

## INTÉGRITÉ DES ÉQUIPEMENTS

# Table des matières

	<b>Page</b>
<b>1.0 OBJET DE LA PRÉSENTE FICHE TECHNIQUE</b> .....	3
1.1 Risques .....	3
1.2 Modifications .....	3
<b>2.0 RECOMMANDATIONS POUR LA PRÉVENTION DES SINISTRES</b> .....	3
2.1 Introduction .....	3
2.2 Équipements et procédés .....	3
2.3 Facteur humain .....	4
2.3.1 Intégrité des équipements .....	4
2.3.2 Plan équipements .....	9
2.3.3 Exclusion des corps étrangers .....	12
<b>3.0 BASE DES RECOMMANDATIONS</b> .....	12
3.1 Historique des sinistres .....	12
3.1.1 Statistiques de sinistres .....	12
3.1.2 Exemples de sinistres .....	12
3.2 Équipements et procédés .....	15
3.2.1 Influence de l'intégrité des équipements .....	15
3.3 Exploitation et maintenance .....	15
3.3.1 Intégrité des équipements .....	15
3.3.2 Plan équipements .....	31
<b>4.0 RÉFÉRENCES</b> .....	32
4.1 FM .....	32
4.2 Autres .....	32
<b>ANNEXE A GLOSSAIRE</b> .....	32
<b>ANNEXE B HISTORIQUE DE RÉVISION DU DOCUMENT</b> .....	34
<b>ANNEXE C PLAN DE SECOURS DES ÉQUIPEMENTS</b> .....	35
C.1 Processus d'élaboration d'un plan équipements .....	35
C.2 Stratégies de redondance et de location .....	36
C.2.1 Redondance .....	36
C.2.2 Équipement de location .....	37
<b>ANNEXE D PROCÉDURE D'EXCLUSION DES CORPS ÉTRANGERS</b> .....	38
D.1 Objectif .....	38
D.2 Définitions .....	38
D.3 Applicabilité .....	39
D.4 Responsabilité .....	39
D.5 Exclusion des corps étrangers – Niveau 1 .....	40
D.6 Exclusion des corps étrangers – Niveau 2 .....	41
D.7 Exclusion des corps étrangers – Niveau 3 .....	42
<b>ANNEXE E PRESTATAIRES ALTERNATIFS</b> .....	50
E.1 Instructions relatives au programme d'audit et d'inspection des services et composants des prestataires alternatifs .....	50
E.2 Services d'inspection sur site et en atelier .....	50
E.3 Services sur site .....	50
E.4 Services en atelier .....	51
E.5 Composants non originaux (issus de l'ingénierie inverse et de la réingénierie) .....	52
E.5.1 Composants issus de l'ingénierie inverse .....	52
E.5.2 Composants issus de la réingénierie .....	52
E.5.3 Processus de conception .....	53
E.5.4 Processus de validation et d'essai .....	53

E.5.5 Processus de fabrication.....	53
E.6 Mise à niveau et remplacement du système de contrôle-commande industriel.....	53
E.7 Contrat de service avec un prestataire alternatif.....	54

## Liste des figures

Figure 3.3.1.1-1. Diagramme du processus d'intégrité des équipements .....	17
Figure 3.3.1.2.4. Fenêtre d'intégrité de fonctionnement.....	23
Figure 3.3.1.2.7. Facteurs d'influence contribuant au vieillissement des équipements .....	26
Figure 3.3.1.3. Impact de l'état des équipements sur la réalisation d'une étude de la durée de vie résiduelle .....	28

### 1.0 OBJET DE LA PRÉSENTE FICHE TECHNIQUE

Cette fiche technique a pour objectif de fournir des recommandations d'ordre général concernant l'élaboration et la mise en œuvre de programmes efficaces d'intégrité des équipements et systèmes, dans un but de prévention des sinistres.

Les recommandations relatives aux tâches des programmes d'inspection, d'essai et de maintenance de systèmes et équipements spécifiques sont disponibles dans les fiches techniques les concernant.

La conception des systèmes et équipements ne relève pas de la présente fiche technique. Toutefois, les décisions prises lors de la phase de conception peuvent avoir d'importantes répercussions sur le périmètre, la mise en œuvre et l'efficacité d'un programme d'inspection, d'essai et de maintenance et, donc, sur la fiabilité des équipements. Des informations relatives à la conception des équipements à entretenir figurent dans les fiches techniques spécifiques, les instructions des fabricants, les pratiques sectorielles et/ou les codes et standards en vigueur.

#### 1.1 Risques

Un programme d'intégrité des équipements viable est essentiel pour garantir la fiabilité des procédés d'un site, comme la production, les utilités et les systèmes d'alimentation. Ce programme s'appuie sur les données de conception des équipements, leur exploitation, les inspections, les essais et la maintenance des équipements afin de garantir leur fiabilité et limiter le risque de casse. Un programme d'intégrité des équipements adéquat permet de limiter le risque de casse susceptible d'entraîner des dommages matériels et une interruption de l'activité.

#### 1.2 Modifications

**Octobre 2025.** Révision intermédiaire. Des changements éditoriaux ont été apportés à la gestion des anomalies afin d'en améliorer la clarté.

### 2.0 RECOMMANDATIONS POUR LA PRÉVENTION DES SINISTRES

#### 2.1 Introduction

L'objectif d'un programme d'intégrité des équipements est de s'assurer que tous les équipements de production, les utilités et les systèmes auxiliaires sont fiables et demeurent aptes à leur utilisation prévue. Les inspections, les essais et la maintenance des équipements et systèmes font partie des éléments essentiels permettant d'évaluer leur état de fonctionnement afin d'identifier et de corriger toute anomalie susceptible d'entraîner une panne. Un programme d'intégrité des équipements efficace nécessite la collaboration de tous les services d'un site (direction, opérations, ingénierie, maintenance, etc.).

La méthode d'élaboration du programme d'intégrité des équipements peut varier selon le secteur d'activité. Certains secteurs s'appuient sur des procédés bien définis et des mécanismes d'endommagement prévisibles, détaillés dans des standards spécifiques, tandis que d'autres se basent sur des évaluations indépendantes pour déterminer les mécanismes d'endommagement potentiels, faute de standards disponibles. Dans les deux cas, les informations utilisées pour élaborer le programme d'intégrité des équipements doivent tenir compte des risques spécifiques présents.

#### 2.2 Équipements et procédés

2.2.1 Identifier les risques auxquels les équipements de production, les utilités et les systèmes auxiliaires sont exposés en fonction du procédé. S'assurer que le personnel de l'entreprise est conscient de ces risques et qu'il a accès à des informations les concernant.

2.2.2 Évaluer et maîtriser ces risques inhérents via des paramètres de conception et de fonctionnement, dans la mesure du possible. En cas de réparation, de modification, de rénovation ou de remplacement des procédés, systèmes ou équipements, ou de changement d'usage ou de mode d'exploitation, réévaluer ces risques, ainsi que les méthodes d'évaluation et de maîtrise utilisées. Ces activités incluent notamment la vérification du périmètre et de la mise en œuvre du programme d'intégrité des équipements.

2.2.3 Concevoir et installer les équipements de façon à permettre la conduite d'inspections, d'essais et d'opérations de maintenance tout au long de leur durée de vie (c'est-à-dire une conception permettant la

maintenance). En cas de réparation, de modification, de rénovation ou de remplacement des procédés, systèmes ou équipements, ces opérations doivent là encore être gérées dans un souci de faisabilité et d'efficacité des activités d'inspection, d'essai et de maintenance.

2.2.3.1 Si nécessaire, prévoir une méthode pour mesurer le suivi des intervalles basés sur les procédés (flux de production, heures de fonctionnement, démarrages, etc.) afin de savoir à quel moment procéder aux activités d'inspection, d'essai et de maintenance. Dans la mesure du possible, conserver ces données d'exploitation pendant toute la durée de vie des équipements.

## 2.3 Facteur humain

### 2.3.1 Intégrité des équipements

Un programme d'intégrité des équipements efficace permet de vérifier que les équipements mécaniques, électriques, sous pression et de production ainsi que les systèmes correspondants sont conçus, installés, exploités, entretenus et protégés de manière adéquate. Les programmes de ce type ont pour but d'identifier les dysfonctionnements à un stade précoce et de les corriger au moment opportun tout au long de la durée de vie des équipements (pour plus d'informations, voir la section 3.3.1.1 et la figure 3.3.1-1).

#### 2.3.1.1 Programme d'intégrité des équipements

2.3.1.1.1 Veiller à ce que le personnel impliqué dans les différents aspects du programme d'intégrité des équipements reçoive la formation nécessaire et possède l'expertise et les qualifications requises par la complexité des tâches réalisées. **Des certifications sont également mises en place lorsque cela est nécessaire, conformément aux normes de l'industrie et aux pratiques recommandées.** Cette recommandation concerne notamment les ingénieurs, les opérateurs, les concepteurs, les sous-traitants et les fournisseurs.

2.3.1.1.2 Établir par écrit et mettre en œuvre un programme d'intégrité des équipements pour garantir l'intégrité et la fiabilité des équipements de production, des utilités et des systèmes auxiliaires. Pour être efficace, le programme devrait inclure les éléments clés suivants :

- A. une culture d'entreprise valorisant l'intégrité des équipements ;
- B. un soutien et un engagement à tous les niveaux de l'organisation, y compris la direction, en établissant des niveaux de responsabilité clairs ;
- C. une procédure écrite décrivant clairement les objectifs du programme et incluant la tolérance au risque et les niveaux de fiabilité souhaités.

#### 2.3.1.2 Programme d'inspection, d'essai et de maintenance

2.3.1.2.1 Établir, recueillir et tenir à jour toutes les informations nécessaires à l'établissement et à la mise en œuvre des activités adéquates d'inspection, d'essai et de maintenance pour garantir l'intégrité et la fiabilité des équipements pendant toute leur durée de vie.

A. Élaborer une méthode pour identifier, décrire en détail et assurer le suivi des systèmes, équipements et composants couverts par le programme d'intégrité des équipements. Inclure les schémas des flux de production/de procédé, le schéma tuyauterie et instrumentation et les schémas unifilaires des utilités et systèmes auxiliaires correspondant aux systèmes, équipements et composants.

1. Définir des identifiants uniques et reconnaissables pour les équipements et les composants.
2. Décrire en détail toute information pertinente issue de la conception et de la mise en service des équipements, et fournir suffisamment d'informations pour commander des pièces ou effectuer des réparations ou modifications.
3. Procéder à des mises à jour en cas d'ajout, de retrait ou de remplacement d'équipements ou de composants des systèmes.

B. Hiérarchiser les systèmes et équipements en fonction des conséquences d'une panne. Cette mesure repose sur une évaluation systématique des risques du site, comprenant la production, les utilités et les systèmes auxiliaires.

C. Identifier les risques inhérents et les mécanismes d'endommagement liés aux procédés et aux équipements, ainsi que les modes de défaillance à évaluer pendant toute la durée de vie des équipements afin de vérifier l'intégrité de ces derniers pour l'utilisation prévue.

D. Identifier les paramètres et le régime de fonctionnement prévus, notamment

E. la vitesse de montée de chaque régime de fonctionnement et les plages d'intégrité de fonctionnement.

F. Tenir compte des directives émanant des organismes de réglementation compétents, des codes, des standards, de l'historique de fonctionnement, des informations transmises par le personnel du site, des pratiques du secteur, des fiches techniques propres aux équipements et des instructions des fabricants.

2.3.1.2.2 Établir et mettre en œuvre un programme d'inspection, d'essai et de maintenance en utilisant les informations de la section 2.3.1.2.1.

A. Déterminer les activités d'inspection, d'essai et de maintenance adéquates en adoptant une approche cohérente pour déterminer les activités nécessaires. Inclure des activités de référence, ainsi que les intervalles ou les conditions selon lequel(le)s procéder aux des activités périodiques. Il est possible de mettre en œuvre plusieurs stratégies d'inspection, d'essai et de maintenance pour garantir l'intégrité et la fiabilité des équipements.

