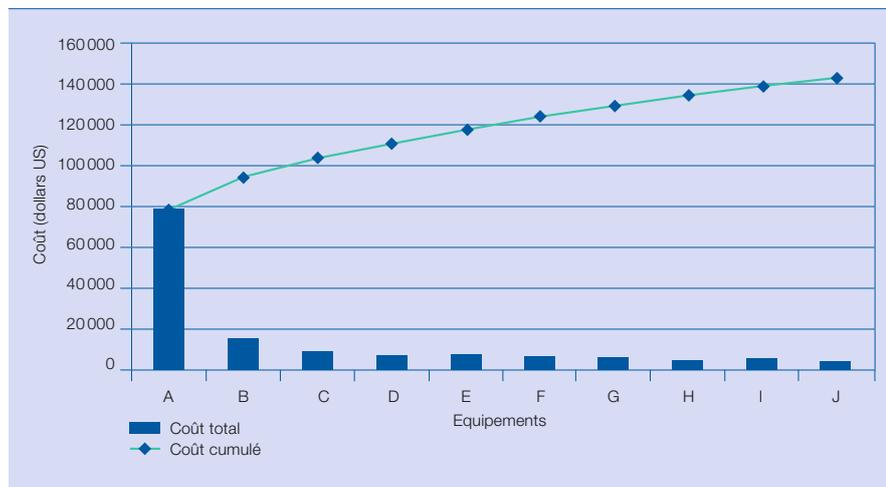
3 L'audit de site, puissant outil d'évaluation des performances actuelles et d'élaboration de stratégies tournées vers le futur.



4 Assistance post-audit



5 Les 10 meilleures sources d'amélioration applicables au site de MEGA : de juin à août, l'équipement A est responsable de 80% du coût.



6 Données de la pompe LGN issues de la GMAO

Ancienneté (heures de fonctionnement)	Défaillance (D) ou panne (P)
9236	D
2924	P
2202	D
12433	D
11123	D
2880	D

Coût du remplacement préventif (avant défaillance) = 4258 \$
 Temps moyen de réparation (MTTR) = 5 h
 Coût de la défaillance (perte de production + coût de remplacement) = 413403 \$

du mode de défaillance, ce dernier se définissant comme tout événement susceptible d'entraîner la panne fonctionnelle d'un actif (système ou procédé). Citons, parmi les plus fréquents, le grippage d'un roulement, le blocage d'une roue, la casse d'un moteur par échauffement et l'obstruction d'une conduite d'aspiration.

Cette pompe est une pièce maîtresse de la production puisqu'elle alimente l'usine de Bahía Blanca en LGN qui y seront fractionnés en éthane, propane et butane. Partant des données de GMAO recueillies sur cet équipement **6**, le logiciel d'étude de fiabilité fut sélectionné pour son aptitude à effec-

tuer une distribution de Weibull. La fonction de fiabilité R_t (0-1) est donnée par l'équation :

$$R_t = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}, t > 0$$

avec :

t = apparition de la défaillance (nombre d'heures, de cycles)

η = paramètre d'échelle de la distribution (heures, cycles)

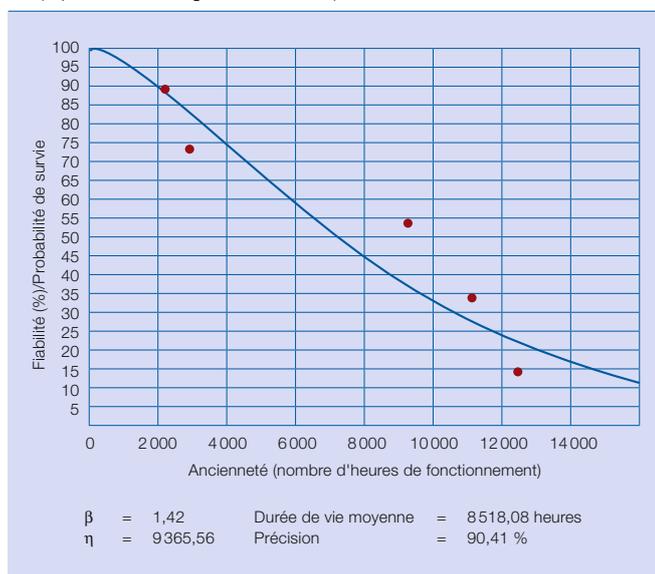
β = paramètre de forme ($\beta < 1$; $\beta = 1$; $\beta > 1$)

Cette analyse de Weibull se traduit par la courbe de fiabilité et le modèle de défaillance en **7**.

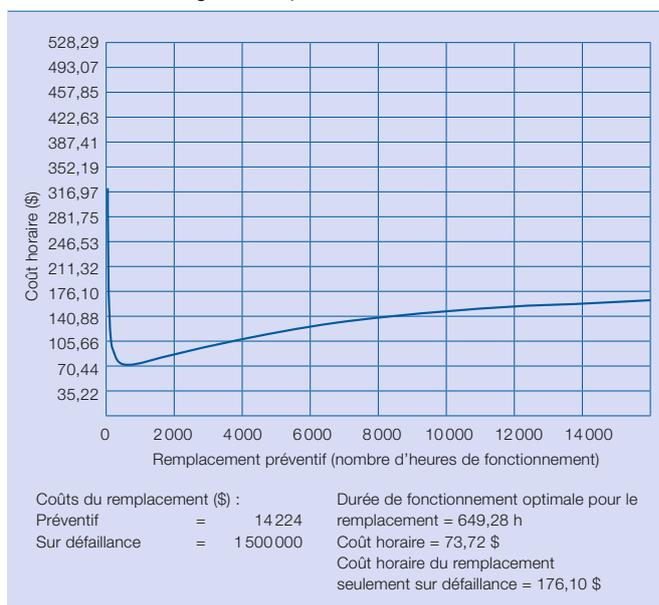
Elle a notamment l'avantage de fournir un profil de modélisation flexible couvrant plusieurs modèles de défaillance : mortalité infantile, défaillances aléatoires, vieillissement. La garniture ayant un MTBF de 8518 heures, il s'avère que 50% de ces composants n'assurent plus leur fonction avant d'atteindre cette durée, et les 50% restant, après. Cette analyse incita le client à moderniser son système de pompage en améliorant la garniture mécanique.

L'équipe ABB effectua ensuite une analyse de coûts en vue de déterminer le moment optimal pour remplacer cette garniture. En **8**, il s'établit à près de