1. En cas d'utilisation d'une stratégie d'inspection, d'essai et de maintenance réactive (panne), procéder de la manière suivante :
  - a. Prévoir une méthode d'identification de la défaillance d'un équipement pour faciliter sa réparation ou son remplacement.
  - b. Veiller à ce que du personnel soit disponible pour réparer ou remplacer l'équipement concerné dans un délai acceptable à compter du moment où la défaillance se produit.
  - c. S'assurer que des fournitures (outils, équipements, pièces et consommables requis pour procéder à la réparation ou au remplacement) sont disponibles et accessibles dans les délais nécessaires pour remédier à la défaillance et faire face à des pannes consécutives.
2. En cas de mise en œuvre d'une stratégie d'inspection, d'essai et de maintenance préventive, procéder de la manière suivante :
  - a. Planifier les activités d'inspection, d'essai et de maintenance en définissant des seuils de déclenchement. Il peut s'agir d'un intervalle de temps ou basé sur les procédés (flux de production, heures de fonctionnement, démarrages, etc.).
  - b. Procéder à l'entretien des équipements selon l'intervalle défini, quel que soit leur état.
  - c. Veiller à la fiabilité des intervalles de déclenchement des activités d'inspection, d'essai et de maintenance. Plusieurs intervalles basés sur les procédés peuvent être utilisés pour déclencher une même activité d'inspection, d'essai et de maintenance. Dans ce cas, veiller à remettre à zéro tous les intervalles une fois l'activité terminée.
  - d. Réaliser les activités d'inspection, d'essai et de maintenance de référence des équipements, qui serviront de point de départ à des analyses de tendances ou à des comparaisons. Ces activités incluent notamment les inspections de référence des nouveaux équipements fabriqués, réparés ou achetés et les essais de référence des capteurs des équipements.
  - e. Prévoir un moyen permettant d'identifier les équipements ayant atteint un intervalle basé sur un procédé dans le but de faciliter une activité d'inspection, d'essai et de maintenance.
  - f. Veiller à ce que du personnel soit disponible pour réaliser l'activité d'inspection, d'essai et de maintenance dans un délai acceptable une fois l'intervalle basé sur un procédé atteint.
  - g. S'assurer que des fournitures (outils, équipements, pièces et consommables requis pour réaliser l'activité d'inspection, d'essai et de maintenance) sont disponibles et accessibles dans les délais nécessaires pour effectuer l'activité.
3. En cas de mise en œuvre d'une stratégie d'inspection, d'essai et de maintenance prédictive et/ou en fonction de l'état, procéder de la manière suivante :

- a. Mettre en corrélation les états surveillés déclenchant les activités d'inspection, d'essai et de maintenance avec le mécanisme d'endommagement visé par l'activité.
- b. Réaliser des activités d'inspection, d'essai et de maintenance de référence des équipements, qui serviront de point de départ à des analyses de tendances ou à des comparaisons. Il s'agit notamment des signaux de référence nécessaires à la surveillance de l'état et aux essais de référence des capteurs des équipements.
- c. S'assurer que le personnel chargé d'évaluer les variables surveillées possède la formation et l'expertise adéquates.
- d. Garantir que la surveillance réduira le risque de fausses alarmes.
- e. Déterminer les limites acceptables permettant un fonctionnement sûr (valeurs absolues supérieures et inférieures et taux de variation) de chaque variable surveillée, et définir des critères d'acceptation conditionnant le déclenchement des activités d'inspection, d'essai et de maintenance.
- f. Surveiller, échantillonner et analyser les tendances des états à intervalles appropriés afin d'identifier correctement celles qui ne répondent pas aux critères d'acceptation et d'attirer suffisamment l'attention sur les mesures pouvant être prises avant qu'une panne ne se produise (détection précoce).

B. Fournir une description détaillée de chaque activité à effectuer dans le cadre du programme d'inspection, d'essai et de maintenance. Si des recommandations détaillées du fabricant, des pratiques du secteur et/ou des codes et standards applicables sont disponibles, ils peuvent constituer à eux seuls des directives suffisantes d'inspection, d'essai et de maintenance préventives ou en fonction de l'état de l'équipement.

C. Définir les critères d'acceptation des activités d'inspection, d'essai et de maintenance dont les résultats seront évalués.

2.3.1.2.3 Réaliser et consigner les activités d'inspection, d'essai et de maintenance conformément au programme d'inspection, d'essai et de maintenance.

A. Mettre en œuvre une procédure pour suivre les activités d'inspection, d'essai et de maintenance de leur déclenchement à leur achèvement.

B. Examiner et évaluer les résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance dès réception de ces derniers afin de pouvoir prendre les mesures correctives nécessaires.

1. Si les résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance ne répondent pas aux critères d'acceptation, suivre une procédure de gestion des anomalies (pour plus d'informations sur la gestion des anomalies, voir la section 2.3.1.4). Veiller à informer l'équipe en charge des opérations de l'anomalie. Si l'anomalie se produit alors que l'équipement est en service, il est nécessaire d'évaluer sa gravité afin de déterminer si l'équipement doit être arrêté.

C. Surveiller l'état et les performances des équipements et analyser les tendances en la matière comme suit :

1. Surveiller les données de fonctionnement pour s'assurer que l'équipement reste dans les limites de ses paramètres de fonctionnement et repérer lorsqu'ils les dépassent. En cas de non-respect des paramètres de fonctionnement, déterminer s'il est nécessaire de modifier le programme d'inspection, d'essai et de maintenance et évaluer les conséquences sur la durée de vie résiduelle des équipements.
2. Surveiller les résultats et tendances d'état et de performance des procédés, systèmes, équipements et activités du programme d'inspection, d'essai et de maintenance. Si les résultats et les tendances ne répondent pas aux critères d'acceptation ou indiquent une accélération du niveau de détérioration des équipements, évaluer si d'autres mesures sont nécessaires et/ou si des modifications doivent être apportées au programme d'inspection, d'essai et de maintenance. Une évaluation d'aptitude au service est réalisée lorsque le programme d'inspection, d'essai et de maintenance identifie une ou plusieurs conditions en dehors des limites acceptables, et qu'aucune réparation, aucune modification ni aucun remplacement ne sont prévus avant le redémarrage de l'équipement. Pour plus d'informations, voir les sections 2.3.1.4.1(A) et 3.3.1.3(A).

D. S'il est nécessaire de différer des activités d'inspection, d'essai et de maintenance, évaluer les conséquences de leur non-réalisation dans les délais prévus par le programme correspondant avant de déterminer l'activité à différer.

E. Suivre les travaux différés jusqu'à leur achèvement.

F. Évaluer les résultats du programme et en analyser les tendances en termes d'impact sur la stratégie/le périmètre du programme.

Évaluer le périmètre du programme d'inspection, d'essai et de maintenance, les fréquences/intervalles et les stratégies permettant d'identifier les mécanismes d'endommagement de manière efficace, en adoptant une approche en fonction de l'état basée sur l'analyse des tendances du programme d'inspection, d'essai et de maintenance, l'aptitude au service, la durée de vie résiduelle et/ou les résultats des analyses des causes fondamentales.

Étudier l'impact des modifications de paramètres/régime de fonctionnement et de fenêtres d'intégrité de fonctionnement sur les mécanismes d'endommagement et le périmètre du programme d'inspection, d'essai et de maintenance. Cet examen inclut l'impact des modifications apportées aux équipements à la suite de perturbations, de déclenchements, d'arrêts forcés, de plantages et/ou de pannes.

Tenir compte de l'impact cumulé des facteurs d'influence contribuant au vieillissement du périmètre du programme d'inspection, d'essai et de maintenance.

### 2.3.1.3 Vieillessement et durée de vie résiduelle des équipements

Pour maintenir l'intégrité et la fiabilité des équipements tout au long de leur durée de vie, il convient de gérer efficacement leur vieillissement. Évaluer la détérioration des équipements due aux mécanismes d'endommagement liés aux procédés et aux équipements tout au long de la durée de vie de ces derniers. Adopter une approche en fonction de l'état des équipements pour déterminer l'impact du vieillissement sur leur durée de vie résiduelle. Évaluer l'impact cumulé des facteurs d'influence suivants sur le vieillissement et la durée de vie résiduelle des équipements. La figure 3.3.1.2.7 illustre les interactions de l'impact des facteurs d'influence sur le vieillissement des équipements.

- conditions physiques, de fonctionnement et d'environnement ;
- historique de fonctionnement (comprenant les tendances dégagées de la surveillance de l'état et du suivi des performances) ;
- résultats et tendances issus de l'évaluation du programme d'inspection, d'essai et de maintenance (aptitude au service comprise) ;
- âge chronologique et durée de vie.

Une étude visant à déterminer la durée de vie résiduelle des équipements est réalisée à partir de l'évaluation « en fonction de l'état » de ces facteurs (aptitude au service comprise). Envisager les différentes possibilités de réparation, de modification, de rénovation et de remplacement susceptibles de maintenir l'intégrité opérationnelle des équipements et de réduire le risque de défaillance prématurée en service. Le remplacement de composants stratégiques détériorés peut allonger la durée de vie. La figure 3.3.1.3 illustre les interactions de l'impact de l'état des équipements (facteurs d'influence contribuant au vieillissement, historique de fonctionnement, résultats et analyse des tendances du programme d'inspection, d'essai et de maintenance et résultats de l'évaluation d'aptitude au service) sur la réalisation d'une étude de la durée de vie résiduelle.

Tenir compte du délai de remplacement des équipements, surtout si ces derniers doivent rester en service jusqu'à l'installation des modèles de remplacement. Prévoir un plan de secours des équipements pour anticiper l'intervention en cas de défaillance prématurée des équipements en service, en tenant compte de l'écart entre la durée de vie résiduelle et les délais de remplacement.

Voir les sections 2.3.1.4.1(D) et 3.3.1.3(C) pour plus d'informations sur la durée de vie résiduelle, et les sections 3.3.1.2.5, 6 et 7 pour de plus amples renseignements sur le vieillissement des équipements. Pour des informations sur les plans de secours des équipements propres à certaines unités, voir les sections 2.3.2 et 3.3.2, ainsi que les fiches techniques applicables.

### 2.3.1.4 Gestion des anomalies

2.3.1.4.1 Établir et mettre en œuvre une procédure de gestion des anomalies dans le cadre du programme d'intégrité des équipements, **permettant de traiter efficacement** les anomalies liées à l'état des équipements, **afin de garantir** l'évaluation et le suivi de **chaque anomalie** jusqu'à sa correction **pour**

**préserver l'intégrité et la fiabilité des équipements.** Une procédure de gestion des anomalies comprend généralement les éléments suivants :

**A. Évaluation de l'aptitude au service**

Procéder à une évaluation de l'aptitude au service lorsque le programme d'inspection, d'essai et de maintenance identifie une ou plusieurs conditions en dehors des limites acceptables, et qu'aucune réparation, aucune modification ni aucun remplacement ne sont prévus avant le redémarrage de l'équipement. L'évaluation de l'aptitude au service n'est parfois pas nécessaire si des mesures correctives sont prises rapidement, notamment une réparation, une modification ou un remplacement visant à remettre l'équipement dans un état acceptable pour l'utilisation prévue.

**B. Réparation, modification, augmentation de la capacité et remplacement**

1. Lorsqu'un équipement fait l'objet d'une mesure corrective, utiliser si possible les fiches techniques propres à celui-ci, les instructions du fabricant, les pratiques du secteur et/ou les codes et pratiques techniques reconnus.
2. Si les mesures correctives impliquent une modification ou un renouvellement autre qu'un remplacement en nature de l'équipement, mettre en œuvre une procédure de gestion des changements.
3. Réaliser des contrôles qualité (AQ/CQ) pour s'assurer que les travaux ont été correctement effectués. Il s'agit notamment de procéder à des inspections et des essais pour vérifier, à l'issue des travaux, que les réparations sont conformes aux standards acceptables et adaptées à l'utilisation prévue.
4. Tenir compte des résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance pour orienter la conception des modifications ou des équipements de remplacement.
5. Établir et enregistrer de nouvelles valeurs de référence pour la surveillance.

**C. Réévaluation des paramètres de fonctionnement**

Déterminer si les paramètres de fonctionnement du système doivent être ajustés en fonction de la détérioration constatée, de l'état de l'équipement et de l'utilisation prévue.