7 Démonstration de la fiabilité de la pompe LGN par analyse de Weibull (2 paramètres, régression linéaire)

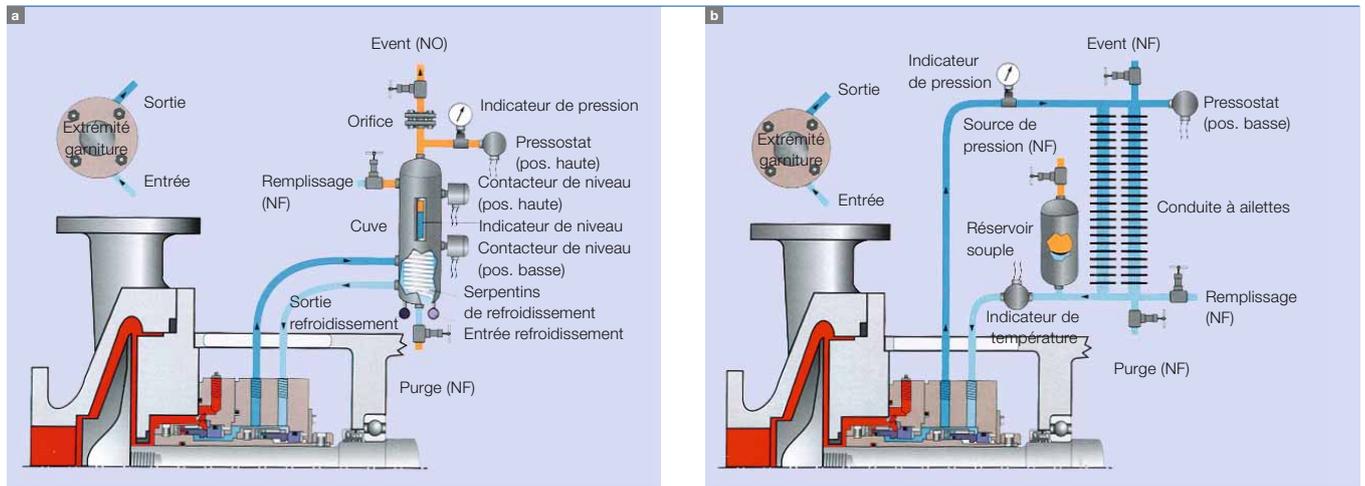


8 Etude de la stratégie de remplacement



Un progrès tangible

9 Montage API (American Petroleum Institute) de la garniture sur les pompes avant **a** et après **b** modifications préconisées par ABB, avec amélioration du procédé (pression sur la garniture = règle de conception)



650 heures de fonctionnement, avec une économie horaire de 103 dollars. Néanmoins, cette fréquence de remplacement de la pièce étant jugée impensable, l'équipe ABB étudia plusieurs possibilités de changement selon différentes durées de fonctionnement.

La deuxième analyse, à 4 000 heures, déboucha sur une économie horaire de 66 dollars; une troisième analyse, à 6 000 heures, donna 46 dollars d'économie à l'heure; une ultime analyse, à 8 000 heures, se solda par une économie horaire de 36 dollars.

Cette analyse de Weibull permit aux ingénieurs ABB de formuler plusieurs recommandations. Après réflexion, MEGA et ABB conclurent qu'il valait mieux revoir la conception de la garniture ou la modifier que déployer une stratégie de maintenance fondée sur le changement périodique. Il fut alors décidé d'installer un système de pressurisation pour activer la garniture mécanique 9.

Loi des 80/20 oblige, 80 % des problèmes ou pertes trouvent leur origine dans 20 % des équipements ou procédés.

Cette modification (à raison de 2 garnitures par pompe) se chiffre à quelque 90 000 dollars; sa fiabilité sera surveillée par une analyse régulière des données selon la méthode de

Weibull, qui permettra de juger de son optimisation au regard de l'allongement du MTBF d'origine.

Un compresseur à vis à l'épreuve de Weibull

Le compresseur d'air à vis fait partie des équipements critiques du procédé. Il assure l'alimentation hydraulique et pneumatique de l'instrumentation du site. Cet équipement doit sa criticité au fait qu'en l'absence d'air, l'instrumentation ne fonctionne pas correctement et fausse les relevés, entraînant des variations dans le contrôle de production. Dans notre cas de figure, certaines

défaillances inopinées affectaient la sonde thermique de mesure de la température de refoulement de l'air qui, en cas de défaut, provoque l'arrêt du compresseur. Au terme d'une analyse des causes de défaillance, l'équipe ABB en conclut que le principal mode de défaillance était dû à l'apparition de fortes vibrations sur le compresseur en fonctionnement.