**D. Durée de vie résiduelle**

Réaliser une étude de la durée de vie résiduelle lorsque le niveau de détérioration est supérieur aux limites acceptables prédéfinies, mais que l'équipement est encore jugé apte à l'utilisation. Cette étude peut également être effectuée en cas de doute quant à l'aptitude de l'équipement à fonctionner pendant la durée prévue. Elle inclut l'impact cumulé du vieillissement sur la durée de vie résiduelle pour l'utilisation prévue. Elle concerne principalement les équipements mécaniques fixes et rotatifs. Il existe néanmoins des analyses de prévision de la durée de vie applicables à d'autres types d'équipements.

1. S'assurer de l'exactitude et de la pertinence des données. Utiliser si possible des données de mesures réelles. En cas d'utilisation de données fournies par un tiers ou de moyennes au lieu de données de mesure, il est possible que les taux de détérioration calculés ne reflètent pas les conditions réelles. De même, selon le mode de détérioration, il peut être essentiel de comparer des tendances relevées sur la même partie de l'équipement afin de garantir l'exactitude des données.
2. Calculer un intervalle de renouvellement de l'inspection pour la détérioration constatée. Établir l'intervalle en fonction du calcul de la durée de vie résiduelle, du régime de fonctionnement/des conditions d'exploitation prévu(es), des recommandations des fiches techniques propres à l'équipement, des instructions du fabricant, des pratiques du secteur et/ou des codes et pratiques techniques reconnus.

**2.3.1.5 Analyse des causes fondamentales**

2.3.1.5.1 Réaliser une analyse des causes fondamentales et définir des mesures correctives à partir des conclusions de cette analyse, si nécessaire. Établir des recommandations et mesures correctives spécifiques pour éviter que les incidents ne se reproduisent ou pour réduire le risque d'incidents similaires. Des métriques permettant de mesurer l'efficacité d'une mesure corrective mise en œuvre suite à une analyse des causes fondamentales devraient être établies pour confirmer l'effet attendu. Ces mesures

peuvent prendre la forme de modifications matérielles ou des procédures et devraient mettre en œuvre la procédure de gestion des changements pour garantir la sécurité et assurer un suivi jusqu'à leur achèvement.

La défaillance prématurée d'un équipement, la panne d'un équipement non anticipée ou non prévue par l'analyse des risques, une détérioration excessive ou imprévue et/ou le non-respect des paramètres de fonctionnement d'un équipement pour une raison inattendue font partie des situations justifiant généralement une analyse approfondie des causes fondamentales. Si une situation anticipée par le programme d'intégrité des équipements survient de la façon et dans les délais prévus, une analyse des causes fondamentales n'est pas indispensable. Le degré d'examen mis en œuvre lors de l'analyse des causes fondamentales peut varier en fonction des résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance. Des analyses efficaces des causes fondamentales facilitent l'amélioration et l'évolution constantes du programme d'intégrité des équipements.

### 2.3.1.6 Documentation requise et tendances

2.3.1.6.1 Consigner chaque activité d'inspection, d'essai et de maintenance ainsi que les activités de gestion des anomalies et l'analyse des causes fondamentales consécutives.

2.3.1.6.2 Dégager des tendances à partir des résultats des activités d'inspection, d'essai et de maintenance pour identifier tout changement important de l'état d'un équipement afin d'anticiper ou de déterminer le risque de défaillance avant qu'une panne ne survienne en service.

2.3.1.6.3 En utilisant la totalité des données recueillies dans le cadre du programme d'inspection, d'essai et de maintenance et la procédure de gestion des anomalies, réévaluer le processus d'identification et d'évaluation des risques (sections 2.2.1 et 2.2.2). Cette mesure est susceptible d'influer sur le périmètre et la fréquence des activités d'inspection, d'essai et de maintenance.

A. Actualiser les fréquences, intervalles, stratégies et méthodes d'inspection, d'essai et de maintenance en fonction des conclusions de l'analyse des causes fondamentales et des paramètres de fonctionnement, ainsi qu'en cas de réparation, de modification, de reclassement ou de remplacement d'un équipement.

B. Inclure dans le programme d'intégrité des équipements des informations sur les conditions réelles à prendre en compte pour les nouvelles conceptions.

### 2.3.1.7 Audits

2.3.1.7.1 Réaliser des audits du programme et préparer des rapports d'audit. Confier la réalisation des audits et la rédaction des rapports à un personnel expérimenté, de préférence extérieur au service maintenance. Inclure les examens complets des documents nécessaires afin d'atteindre les objectifs spécifiques de l'audit.

A. S'assurer que la fréquence et la portée des audits sont proportionnelles aux résultats des audits précédents et à la performance globale du programme d'intégrité des équipements.

B. Réaliser un audit des risques auxquels les équipements de production, les utilités et les systèmes auxiliaires sont exposés lorsqu'ils fonctionnent à un régime non prévu dans le programme d'intégrité des équipements.

2.3.1.7.2 Si des lacunes sont identifiées lors des audits, veiller à ce que les rapports d'audit prévoient l'identification et le suivi de mesures correctives jusqu'à leur achèvement.

## 2.3.2 Plan équipements

### 2.3.2.1 Plan de secours des équipements

2.3.2.1.1 Rédiger et tenir à jour un plan de secours des équipements dans le cadre d'un plan de continuité des activités, afin de réduire au minimum l'arrêt des équipements et limiter le risque auquel seraient exposés les procédés essentiels du site, dont la production, les utilités et les systèmes auxiliaires.

Ce plan devrait prévoir une évaluation systématique des procédés et systèmes du site afin d'identifier les équipements considérés comme essentiels à la continuité des activités (c'est-à-dire établir une liste des équipements stratégiques).

Évaluer les scénarios de panne des équipements et les risques d'interruption d'activité correspondants. Tenir compte des équipements qui constituent des goulots d'étranglement dans les procédés, qui présentent des points de défaillance uniques, qui sont spécifiques et pour lesquels les délais de livraison sont très longs, et évaluer leur intégrité, leur fiabilité, leur durée de vie résiduelle, leur aptitude au service, l'historique et les tendances de fonctionnement, ainsi que leur vieillissement. Évaluer le type et le périmètre du plan équipements nécessaires pour réduire les risques de panne propres à chaque équipement. Pour tous les équipements couverts par le plan équipements, tenir à jour les informations de la section 3.3.1.2.1.

Le plan équipements inclut les solutions de reprise et les stratégies de réduction des risques en cas de panne matérielle, notamment les différentes options de réparation, de remplacement et de location, les équipements utilisés et/ou en excédent, ainsi que les équipements redondants et de rechange, afin de réduire au minimum les temps d'arrêt.

Évaluer les exigences en matière de transport, de retrait, de démantèlement, d'installation, de manipulation et de main-d'œuvre spécialisée propres aux équipements couverts par le plan de secours des équipements. Voir la section 3.3.2.

S'il est nécessaire de faire appel à des fournisseurs pour effectuer une tâche liée à la mise en œuvre du plan équipements, procéder de la manière suivante :

- A. S'assurer qu'ils sont qualifiés pour respecter les instructions du fabricant et/ou les codes et standards applicables (pratiques RAGAGEP, par exemple), ce qui inclut les standards et/ou directives de l'entreprise, le cas échéant.
- B. Veiller à ce qu'ils puissent fournir une main-d'œuvre spécialisée et disposent d'un outillage propre à l'équipement.

Déterminer si les procédures d'exploitation standard de l'équipement ou du procédé exigent des processus spécifiques de mise en service ou d'examen avant démarrage dans le cadre de la mise en œuvre du plan équipements.

2.3.2.1.2 Pour qu'un plan équipements soit jugé viable et apte à réduire au minimum le temps d'arrêt de l'équipement en cas de panne matérielle et à limiter les risques, les conditions suivantes doivent être réunies :

- A. Le plan équipements détaille les solutions d'intervention et de reprise en cas de panne matérielle pour réduire au minimum l'interruption de l'activité.
- B. Le plan équipements tient compte de l'état des équipements, des scénarios de panne, des risques et de l'impact sur les procédés d'un arrêt imprévu des équipements considérés comme stratégiques pour la continuité des activités.
- C. Le plan équipements prévoit des solutions et stratégies de réduction des risques pour les équipements stratégiques, en tenant compte des options de réparation, de remplacement et de location, des équipements utilisés et/ou en excédent et des équipements redondants et de rechange.
- D. Les informations relatives à la conception, aux caractéristiques techniques et à l'installation des équipements, ainsi que les contrats et accords de service conclus avec les fabricants et/ou les fournisseurs sont disponibles lorsqu'ils sont nécessaires dans le cadre du plan équipements.
- E. Le plan équipements inclut des procédures vérifiées de transport et de retrait ou démantèlement, de même que les exigences relatives à l'installation et la manipulation des équipements stratégiques.

2.3.2.1.3 Revoir, tester et valider le plan équipements une fois par an pour gérer les changements, garantir sa viabilité et vérifier son efficacité. Examiner, tester et valider également le plan équipements en cas de changement majeur sur le site, notamment :

- A. lorsque des équipements de rechange sont mis en service ou en réparation, et ne sont plus disponibles/viables ;
- B. lorsque des équipements de rechange ne sont pas stockés ou entretenus de façon adéquate ;

C. lorsque des changements interviennent au niveau des procédés, des revenus ou de l'état des équipements.

### 2.3.2.2 Pièces de rechange

2.3.2.2.1 La disponibilité de pièces de rechange est l'une des solutions ou stratégies de réduction des risques permettant de reprendre l'activité après une panne matérielle. Stocker les unités et/ou pièces de rechange destinées à limiter le temps d'arrêt des équipements en cas de panne conformément aux instructions du fabricant, et les protéger des dommages matériels et/ou de la contamination. Inspecter, tester et entretenir les pièces et unités de rechange conformément aux instructions du fabricant dans le cadre du programme d'intégrité des équipements, afin de garantir leur viabilité et leur aptitude au service.

Comparer la conception, la capacité nominale et les caractéristiques physiques des pièces et unités de rechange avec celles des équipements en service pour vérifier leur compatibilité. Cette recommandation vise à s'assurer que les pièces et unités de rechange pourront être mises en service afin de reprendre des activités normales après une panne matérielle. Elle permet notamment de savoir si des réparations ou modifications des pièces/unités de rechange sont nécessaires au rétablissement des conditions d'exploitation.

Les « pièces de rechange courantes » sont des consommables et ne sont donc pas considérées comme réduisant la durée d'arrêt des équipements en cas de panne. Elles sont destinées à être utilisées dans des conditions normales d'exploitation pendant toute la durée de vie de l'équipement. Cela vaut pour les pièces de rechange recommandées par le fabricant. Les « pièces de rechange en cas de panne matérielle » sont destinées à être utilisées en cas d'arrêt imprévu d'équipements stratégiques afin de réduire au minimum l'interruption d'activité et de remettre les équipements en service. Dans le cadre de cette fiche technique, le terme « pièces de rechange » désigne les pièces de rechange en cas de panne matérielle. Pour savoir dans quels cas il est recommandé de prévoir des pièces de rechange en cas de panne matérielle, se reporter aux fiches techniques propres à l'activité ou aux équipements concernés.

Pour les équipements de rechange, tenir à jour les informations sur les équipements décrites à la section 3.3.1.2.1.

Vérifier l'emplacement physique, l'état et la viabilité des pièces de rechange, qui peuvent être entreposées sur le site ou ailleurs. S'assurer que les pièces de rechange sont détenues pour l'utilisation prévue et réservées à cet effet.

2.3.2.2.2 Pour qu'un plan équipements soit jugé viable et apte à réduire au minimum le temps d'arrêt de l'équipement en cas de panne matérielle et à limiter les risques, les conditions suivantes doivent être réunies :

- A. La conception, la capacité nominale et les caractéristiques physiques des pièces/unités de rechange sont à la fois compatibles avec les équipements en service et le procédé.
- B. L'emplacement, l'état et la compatibilité des pièces de rechange sont vérifiés de façon à pouvoir remettre l'équipement en service et à réduire au minimum l'interruption de l'activité.
- C. Les pièces/unités de rechange sont stockées, inspectées, testées et entretenues de manière adéquate dans le cadre du programme d'intégrité des équipements pour garantir leur viabilité.
- D. Les pièces/unités de rechange ont été vérifiées et jugées adaptées à l'usage auquel elles sont destinées.
- E. Les pièces/unités de rechange sont disponibles et peuvent être utilisées en cas de panne de l'équipement en service.
- F. Un plan établi par écrit est en place concernant les exigences en matière de transport, de retrait, de démantèlement, d'installation et de manipulation des pièces/unités de rechange (sur site et en dehors du site). Le cas échéant, les modifications majeures nécessaires pour adapter la pièce/l'unité au lieu prévu doivent avoir été identifiées et planifiées (scellement, supports, dimensions du bâti, raccordements au système ou au procédé, etc.). Le matériel éventuellement nécessaire à l'installation de la pièce/l'unité de rechange (cales, raccords, câblage, etc.) est en place.

Le périmètre et la mise en œuvre du programme d'intégrité des équipements relatif aux pièces/unités de rechange à utiliser en cas de panne matérielle sont les mêmes que ceux du programme relatif aux équipements en service pour garantir la viabilité des pièces/unités de rechange.

L'annexe C fournit les bonnes pratiques à mettre en œuvre pour élaborer des stratégies de réduction des risques pour les équipements redondants (c'est-à-dire les équipements N+1) et de location dans le cadre du plan équipements.

Pour plus d'informations sur les plans de secours des équipements et les pièces de rechange, se reporter aux fiches techniques propres aux activités ou équipements concernés.

### 2.3.3 Exclusion des corps étrangers

2.3.3.1 Identifier les équipements qui doivent être conformes à un programme d'exclusion des corps étrangers. Une fois ces équipements identifiés, déterminer également le niveau de conformité au programme d'exclusion des corps étrangers requis (1, 2 ou 3). Les turbines, générateurs, moteurs et compresseurs sont les équipements les plus exposés aux dommages causés par des corps étrangers, en raison de la faible tolérance des éléments rotatifs à grande vitesse. Un programme d'exclusion des corps étrangers doit toutefois être envisagé dès qu'un équipement (transformateur, appareil sous pression, réseau de canalisations, chaudière, tableau électrique, etc.) est ouvert à des fins d'inspection, d'essai, de maintenance et/ou de réparation.

2.3.3.1.1 Tenir à jour une liste des équipements et systèmes concernés avec leur niveau de conformité correspondant.

2.3.3.2 Mettre en place un programme d'exclusion des corps étrangers avec des procédures strictement appliquées lorsque des opérations de maintenance sont effectuées sur des équipements ou systèmes identifiés comme devant être conformes au programme.

2.3.3.3 Effectuer régulièrement des audits de la structure du programme d'exclusion des corps étrangers pour s'assurer que ce programme est efficace, que les équipements et systèmes stratégiques ont tous été identifiés, et que les niveaux de procédure restent applicables à ces équipements.

L'annexe D contient des bonnes pratiques à mettre en place en fonction du niveau de contrôle mis en œuvre dans le cadre du programme d'exclusion des corps étrangers. Les projets nécessitant un démontage important d'équipements rotatifs, en particulier de turbines à gaz et de générateurs, devraient suivre les recommandations correspondant au niveau 3, car l'introduction de corps étrangers dans ces systèmes aurait très probablement des conséquences dévastatrices et coûteuses. Les projets prévoyant des opérations de démontage moins importantes (pour permettre uniquement l'accès d'équipements d'inspection à distance, par exemple) peuvent en revanche appliquer un niveau d'exclusion des corps étrangers moins élevé. Le risque global lié à l'introduction de corps étrangers devrait être pris en compte lors du choix du niveau de protection de l'activité.

## 3.0 BASE DES RECOMMANDATIONS

### 3.1 Historique des sinistres

#### 3.1.1 Statistiques de sinistres

Dans l'industrie, les statistiques de sinistres font état de nombreux incidents liés à la maintenance. Les statistiques de sinistres de FM montrent que les programmes d'inspection, d'essai et de maintenance qui ne sont pas élaborés, mis en œuvre et gérés de manière efficace peuvent avoir une incidence sur les bris de machines. Les données de sinistres intervenus sur une période récente de dix ans indiquent que les programmes d'intégrité des équipements inadéquats (absence de programme d'inspection, d'essai et de maintenance, conception inadéquate ou gestion des anomalies inadaptée) constituent un facteur aggravant dans la plupart des bris de machines.

#### 3.1.2 Exemples de sinistres

##### 3.1.2.1 Absence de programme d'inspection, d'essai et de maintenance entraînant la défaillance de la couronne d'un broyeur semi-autogène

Une mine détenue en copropriété produisait du concentré de cuivre, du molybdène et, dans une moindre mesure, de l'argent et de l'or. La production de ce complexe d'extraction et de concentration se faisait à ciel ouvert. Le volume de production s'élevait à environ 17 637 tonnes (16 000 tonnes) par jour. Le site était équipé d'un unique broyeur semi-autogène (8 200 kW) alimenté par deux moteurs à pignon (4 100 kW). Le

broyeur semi-autogène alimentait deux broyeurs à boulets parallèles. Le minerai transitait par les concasseurs principaux, puis par une aire de stockage d'où il était acheminé par convoyeur jusqu'à l'entrée du broyeur semi-autogène.

Au début d'une vérification du circuit de transfert, le contremaître a été alerté par un grondement anormal et fort. De la poussière s'échappait du capot de la couronne et tombait des chevrons du bâtiment. Il a été constaté que l'une des dents de la couronne était cassée, et le broyeur a été mis à l'arrêt. Les procédures d'arrêt ont été appliquées et le broyeur semi-autogène a été vidé de tous les matériaux qu'il contenait. Plusieurs morceaux de la dent cassée, mesurant jusqu'à 305 mm de long, ont été trouvés dans les différents collecteurs du système de lubrification. Le pignon nord et le moteur étaient décalés d'un quart de tour vers l'intérieur en raison de la dent cassée. Des dommages ont été constatés au niveau des pignons nord et sud.

Le broyeur a été complètement arrêté pendant deux mois. Si le broyeur a pu redémarrer au bout de deux mois, c'est uniquement parce que l'engrenage a pu fonctionner en sens inverse jusqu'à l'arrivée de la pièce de remplacement. Une fois la couronne de remplacement reçue (quatre mois après l'expédition), quatre semaines d'interruption d'activité ont été nécessaires pour l'installer et la mettre en service sur le site.

Lors des essais détaillés réalisés dans le cadre de l'analyse de la défaillance, il a été constaté que 24 des 394 dents de la couronne présentaient des dommages importants, probablement dus au déplacement de la ligne primitive vers l'intérieur. Bien qu'il ait été nécessaire de remplacer des engrenages conjugués et que la machine ait fonctionné sans lubrification à plusieurs reprises au cours des 10 années précédant la défaillance, la couronne n'avait pas été inspectée depuis 10 ans.

Dans ce sinistre, l'absence d'inspection et d'essai de la couronne s'est soldée par une succession de dommages jusqu'à ce que l'une des dents casse et nécessite le remplacement de la couronne. Malgré de nombreux cas avérés d'absence de lubrification et d'usure des pignons, le programme d'inspection, d'essai et de maintenance n'a pas été adapté afin de détecter d'éventuels dommages collatéraux. Sans activités d'inspection, d'essai et de maintenance permettant d'identifier une éventuelle détérioration, la direction du site ne pouvait pas prendre de mesures pour empêcher l'aggravation des dommages ou planifier le remplacement nécessaire.

### **3.1.2.2 Absence de gestion des anomalies d'un transformateur présentant des défauts internes à l'origine de la défaillance du transformateur et d'une baisse de la production**

Une usine de pneumatiques fabriquait 11 000 pneus pour les véhicules de tourisme et le matériel agricole et détenait 100 % des parts de marché dans son pays d'implantation, auxquelles s'ajoutaient des ventes à l'exportation. Le site était alimenté par le réseau public via une ligne de transmission aérienne spécifique reliée à un poste électrique distant de 7 km. Le poste du site était équipé d'un unique disjoncteur à huile protégeant deux transformateurs à huile de 7,5 MVA qui ramenaient la tension de 20 kV à 2,4 kV. Situation unique en son genre dans la région, la tension de 2,4 kV était destinée à alimenter les moteurs des mélangeurs Banbury et des laminoirs ébaucheurs, entre autres équipements de production. Les deux transformateurs étaient indispensables au fonctionnement à pleine capacité du site.

Des échantillons de l'huile des transformateurs ont été analysés dans le cadre de la maintenance préventive. Les résultats de l'analyse des gaz dissous dans l'huile ont montré des signes d'anomalie potentielle au niveau des deux équipements. Il a été recommandé de remplacer les transformateurs et d'élaborer des plans de continuité des activités pour reprendre la production en cas de défaillance de l'un d'eux. La direction du site avait présenté un dossier de remplacement et reconditionné l'huile chaque année afin de prolonger la durée de vie des transformateurs.

D'après les informations recueillies, le site a subi une coupure de l'alimentation électrique durant une nuit en raison d'une coupure générale du réseau public. Le personnel a confirmé que le disjoncteur à huile 20 kV et les disjoncteurs 2,4 kV en aval des deux transformateurs s'étaient déclenchés, de même que le relais de protection différentielle du plus ancien des deux.

Les transformateurs ont fait l'objet d'essais de la résistance d'isolement et du rapport de transformation, qui ont permis de déterminer que le plus ancien des deux présentait des signes de spires défectueuses côté haute tension, confirmant l'hypothèse d'une défaillance interne de l'équipement. Alors même que la détérioration du transformateur le plus ancien et les résultats de l'analyse des gaz dissous dans l'huile montraient des signes de défaillance interne sur les deux équipements, ces derniers ont été remis sous

tension le lendemain, alors que les disjoncteurs secondaires étaient déclenchés. Au moment de la fermeture du disjoncteur à huile en amont, le transformateur le plus ancien a émis une puissante détonation et le disjoncteur s'est de nouveau déclenché.

Le transformateur a fait l'objet d'une inspection interne via une ouverture d'accès et les dommages des enroulements haute tension ont été confirmés. La surtension transitoire due à la coupure d'électricité avait provoqué la panne du transformateur, déjà détérioré.

Le site a repris ses activités le lendemain, avec une capacité réduite d'environ 40 % et un seul transformateur en service, tandis que les réparations et le remplacement de l'équipement endommagé se poursuivaient. D'autres mesures ont permis d'augmenter la capacité jusqu'à environ 70 %. Le transformateur défectueux a été réparé en six semaines environ.

### 3.1.2.3 Absence de procédure de gestion des anomalies aboutissant à l'effondrement d'une tour de refroidissement

Une centrale au charbon produisait de l'électricité à l'aide d'un générateur entraîné par turbines à vapeur. Le refroidissement des équipements était assuré par une tour de refroidissement hyperbolique à courant croisé, installée 37 ans plus tôt et équipée d'un chemin d'accès en séquoia.

Jusqu'à trois ans avant le sinistre, le programme d'inspection, d'essai et de maintenance de la tour de refroidissement prévoyait une inspection tous les deux ans, depuis sa mise en service. Mais à cette période, la fréquence des inspections a été portée à trois ans afin de coïncider avec les arrêts techniques majeurs. Une inspection avait été réalisée quatre mois avant l'incident

et avait révélé plusieurs problèmes majeurs au niveau de la structure de la tour, qui était séparée du tuyau collecteur et comportait des piliers arqués, dont certains présentaient des défauts. Il avait été recommandé de rénover la structure avant de remettre la tour en service.

Seule une partie des réparations a été effectuée, ce qui a entraîné un effondrement partiel, environ 25 % du chemin d'accès de la tour étant tombé. Le sinistre est dû à l'érosion par l'eau des éléments de structure du chemin d'accès (en séquoia). La réduction de la section transversale des éléments de structure a provoqué une perte d'intégrité structurale à l'origine de l'effondrement partiel (sept semaines et demie d'interruption d'activité).

La fréquence réduite des inspections a aggravé l'érosion par l'eau des éléments de structure du chemin d'accès. Après constatation de la détérioration, une procédure de gestion des anomalies aurait dû être appliquée aux résultats de l'inspection pour vérifier si les sections transversales des éléments de structure étaient toujours aptes au service, puis pour connaître les effets de la détérioration. Ces mesures auraient pu permettre de réagir plus rapidement pour corriger les anomalies relevées lors de l'inspection de la tour de refroidissement et d'éviter ainsi le sinistre.