Les ingénieurs conçurent alors un dispositif pour absorber cette énergie vibratoire et diminuer ainsi les défaillances de la sonde 10 11. Restait à savoir si cette modification réduisait

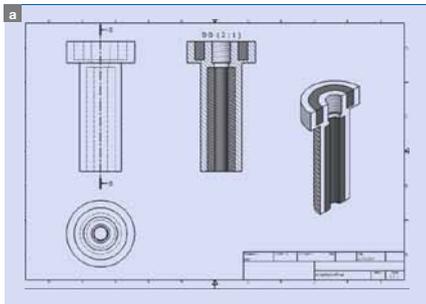
Encadré 1 Assistance post-audit

Lorsqu'un site sous contrat ABB Full Service® réussit son audit, il peut encore bénéficier d'une assistance et de préconisations ABB pour l'aider à accroître ses performances. Chaque site reçoit ainsi une feuille de route personnalisée recensant les tenants et aboutissants de sa démarche de progrès, les sources d'amélioration étant consignées dans un plan d'action logique et méthodique. Cette assistance fut mise en œuvre chez MEGA pour capitaliser sur l'une des conclusions de l'audit : améliorer la démarche fiabilité du site. L'équipe ABB travailla avec MEGA pour voir comment cette fiabilisation serait bénéfique à l'industriel, puis identifia les créneaux pouvant tirer pleinement parti de cette stratégie.

Encadré 2 Choix du logiciel d'étude de fiabilité

L'analyse des données et la prise de décisions ont tout à gagner d'un logiciel d'étude de fiabilité doté d'outils statistiques, comme en témoignent les trois exemples de cet article. Quel qu'il soit, ce logiciel doit pouvoir réaliser une analyse de Weibull pour identifier ou modéliser la catégorie de défaillance (défaut de jeunesse, défaillance aléatoire ou usure) en fonction de la durée de fonctionnement de l'équipement au terme de laquelle un composant dysfonctionne. Par sa meilleure adéquation à la plupart des données que les autres modèles et son aptitude à fournir une analyse fine de la défaillance sur des échantillons de données relativement réduits, l'analyse de Weibull est la méthode à la fois la plus répandue et la plus prisée pour modéliser et étudier la courbe de fiabilité et les modèles de défaillance d'un composant.

10 Dispositif antivibratoire **a** **b** monté sur la sonde thermique **c** pour en réduire les défaillances.



11 Défaillance de la sonde thermique due aux fortes vibrations affectant le système.



le mode de défaillance dû aux vibrations et, par voie de conséquence, améliorait la fiabilité; là encore, une analyse de Weibull permet d'en calculer l'amélioration.

Avec un MTBF *avant* modification de 3 042 heures et *après* modification de 5 000 heures, l'amélioration effective avoisine 2 000 heures, soit un MTBF en hausse de 19% **12** **13**. Ce MTBF restera dans le collimateur de l'équipe ABB qui s'attaquera au mode de défaillance prédominant suivant.

Etude de fiabilité d'un transmetteur de température

Ce transmetteur contrôle la température des automatismes sensibles du procédé. Il fut choisi pour pallier de nombreuses défaillances constatées au cours de l'année précédente et qui, par leur caractère aléatoire (absence de modèle de défaillance prédominant), rendaient les améliorations de la fiabilité particulièrement ardues.