### 3.1.2.4 Absence de plan de secours des équipements à l'origine d'une interruption prolongée de l'activité

Une usine de grande taille fabriquant de la pâte à papier Kraft sur une ligne de production unique présentait une capacité nominale de 816 500 tonnes par an de pâte à papier. Elle était alimentée par de l'électricité produite sur site couvrant la totalité de ses besoins. L'électricité excédentaire était vendue au réseau national. La tension de l'électricité générée sur site était amplifiée via un unique transformateur élévateur de tension. Le transformateur, installé quatre ans plus tôt, disposait de dispositifs de protection spécifiques, de même que d'un système d'analyse des gaz dissous dans l'huile en ligne. Aucune anomalie n'avait été relevée lors des opérations de maintenance suivantes :

- essai de facteur de puissance tous les trois ans ;
- mesures de la résistance d'isolement ;
- essais de la résistance ohmique et du rapport de transformation tous les deux ans ;
- analyse de l'huile isolante une fois par an ;
- contrôle visuel et nettoyage réguliers.

À l'occasion d'une opération de routine, le générateur s'est déclenché, et il a été constaté que de l'huile s'écoulait de la soupape de sécurité du transformateur élévateur. L'analyse des gaz dissous dans l'huile en ligne a révélé des valeurs élevées. Le transformateur a été déconnecté du réseau, et la direction du site a

commencé à acheter de l'électricité pour reprendre la production. Le transformateur avait subi un court-circuit interne et plusieurs défaillances entre spires. Par ailleurs, la présence de soufre dans l'huile isolante avait été identifiée comme la cause du sinistre.

La panne électrique du transformateur élévateur du générateur a contraint la direction du site à acheter de l'électricité auprès d'un fournisseur externe. De plus, faute de condensation de la turbine, il a fallu évacuer la vapeur, ce qui a augmenté la pression exercée sur la station de traitement de l'eau d'alimentation de la chaudière. Ce sinistre a aussi eu un impact sur la production, la capacité prévue n'ayant pas pu être respectée. L'achat d'électricité a représenté environ la moitié des pertes d'exploitation.

### 3.2 Équipements et procédés

#### 3.2.1 Influence de l'intégrité des équipements

De nombreux aspects d'un procédé influent sur le programme d'intégrité des équipements et le périmètre du programme d'inspection, d'essai et de maintenance correspondant. Les informations sur la conception, le fonctionnement et les risques permettent de disposer des connaissances de base pour élaborer le programme d'inspection, d'essai et de maintenance. Les résultats de ce dernier influent sur la conception, la construction et le fonctionnement (notamment les fenêtres d'intégrité de fonctionnement, les limites d'exploitation sûre et les réparations et/ou modifications) des équipements neufs et en place.

### 3.3 Exploitation et maintenance

#### 3.3.1 Intégrité des équipements

Un programme d'intégrité des équipements est essentiel pour garantir l'intégrité et la fiabilité des équipements mécaniques, électriques, sous pression et de production et des systèmes correspondants. L'intégrité et la fiabilité des équipements dépendent de leur utilisation prévue tout au long de leur durée de vie attendue. Favoriser ces deux caractéristiques augmente l'efficacité et réduit les bris de machines.

Le bris de machine est une cause majeure de perte de confinement, elle-même facteur d'incendie ou d'explosion, entre autres risques. La conception, l'installation, l'exploitation, la maintenance et la protection des équipements déterminent leur fiabilité et limitent le risque de panne. Les programmes d'intégrité des équipements permettent de valider la conception d'origine des équipements en détectant, en surveillant et en analysant les tendances des mécanismes d'endommagement prévisibles. La flexibilité de ces programmes aide à gérer les changements au niveau des procédés, des conditions d'exploitation et des paramètres qui définissent le programme d'inspection, d'essai et de maintenance.

##### 3.3.1.1 Programme d'intégrité des équipements

Le programme d'intégrité des équipements a un impact sur les équipements tout au long de leur cycle de vie. Après leur conception initiale et leur démarrage, il met en œuvre un programme d'inspection, d'essai et de maintenance axé sur la fiabilité des équipements lors des périodes de fonctionnement et d'immobilisation. Ce programme d'inspection, d'essai et de maintenance tient compte des mécanismes d'endommagement et modes de défaillance liés aux procédés et aux équipements, susceptibles de se présenter pendant le fonctionnement. Il s'agit d'un processus permanent, à adapter tout au long de la durée de vie des équipements, à mesure qu'ils vieillissent et que les procédés évoluent.

Les enseignements tirés de l'historique de fonctionnement des équipements doivent être pris en compte dans la conception et le programme d'intégrité des nouveaux équipements similaires utilisés dans des conditions comparables.

Le programme d'intégrité des équipements doit gérer avec efficacité les éléments stratégiques qui interagissent en tant qu'étape du processus d'élaboration et de mise en œuvre d'un programme viable.

Pour être viable, un programme doit reposer principalement sur le principe de **responsabilité** (la première étape du processus), en apportant le soutien et l'engagement requis à tous les échelons de l'entreprise pour mettre en œuvre le programme avec efficacité. Voir la section 2.3.1.1. Les autres éléments d'étape du processus sont les suivants :

#### Identification et évaluation

Les étapes du processus relatives à la connaissance des procédés, aux paramètres d'exploitation ainsi qu'à l'identification et à l'évaluation des risques permettent d'identifier et d'évaluer les risques pesant sur un équipement et sa conception en fonction des risques liés aux procédés pendant la durée de vie de l'équipement en question. Il s'agit notamment des fenêtres d'intégrité de fonctionnement, qui dépendent des paramètres d'exploitation. Voir la section 2.2.

#### Réduction des risques

L'intégration de la conception et de la mise en service adéquates en tant qu'étape du processus permet de limiter les risques inhérents au procédé qui pèsent sur l'équipement. Voir la section 2.2.2.

#### Détection

Les programmes d'inspection, d'essai et de maintenance en tant qu'étape du processus, permettent de mettre en œuvre des stratégies de maintenance appropriées afin de gérer efficacement les risques inhérents aux procédés et aux équipements. Le suivi de l'état et des performances repose sur les risques, les mécanismes d'endommagement et les modes de défaillance qui en résultent. La documentation et l'analyse des tendances des résultats d'inspection, d'essai et de maintenance permettent de démontrer la viabilité du programme d'intégrité des équipements. Cette étape représente l'élément fondamental du programme d'intégrité des équipements. Voir la section 2.3.1.2.

#### Gestion

La gestion des anomalies en tant qu'étape du processus permet de gérer efficacement les anomalies liées à l'état des équipements afin de garantir l'évaluation et le suivi de chaque anomalie jusqu'à sa correction. Elle comprend des évaluations de l'aptitude au service et de la durée de vie résiduelle afin d'évaluer le niveau de détérioration des équipements et les mécanismes d'endommagement qui en résultent afin de préserver l'intégrité et la fiabilité des équipements. Voir la section 2.3.1.4.

#### Amélioration

L'étape du processus relative à l'analyse des causes fondamentales et les mesures correctives qui en découlent en cas de panne d'un équipement facilitent l'amélioration et l'évolution constantes du programme. Voir la section 2.3.1.5.

Les étapes du processus relatives au programme d'intégrité des équipements sont détaillées dans la figure 3.3.1.1-1.

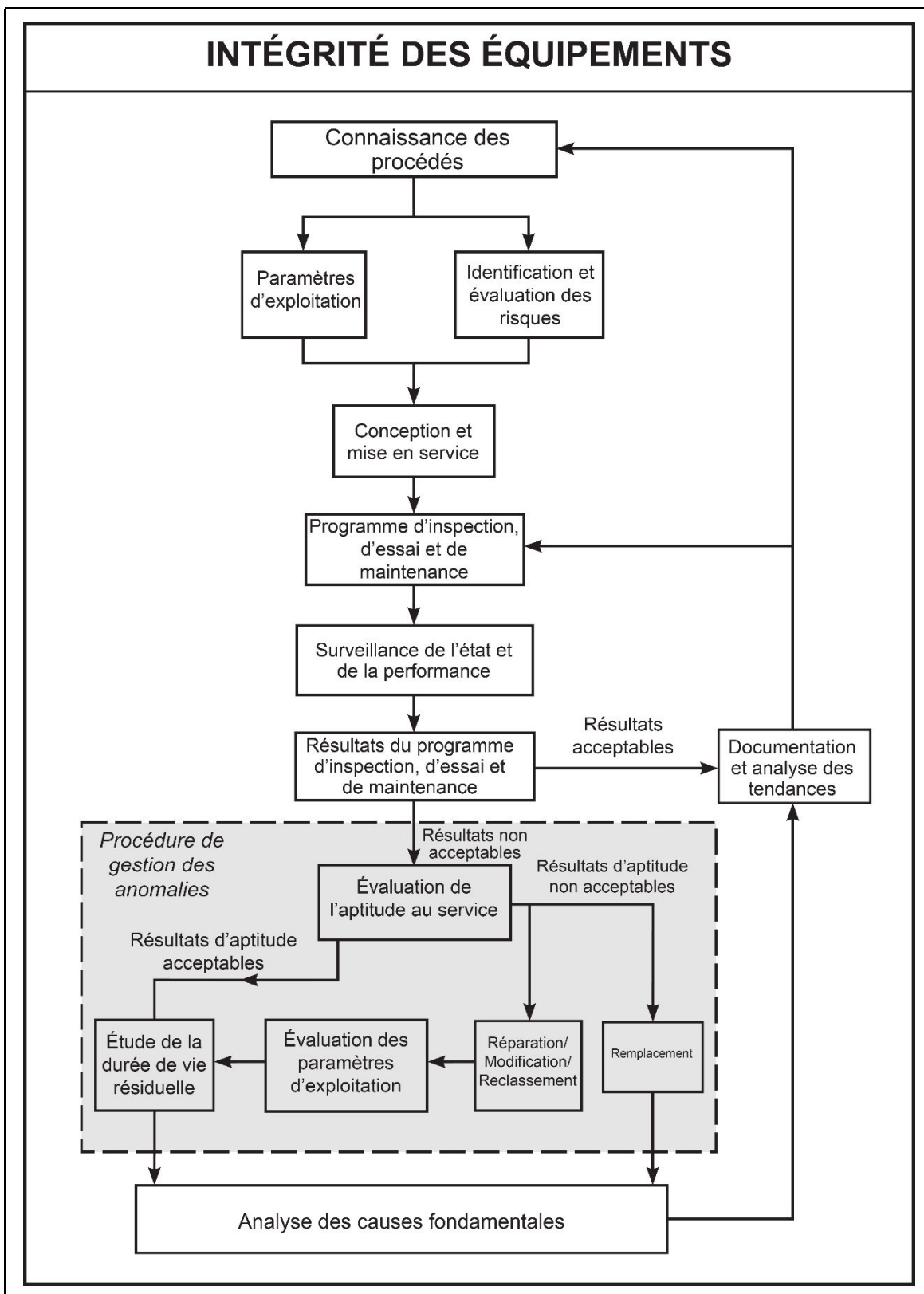


Figure 3.3.1.1-1. Diagramme du processus d'intégrité des équipements

### 3.3.1.2 Inspection, essai et maintenance

Le programme d'inspection, d'essai et de maintenance s'inscrit au cœur du programme d'intégrité des équipements. Il a pour but d'identifier et de mettre en œuvre les activités d'inspection, d'essai et de maintenance nécessaires pour garantir la fiabilité des équipements dans le temps. Le périmètre, les techniques, la fréquence et le lieu de ces activités varient en fonction de la conception, du vieillissement, des mécanismes d'endommagement et modes de défaillance attendus et de la disponibilité opérationnelle visée des équipements.

Il convient de noter que la fréquence des activités d'inspection, d'essai et de maintenance repose généralement sur un compromis entre la disponibilité souhaitée (tolérance au risque) et le coût de ces activités, pour que le programme soit plus économique et facile à mettre en œuvre.