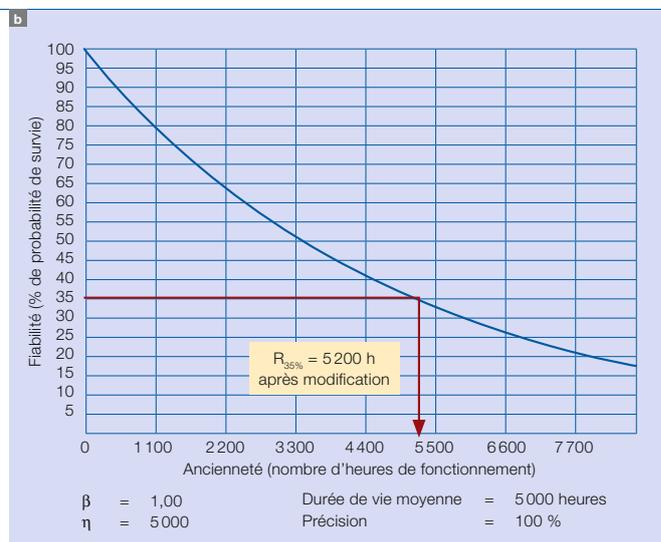
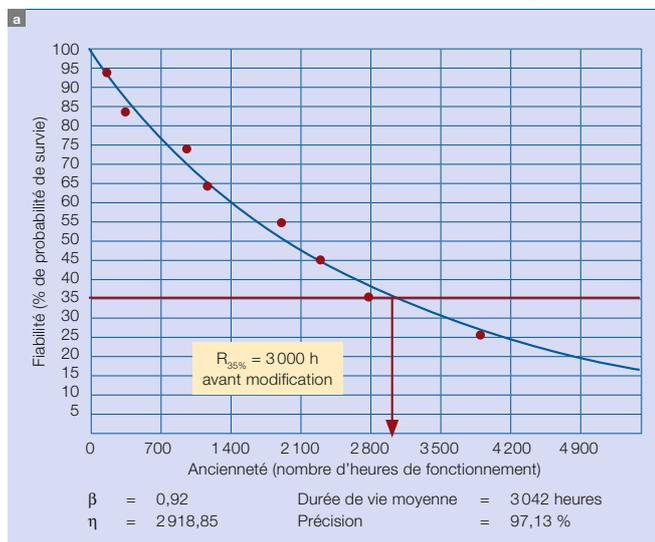
L'analyse de Weibull modélise la catégorie de défaillance (défaut de jeunesse, défaillance aléatoire ou usure).

L'équipe ABB récupéra des historiques de la GMAO toutes les données de défaillance lui permettant d'effectuer une analyse de fiabilité; celles relevant du transmetteur de température

couvraient la période 2001–2008. Puis l'équipe utilisa le logiciel d'étude de fiabilité pour modéliser la courbe identifiant tous les modèles de défaillance **14**.

Un simple tracé des données donna de surprenants résultats avec, notamment, un MTBF plafonné à 61 mois (environ 5 ans), alors qu'il atteint habituellement 25 à 150 ans sur d'autres équipements industriels de même nature! ABB décida d'approfondir l'étude et de tester des équipements similaires en laboratoire: il s'avéra que le problème était interne à l'instrument et que la cause de défaillance résidait dans sa conception par le constructeur OEM. S'ensuivit alors une mise au point entre MEGA et l'OEM: MEGA fut dédommagé par ce dernier des précédentes défaillances du transmetteur et s'engagea à lui fournir des données pour créer une nouvelle version améliorée.

12 Démonstration de la fiabilité de la sonde thermique avant modification (par analyse de Weibull à 2 paramètres, précision maxi) **a** et après modification (par analyse de Weibull à 2 paramètres, régression linéaire) **b**.



Un progrès tangible

Priorité absolue

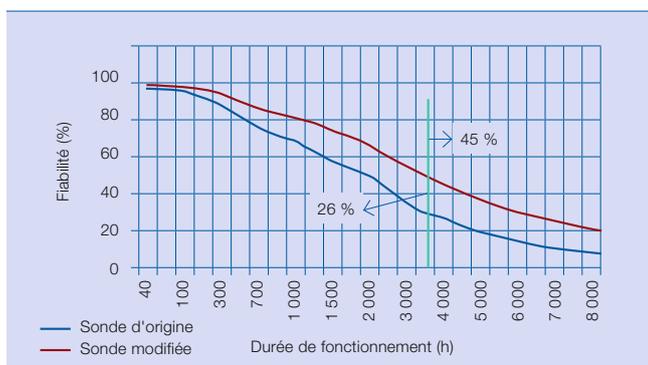
La rude concurrence entre industriels soucieux de sauvegarder leur activité et la crise financière mondiale obligent les entreprises à explorer de nouvelles pistes de compression des coûts d'exploitation. L'habitude veut que l'on rogne sur les dépenses de maintenance industrielle ; c'est hélas une stratégie à très courte vue, les besoins en investissements reportés à plus tard ne tardant pas à refaire surface, deux à cinq fois plus chers que s'ils avaient été consentis en amont de la défaillance.