Chacune de ces activités s'accompagne habituellement d'une description détaillée comprenant les informations suivantes :

- A. Instructions permettant de savoir comment, où, quand et pourquoi l'activité doit être réalisée. Selon le niveau de l'activité, il peut aussi bien s'agir d'instructions simples figurant sur un bon de travail que de procédures complètes.
- B. Consignation des résultats une fois l'activité effectuée. Le niveau de détail devrait être proportionnel aux niveaux de l'activité et des instructions fournies. Pour plus d'informations sur la documentation, voir la section 2.3.6.
- C. Les critères d'acceptation auxquels comparer les résultats des activités.

#### 3.3.1.2.1 Liste des équipements stratégiques

Avant d'assigner des stratégies et activités d'inspection, d'essai et de maintenance, une méthode d'identification, d'établissement de descriptions détaillées et de suivi des systèmes, équipements et composants devrait être mise en œuvre pour veiller à ce que tous les équipements couverts par le programme d'intégrité des équipements soient pris en compte. Pour ce faire, il est notamment possible de dresser la liste des équipements et instruments stratégiques.

Cette liste devrait inclure tous les équipements couverts par le programme d'intégrité des équipements, et s'accompagne généralement d'un schéma des flux de production/de procédé, d'un schéma tuyauterie et instrumentation, et de schémas unifilaires des utilités et des systèmes auxiliaires. Les systèmes de protection devraient également figurer dans la liste. Lors de la création de la liste des équipements stratégiques, il convient de vérifier sur place les plans et les schémas, notamment le schéma tuyauterie et instrumentation, afin de s'assurer que les informations sont exactes et cohérentes et que les dispositifs de contrôle et de protection adéquats sont en place (vannes, instruments, bouchons de vidange, etc.). La liste des équipements et instruments stratégiques devrait être suffisamment détaillée pour permettre de regrouper les équipements en fonction de leurs principaux composants et sous-ensembles. Veiller à inclure les équipements redondants, de rechange et/ou de location.

La liste des équipements et instruments stratégiques contient généralement les informations suivantes :

- caractéristiques de conception ;
- données de la plaque d'identification (fabricant, modèle, numéro de série, date d'installation, matériau, dimensions, fournisseur/prestataire local, etc.) ;
- nom et numéro de l'équipement du site ;
- emplacement (numéro de bâtiment, étage, etc.) ;
- nom des personnes responsables et/ou du personnel compétent pour l'équipement ;
- emplacement des manuels techniques, des informations concernant le propriétaire, et des autres documents et schémas ;
- document consignait les bris de machine et la disponibilité de pièces de rechange courantes, et liste des noms et coordonnées des fournisseurs de pièces et d'équipements, des techniciens disponibles et des entreprises de location (le cas échéant).

3.3.1.2.2 Un programme d'inspection, d'essai et de maintenance peut utiliser une stratégie ou une combinaison de stratégies reconnue pour la mise en œuvre des activités correspondantes. Les stratégies

utilisées varient en fonction de l'équipement, de la criticité du procédé, des risques identifiés, des mécanismes d'endommagement, des modes de défaillance et de l'historique de fonctionnement. De plus, il est important de noter que les changements dans le fonctionnement ou l'état d'un équipement peuvent entraîner une évolution des mécanismes d'endommagement et des modes de défaillance. Une combinaison de pratiques de maintenance et de stratégies de réduction des risques peut donc être appliquée tout au long de la durée de vie d'un équipement. Il est essentiel pour les entreprises d'adapter leur stratégie de maintenance de chaque équipement à l'état actuel de ce dernier, le cas échéant.

Les trois principales stratégies utilisées sont présentées ci-après.

### A. Réactive

Une approche réactive (panne, mesure corrective et exploitation jusqu'à défaillance) consiste à réaliser des activités d'inspection, d'essai et de maintenance, une réparation ou un remplacement après la défaillance d'un composant. Il s'agit de la stratégie d'inspection, d'essai et de maintenance la plus ancienne et la plus sommaire. Les mesures à prendre se limitent à la panne concernée et visent à rétablir un niveau de performance acceptable de l'équipement. En règle générale, l'approche réactive est réservée aux équipements n'ayant pas un impact direct sur l'intégrité et la fiabilité de l'ensemble du procédé et elle ne devrait pas être utilisée pour les systèmes de protection. Une approche réactive peut notamment être appliquée aux composants dont la redondance est intégrée dans le procédé, qui peuvent être aisément remplacés par des pièces de rechange pendant l'exécution du procédé, ou dont la défaillance a peu de conséquences (autrement dit, des composants non essentiels au procédé et sans risque important de dommages collatéraux). Les activités de ce type peuvent être qualifiées de « non planifiées » ou « d'urgence » sur les registres de travail. Dans le cadre de cette stratégie, les activités devraient pouvoir être traitées dans un délai raisonnable par un personnel disponible. Le délai de régularisation d'une situation de ce type est généralement lié au rôle du composant ou de l'équipement au sein du procédé.

Caractéristiques d'une approche réactive :

- Compte tenu du peu de travail d'analyse et de planification nécessaire, une stratégie réactive peut être moins coûteuse (dans un premier temps, mais peut-être pas sur le long terme) à mettre en œuvre que d'autres approches plus élaborées.
- Le temps d'immobilisation initial des équipements est réduit, puisqu'ils ne sont pas mis hors service à des fins d'inspection, d'essai et de maintenance.
- Cette approche expose généralement les équipements à des risques de défaillance imprévisible, ce qui peut réduire leur disponibilité et augmenter les coûts annexes.
- La durée de vie des équipements est plus courte.
- Les dommages constatés après défaillance peuvent se révéler plus graves que si l'équipement avait été contrôlé et réparé plus rapidement.

### B. Préventive

Une approche préventive (ou axée sur le temps) consiste à réaliser des activités de maintenance à intervalles définis (en nombre de mois, d'heures de fonctionnement, de kilomètres, de démarrages, d'arrêts, etc.) afin d'éviter une panne intempestive. Elle vise à prévenir les pannes en rénovant ou en remplaçant les composants avant qu'ils ne présentent un défaut, en programmant des activités d'inspection, d'essai et de maintenance à des intervalles prédéterminés, quel que soit l'état des équipements. Elle suppose une connaissance statistique du phénomène de détérioration et de la durée de vie du composant. Une stratégie préventive a pour but d'empêcher les défaillances majeures et d'éviter toute activité imprévue. La durée d'arrêt des équipements est généralement moins longue qu'avec la maintenance réactive. Cette méthode est à privilégier lorsque les causes spécifiques de la détérioration d'un équipement et le régime de fonctionnement du composant sont bien établis, logiques et prévisibles.

Lors de la définition des intervalles de maintenance préventive, la durée de vie et le risque de défaillance sont déterminés sur la base d'informations statistiques traditionnellement fournies par les fabricants et les groupes industriels. Il est donc possible que les données ne reflètent pas précisément un régime de fonctionnement particulier sur un site spécifique et que des défaillances imprévues surviennent en cours d'utilisation, ce qui débouche sur des activités non planifiées et l'immobilisation de l'équipement.

Par ailleurs, avec le remplacement de pièces à intervalles définis, il est possible que des éléments soient remplacés bien avant qu'ils présentent une défaillance. Une partie de la durée de vie du composant remplacé

peut alors être inutilisée et perdue ou bien les interventions de maintenance risquent d'être trop nombreuses, ce qui peut s'avérer préjudiciable (remplissage excessif d'un palier en raison de lubrifications trop fréquentes, par exemple).

Caractéristiques d'une approche préventive :

- Les équipements devraient être soumis à une routine d'inspection, d'essai et de maintenance tout au long de leur durée de vie.
- Une stratégie d'inspection, d'essai et de maintenance préventive peut fournir des données source nécessaires pour évaluer la détérioration d'équipements non surveillés.
- Elle s'avère généralement coûteuse en raison d'activités qui sont planifiées régulièrement sans tenir compte de l'état des équipements.
- Des ressources sont nécessaires pour programmer, réaliser et suivre les activités d'inspection, d'essai et de maintenance.
- Les équipements qui fonctionnent correctement peuvent être perturbés par des démontages fréquents jusqu'au point de détresse induite possible. Par exemple, une machine fonctionnant parfaitement peut être démontée à des fins d'inspection, d'essai et de maintenance, puis remontée. Or, lors des activités d'inspection, d'essai et de maintenance, une erreur commise par un technicien peut causer des dommages.
- Les équipements présentent une durée de vie et une fiabilité supérieures par rapport à l'approche réactive.

#### C. Prédicative et en fonction de l'état

Une approche prédictive et/ou en fonction de l'état fait appel à différentes techniques pour surveiller l'état des équipements. En cas de détérioration, la plupart d'entre eux enregistrent une baisse de performance sous forme de chaleur excessive, de bruit, de mouvements, d'usure des composants, etc. Par conséquent, la surveillance des baisses de performance ou d'efficacité d'un équipement peut constituer le premier indicateur d'un problème. Les variables à surveiller dépendent de l'équipement et du procédé dans lequel ce dernier est impliqué. Les informations recueillies par les techniques de surveillance servent ensuite à détecter une éventuelle détérioration et à déclencher des activités d'inspection, d'essai et de maintenance. L'approche prédictive permet d'extrapoler les données surveillées pour mieux anticiper les défaillances. Avec ces deux méthodes, les activités d'inspection, d'essai et de maintenance ne doivent être réalisées qu'en cas de nécessité (avant une défaillance ou des dommages irréparables).

Ces stratégies exigent tout d'abord d'effectuer des mesures pour identifier les valeurs anormales. L'interprétation des mesures permet ensuite de savoir si l'anomalie est importante. Dans l'affirmative, le type de détérioration et la gravité de la situation sont ensuite déterminés. Il est ainsi possible de ne planifier ou de n'effectuer des interventions que si une détérioration de l'état de l'équipement est constatée et si sa durée de vie résiduelle est compromise.

Il existe différentes stratégies pour mettre en œuvre des techniques de surveillance de l'état. Une ou plusieurs stratégies de surveillance de l'état et différentes techniques peuvent être appliquées à chaque composant ou équipement. Quelles qu'elles soient, les techniques de surveillance de l'état doivent permettre de détecter les mécanismes de détérioration habituels des paramètres de fonctionnement de l'équipement pour le procédé. Voici quelques-unes de ces stratégies :

- **Stratégie continue** : les stratégies continues sont généralement automatisées et assurent une surveillance continue et centralisée (depuis une salle de commande). Les systèmes de ce type sont habituellement coûteux à installer et ne sont donc utilisés que lorsqu'il est nécessaire de communiquer l'état des équipements en quelques secondes.
- **Stratégie périodique** : les stratégies de ce type sont appliquées à intervalles définis (intervalles de temps ou basés sur les procédés). Elles peuvent présenter des coûts d'installation réduits si la surveillance n'est pas centralisée. Dans ce cas, elles nécessitent davantage de main-d'œuvre, car les données doivent être recueillies sur le terrain. Ces stratégies sont généralement utilisées lorsque l'état peut indiquer l'apparition de problèmes qui, s'ils sont ignorés, provoqueront une défaillance.
- **Stratégie transitoire** : les stratégies de ce type se contentent de surveiller l'état des équipements au démarrage, à l'arrêt, dans les situations d'alarme ou dans d'autres modes de fonctionnement

transitoires. Elles peuvent également être utilisées pendant la mise en service et avant ou après une révision pour confirmer que les éventuels remplacements ou modifications sont adaptés aux charges de travail.

Voici certaines des techniques de surveillance qui peuvent être mises en œuvre :

1. Suivi des performances : il utilise plusieurs formes de surveillance de l'état, dont il convertit les résultats en caractéristiques de performance des systèmes ou équipements. Il peut porter sur n'importe quel composant équipé d'instruments utiles pour évaluer l'état ou l'efficacité.
2. Contrôle de la température : il inclut le contrôle par thermographie et d'autres techniques.
  - a. Contrôle par thermographie : il permet de détecter des défauts électriques et mécaniques tels que des frottements excessifs, des surchauffes, des connexions desserrées, des isolations fragilisées et des obstacles au refroidissement. Il est généralement utilisé sur les paliers, les moteurs, les fusibles, les relais, les canalisations de vapeur, les engrenages d'entraînement, les courroies, les raccords, les groupes électrogènes, les transformateurs, les raccords de fusibles, les tableaux électriques, les démarreurs, les contacteurs et les équipements sous tension.
  - b. Contrôle ponctuel de la température : généralement utilisé pour suivre les profils de température lors de différents modes de fonctionnement et états transitoires, ce contrôle permet de surveiller des endroits spécifiques où le contrôle par thermographie est impossible en service.
3. Contrôle des vibrations : cette technique très efficace permet de détecter les défauts mécaniques des machines tournantes telles que les pompes, les moteurs, les ventilateurs et les turbines. Elle permet notamment d'identifier les paliers défectueux, les déséquilibres et les défauts d'alignement.
4. Analyse de la lubrification : elle permet d'identifier l'usure des composants et des paliers, l'épuisement des additifs et la dilution du carburant, les fuites de liquide de refroidissement, la contamination, la pénétration d'impuretés et la détérioration des joints d'étanchéité intérieurs. Elle est utilisée sur les réducteurs, les moteurs, les compresseurs et les pompes. La lubrification est indispensable au fonctionnement des machines. L'analyse de la lubrification et les propriétés physiques doivent faire l'objet d'un diagnostic précis.
5. Analyse des particules : les composants usés, qu'ils fassent partie de machines alternatives, de réducteurs ou de groupes hydrauliques, produisent des débris. La collecte et l'analyse de ces débris fournissent des informations sur les composants en cours de détérioration et le rythme de cette détérioration. Elle est utilisée sur les réducteurs, les moteurs, les compresseurs et les pompes.
6. Contrôle des émissions acoustiques : il permet de détecter, de localiser et de surveiller en permanence les fissures ou les fuites au niveau des structures, des canalisations et des appareils sous pression. Il s'agit d'un outil de contrôle, et non d'une technologie de précision. Il est utilisé sur les machines tournantes et les composants sous pression.
7. Contrôle par ultrasons : il permet d'identifier une lubrification insuffisante ou excessive des paliers, l'amincissement des parois et les défauts au niveau des sous-surfaces. Il est utilisé sur les machines tournantes et les composants sous pression.
8. Surveillance des équipements électriques en ligne : l'analyse des gaz dissous dans l'huile ou les essais de décharge partielle permettent d'évaluer l'état des gros moteurs et groupes électrogènes. Ils servent à identifier les vides qui se forment dans l'isolation solide (décollement).

Caractéristiques d'une approche prédictive ou en fonction de l'état :

- Les équipements ne sont entretenus qu'en cas de nécessité.
- Les activités ont lieu suffisamment tôt pour éviter des dommages importants.
- Les problèmes de conception sont identifiés de façon à permettre des réparations définitives.
- La durée de fonctionnement augmente.
- Du matériel de surveillance et d'analyse et des formations sont nécessaires.
- Des données analysées de manière incorrecte peuvent conduire à des activités d'inspection, d'essai et de maintenance peu judicieuses ou insuffisantes, avec des résultats peu satisfaisants.

3.3.1.2.3 Différentes stratégies d'inspection, d'essai et de maintenance peuvent être appliquées à chaque équipement. Pour déterminer celles qui conviennent à chacun, un processus de hiérarchisation des

équipements et de sélection des stratégies est généralement mis en place. Ce processus peut varier d'un site à l'autre. Un processus d'identification de la criticité des équipements bien défini, utilisé de façon systématique à l'échelle du site ou de l'activité, est un gage de cohérence lors de la comparaison des systèmes ou des équipements. Les sections suivantes présentent quelques exemples de processus courants.

#### A. Standards du secteur établis par écrit

Certaines informations standardisées sur les procédés utilisés depuis longtemps peuvent être disponibles. Destinées au propriétaire ou aux opérateurs, elles sont généralement rédigées et tenues à jour par une organisation sectorielle reconnue.

#### B. Catégorisation des systèmes et des équipements

Les catégories de systèmes et d'équipements, définies par le secteur, correspondent à leur niveau de criticité respectif. Ces catégories peuvent être génériques ou complexes.

#### C. Maintenance axée sur la fiabilité

Ce processus de maintenance systématique analyse les fonctions du système. La première étape consiste à choisir un équipement stratégique, puis le système dont il fait partie est défini et analysé. L'analyse identifie les différents cas où le système ne serait pas en mesure de remplir ses fonctions sur le site. La cause fondamentale de chaque mode de défaillance du système est identifiée, et une stratégie d'inspection, d'essai et de maintenance est appliquée à chacune d'elles, le principal objectif étant d'assurer la continuité des activités de manière rentable. La maintenance axée sur la fiabilité concerne généralement les machines tournantes.

#### D. Inspection basée sur les risques et maintenance basée sur les risques

Ces deux approches permettent de savoir comment, où et quand inspecter les équipements d'un site et procéder à leur maintenance. Elles servent à hiérarchiser les activités d'inspection, d'essai et de maintenance et partent du principe que l'utilisation la plus efficace de ces activités et des investissements du site consiste à traiter en priorité les procédés, systèmes ou équipements exposés aux risques les plus élevés.

L'inspection basée sur les risques et la maintenance basée sur les risques sont des programmes complets, dont la mise en œuvre et la promotion nécessitent un engagement durable de la direction. Dans ces programmes, le risque est déterminé sur la base de scénarios de défaillance élaborés pour les procédés, systèmes ou équipements concernés du site. La probabilité et les conséquences de ces défaillances sont ensuite converties en matrice des risques représentant visuellement le classement des risques des équipements concernés. Cette matrice permet d'identifier les équipements qui présentent un risque supérieur au niveau acceptable et auxquels des techniques de réduction des risques doivent donc être appliquées.

##### 3.3.1.2.4. Fenêtres d'intégrité de fonctionnement et limites d'exploitation sûre

La fenêtre d'intégrité de fonctionnement est la plage des paramètres de fonctionnement admissible pour un équipement, qui est déterminée par le processus d'identification et d'évaluation des risques (limites de température inférieure et supérieure, vitesses de montée minimale et maximale, etc.). Les valeurs supérieure et inférieure qui définissent les limites de la fenêtre d'intégrité de fonctionnement sont également appelées limites d'exploitation sûre.

Un équipement fonctionnant dans ces limites respecte les paramètres de procédé et de conception, ce qui réduit le risque de panne. En revanche, s'il fonctionne en dehors des limites d'exploitation sûre (et donc, de la fenêtre d'intégrité de fonctionnement), il est exposé à une détérioration accélérée et au risque de défaillance prématurée. Les fenêtres d'intégrité de fonctionnement et les limites d'exploitation sûre varient selon l'état de l'équipement et sont susceptibles d'évoluer au fil du temps. Les opérateurs doivent parfaitement comprendre ces deux stratégies, détaillées dans les procédures d'exploitation et présentées dans le cadre de leur formation. La fenêtre d'intégrité de fonctionnement et les limites d'exploitation sûre sont illustrées à la figure 3.3.1.2.4.

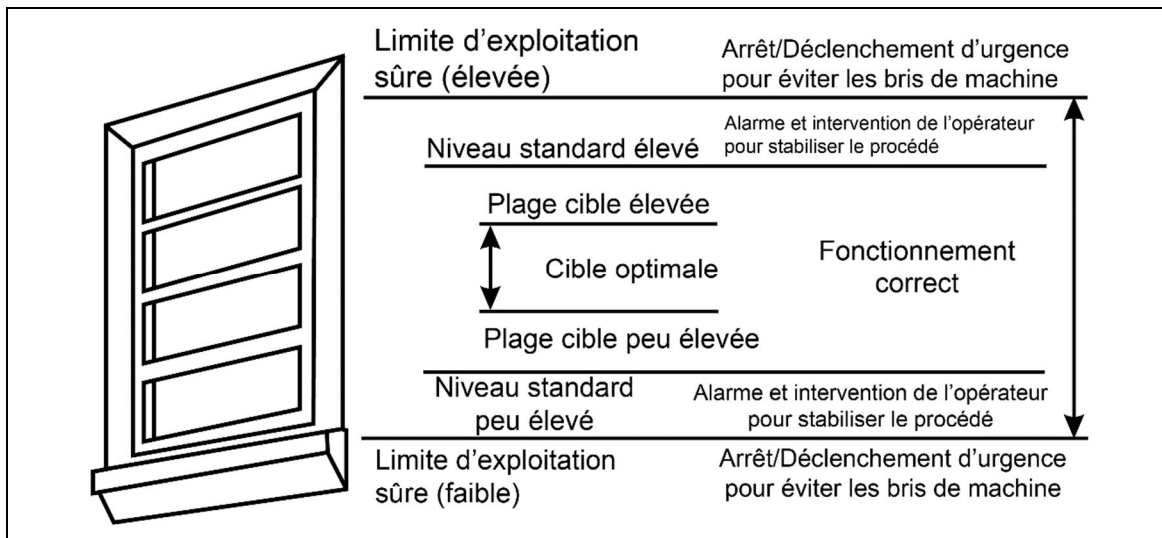


Figure 3.3.1.2.4. Fenêtre d'intégrité de fonctionnement

### 3.3.1.2.5 Vieillessement des équipements

Le vieillissement n'est pas seulement une question d'âge chronologique. Il s'agit de la détérioration subie par un équipement tout au long de sa durée de vie. Elle est fonction des impacts cumulés des conditions physiques, de fonctionnement et d'environnement, de l'historique de fonctionnement, des résultats de l'évaluation et tendances du programme d'inspection, d'essai et de maintenance, et du rapport entre âge chronologique et durée de vie. Les équipements et composants sont conçus pour résister aux dégradations et mécanismes d'endommagement liés aux procédés et à l'environnement, avec une certaine marge/un certain facteur de sécurité basé(e) sur des standards courants. Ils fonctionnent ainsi de manière fiable dans les conditions d'exploitation prévues sur la base des risques liés aux procédés (température, pression, degré de corrosion, cycles, etc.). Cette détérioration prévisible au cours de la durée de vie des équipements est prise en compte par le fabricant pour établir la durée de vie théorique. Toutefois, les propriétés physiques, métallurgiques et chimiques des matériaux de fabrication des équipements se dégradent sous l'effet des conditions d'exploitation et d'environnement. Compte tenu de ces facteurs, l'intégrité des équipements diminue au gré de leur vieillissement.

Le vieillissement varie selon les procédés et les équipements. Ces derniers peuvent subir une détérioration (liée ou non à la durée de service), ce qui augmente le risque de défaillance en fonctionnement, variable selon le degré de détérioration et la gravité des dommages. Le vieillissement peut être normal et pris en compte dans la durée de vie théorique, ou accéléré, selon l'impact des facteurs d'influence sur l'équipement. Si ces facteurs sont gérés de façon inadéquate, si l'équipement présente des vices de conception cachés ou des défauts de fabrication et/ou si sa conception n'est pas adaptée au procédé, le vieillissement accéléré et les défaillances prématurées ou imprévues sont susceptibles d'augmenter. Toutefois, une fatigue ou des contraintes cycliques peuvent être à l'origine d'une panne inopinée, alors même que la fenêtre d'intégrité de fonctionnement de l'équipement est respectée. Les conditions d'exploitation et d'environnement peuvent modifier les mécanismes d'endommagement ayant un impact sur le vieillissement et la durée de vie résiduelle. Les modifications des paramètres de fonctionnement en dehors des limites de conception ou de la fenêtre d'intégrité de fonctionnement prévues par le fabricant peuvent, elles aussi, modifier les mécanismes d'endommagement et la durée de vie, en augmentant la détérioration et le risque de défaillance en service.

La gestion de ces facteurs d'influence détermine s'il est possible de réparer (le cas échéant), de modifier ou de rénover l'équipement pour en rétablir l'intégrité, ou s'il est nécessaire de remplacer l'équipement entier ou un composant. Avec un fonctionnement adéquat et un programme d'inspection, d'essai et de maintenance viable, l'équipement peut atteindre sa durée de vie théorique initiale, voire la dépasser. À l'inverse, une mauvaise utilisation et/ou un programme d'inspection, d'essai et de maintenance inadéquat peuvent réduire sa durée de vie. Pour bien cerner la durée de vie d'un équipement, il est nécessaire de prendre en compte les résultats de l'étude estimant la durée de vie résiduelle.