L'analyse de fiabilité déboucha sur le dédommagement de MEGA pour les précédentes défaillances du transmetteur et la fourniture de données au constructeur OEM pour créer une nouvelle version améliorée.

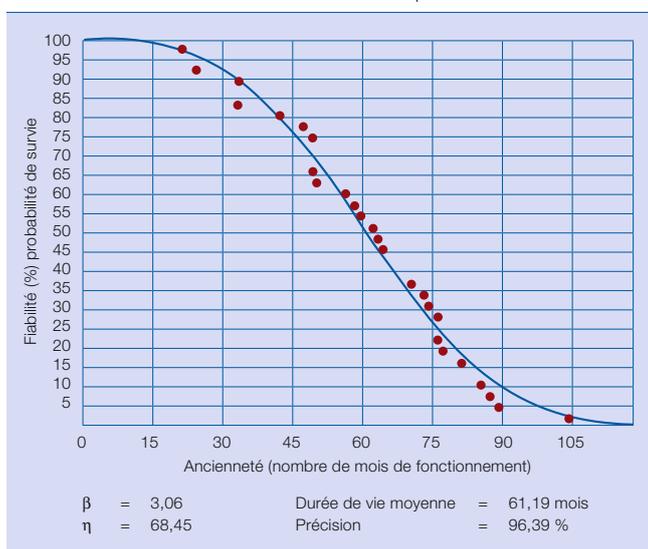
Une maintenance opportune de l'équipement et les gains induits de fiabilité réduisent le coût global de la non-fiabilité de l'outil industriel comme du procédé. Cette démarche améliore la performance de l'entreprise et en augmente les profits, la hausse des capacités de production se traduisant par un plus fort taux d'engagement ou une plus grande disponibilité des installations. De plus, l'accroissement de la production compense le surinvestissement en équipements, abaissant de fait le coût de la maintenance.

Il existe plusieurs stratégies et outils pour optimiser les décisions de maintenance et de remplacement, et décider de la meilleure tactique pour préserver la bonne marche d'un système.

13 Comparaison des courbes de fiabilité : MTBF accru de 19 % après modification de la sonde



14 Courbe de fiabilité du transmetteur de température



En particulier, l'emploi d'un logiciel d'étude de fiabilité doté de fonctionnalités de Weibull peut améliorer la prise de décisions objectives.

Il n'est pas rare que les investissements reportés à plus tard refassent surface, deux à cinq fois plus chers que s'ils avaient été consentis en amont de la défaillance.

Pour consolider sa position sur un marché mondialisé, une entreprise doit jouer sur les deux tableaux de la disponibilité et la fiabilité de ses équipements. Savoir quelle stratégie de maintenance il convient de déployer est une question épineuse tant il faut jongler avec de multiples critères

comme les intervalles de remplacement préventif, la périodicité des contrôles, les interventions de maintenance conditionnelle, le changement d'équipement de production et les besoins en moyens de maintenance. Choisir une politique de maintenance optimale accroît les chances de réduire les coûts d'exploitation tout en augmentant les niveaux de fiabilité et de disponibilité, et en fiabilisant la production. Cette approche peut appuyer les initiatives menées en faveur du client, du personnel et d'ABB.

Fernando Vicente**Hector Kessel**

ABB Full Service®
Buenos Aires (Argentine)
fernando.vicente@ar.abb.com
hector.kessel@ar.abb.com

Richard M. Rockwood

ABB Process Automation Full Service,
Oil, Gas, and Petrochemical
Minneapolis, Minnesota (Etats-Unis)
richard.m.rockwood@us.abb.com

Lectures complémentaires

Desaegher, J., « Outsourced maintenance: The ABB Full Service® solution », *ABB Review Special Report: Process Automation Services and Capabilities*, p. 79–83, 2008

Kleine, B., « Les rouages de la fiabilité », *Revue ABB*, 1/2009, p. 34–37