### 3.3.1.2.6 Vieillessement et intégrité des équipements

La connaissance des risques liés aux procédés permet de définir le périmètre du programme d'intégrité des équipements et de le mettre en œuvre pour surveiller efficacement les mécanismes d'endommagement et l'impact des facteurs d'influence sur le vieillissement et la durée de vie résiduelle. Il est important de bien comprendre, évaluer et analyser les tendances des mécanismes d'endommagement dans le cadre du programme d'inspection, d'essai et de maintenance et, si nécessaire, de les corriger pour préserver l'intégrité des équipements tout au long de leur durée de vie.

Si le programme d'intégrité des équipements révèle une détérioration supérieure aux limites acceptables, il est possible qu'une analyse supplémentaire, sous la forme d'une évaluation de l'aptitude au service, soit nécessaire. Elle peut ensuite donner lieu à des ajustements du programme d'inspection, d'essai et de maintenance. Les procédures d'exploitation et/ou paramètres de fonctionnement peuvent nécessiter une révision pour s'assurer que l'équipement reste conforme à l'évolution de la fenêtre d'intégrité de fonctionnement et pour empêcher qu'il soit exposé à des conditions susceptibles d'accélérer sa détérioration pendant son fonctionnement. Une diminution du rendement ou de l'efficacité constatée grâce à la surveillance de l'état et au suivi des performances, une augmentation de la fréquence des pannes et/ou des réparations à répétition peuvent indiquer une aggravation de la détérioration ayant un impact négatif sur la durée de vie. Il peut alors être nécessaire de réparer, modifier ou rénover les équipements pour rétablir leur intégrité. Le remplacement de composants stratégiques détériorés permet de prolonger la durée de vie des équipements. Un remplacement complet peut s'avérer nécessaire en fonction des résultats de l'étude de la durée de vie résiduelle. Cette étude fournit en effet les informations requises pour garantir le remplacement en temps utile d'équipements vétustes avant qu'ils ne tombent en panne.

Pour gérer efficacement le vieillissement, il est nécessaire d'adopter une approche en fonction de l'état, car elle permet de connaître l'impact des facteurs d'influence et d'évaluer la durée de vie résiduelle des équipements. Une approche de ce type inclut l'analyse des activités d'inspection, d'essai et de maintenance, mais aussi des résultats de la surveillance de l'état et du suivi des performances afin d'identifier des tendances. Il peut être nécessaire d'ajuster le périmètre et la fréquence du programme d'inspection, d'essai et de maintenance pour surveiller plus étroitement les mécanismes d'endommagement jusqu'à ce que l'équipement puisse être réparé, modifié, rénové ou remplacé.

### 3.3.1.2.7 Facteurs d'influence contribuant au vieillissement des équipements

Les facteurs d'influence contribuant au vieillissement des équipements, qui jouent le rôle d'indicateurs de risques, peuvent inclure les conditions suivantes, sans toutefois s'y limiter :

#### **Conditions physiques :**

- dégradation des propriétés mécaniques ;
- corrosion et érosion (y compris la corrosion sous isolant et sous revêtement ignifuge) ;
- usure ;
- dégradation thermique ;
- fatigue ;
- contraintes cycliques ;
- fragilisation ;
- ténacité à la rupture ;
- corrosion sous contrainte ;
- oxydation ;
- fluage ;
- dommages dus à l'hydrogène (attaque) ;
- déformation et distorsion ;

#### **Conditions d'exploitation et d'environnement :**

- régime de fonctionnement, conditions d'exploitation, paramètres, heures de fonctionnement et modifications du cycle de service ;
- modification des procédés ou du volume de production ;
- changements des matières utilisées dans le procédé ;
- modification de la fenêtre d'intégrité de fonctionnement ;
- opérateurs (procédures d'exploitation standard et/ou d'urgence inadéquates) ;
- surchauffe ;

- pression excessive ;
- perte de refroidissement ;
- vibrations ;
- fuites ;
- défauts d'alignement ;
- choc thermique ;
- attaque chimique ;
- choc mécanique ;
- lubrification insuffisante ;
- entartrage ;
- destruction de couche de passivation ;
- conditions environnementales (propreté, fraîcheur, étanchéité, siccité, air salé, sable du désert, température ambiante élevée ou basse, substances dangereuses utilisées dans le procédé, etc.) ;
- conditions environnementales persistantes et inhérentes au procédé.

### Historique de fonctionnement :

- écarts de procédés (fonctionnement irrégulier dans les limites de conception) ;
- tendances défavorables dégagées de la surveillance de l'état et du suivi des performances ;
- impacts défavorables ayant pour cause des perturbations, des déclenchements, des arrêts forcés, des plantages et/ou des casses ;
- historique de fonctionnement au-delà des limites de fonctionnement ;
- conception, type, modèle et historique de fonctionnement du parc des équipements, y compris l'impact des mises à niveau/remplacements de composants sur la durée de vie ;
- augmentation de la fréquence des pannes et/ou réparations/rénovations/remplacements à répétition de composants stratégiques ;
- historique de fonctionnement défavorable par rapport à la conception d'origine.

### Inspection, essai et maintenance :

- résultats et tendances de l'évaluation des mécanismes d'endommagement réalisée conformément au programme d'intégrité des équipements, avec réparations, modifications, rénovation et/ou remplacement adéquat(es) des composants stratégiques si nécessaire pour rétablir l'intégrité des équipements ;
- résultats de l'évaluation d'aptitude au service.

### Âge chronologique et durée de vie :

- rapport entre l'âge chronologique et la durée de vie des équipements.

L'âge chronologique est un facteur d'influence pris en compte dans l'évaluation du vieillissement. Le rapport entre la durée de vie et l'âge chronologique de l'équipement varie en fonction de son type et de son environnement de fonctionnement, qui a, lui aussi, un impact sur la détérioration de l'équipement au fil du temps. Il est important de faire la distinction entre vieillissement et âge chronologique. La détérioration peut évoluer progressivement, mais elle est conditionnée par les facteurs d'influence, notamment l'âge chronologique. L'âge chronologique est lié à l'exposition accrue au fil du temps aux divers mécanismes d'endommagement, conditions de l'environnement de fonctionnement, etc.

La figure 3.3.1.2.7 illustre les interactions de l'impact des facteurs d'influence sur le vieillissement des équipements.

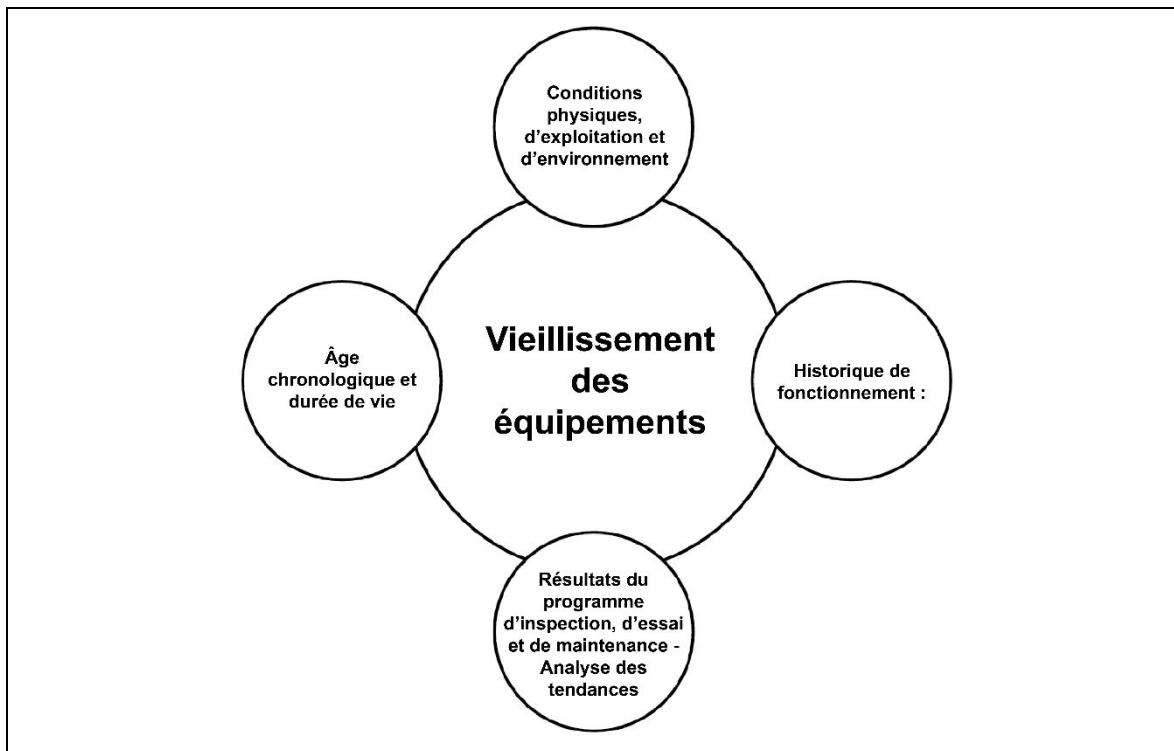


Figure 3.3.1.2.7. Facteurs d'influence contribuant au vieillissement des équipements

### 3.3.1.3 Gestion des anomalies

La gestion des anomalies est une procédure établie dans le cadre du programme d'intégrité des équipements pour garantir l'évaluation et le suivi de toutes les anomalies liées à l'état des équipements jusqu'à leur correction. Cette procédure débute lorsque les résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance révèlent une ou plusieurs conditions/détériorations en dehors des limites acceptables. Elle vise à déterminer les implications de la détérioration constatée sur la durée de vie de l'équipement.

#### A. Aptitude au service

Lorsque le programme d'inspection, d'essai et de maintenance identifie une détérioration ou des dommages non conformes aux critères d'acceptation, une évaluation des résultats est réalisée pour connaître les éventuelles implications. Cette évaluation, qui sert à déterminer si l'intégrité d'un équipement est suffisante pour qu'il continue à fonctionner et soit jugé apte ou non à l'utilisation prévue, est appelée évaluation de l'aptitude au service. Il s'agit d'une évaluation technique quantitative ou qualitative complète destinée à démontrer l'intégrité d'un équipement en service dans les conditions actuelles. Elle tient compte de l'impact des mécanismes de détérioration et d'endommagement identifiés, pour permettre de prendre des décisions proactives concernant l'utilisation en l'état, le déclassement, la réparation, la surveillance ou le remplacement de l'équipement. L'évaluation nécessite des données relatives à la conception d'origine, l'historique de fonctionnement, d'inspection, d'essai et de maintenance de l'équipement, ainsi que les conditions d'exploitation prévues. En général, l'évaluation de l'aptitude au service se déroule de la manière suivante :

1. Identifier le type et l'étendue de la détérioration.
2. Déterminer s'il est possible de réaliser une évaluation de l'aptitude au service.
3. Déterminer les données nécessaires.
4. Étudier les techniques d'évaluation de l'aptitude au service disponibles et les critères d'acceptation.
5. Procéder à l'évaluation de l'aptitude au service.

6. Effectuer une remédiation, le cas échéant.
7. Établir la nécessité d'une surveillance en service.
8. Consigner les résultats par écrit.

Au niveau mondial, la norme la plus répandue pour l'évaluation de l'aptitude au service des équipements sous pression et structurels est l'API 579/ASME FFS-1. Elle recense trois niveaux d'évaluation de l'aptitude au service :

- Le niveau 1 correspond à une analyse de base.
- Le niveau 2 est une évaluation plus précise comprenant des calculs détaillés.
- Le niveau 3 est l'analyse la plus approfondie, qui comprend généralement une modélisation informatisée.

Si l'évaluation détermine que l'équipement est apte au service dans les conditions actuelles, une étude de la durée de vie résiduelle est généralement réalisée.

En revanche, si l'évaluation indique que l'équipement n'est pas apte au service, plusieurs options sont envisagées. L'une d'elles consiste à réparer ou modifier physiquement l'équipement pour que son état redevienne acceptable. Une autre solution consiste à reclasser l'équipement pour réduire les contraintes opérationnelles afin que son état actuel soit considéré acceptable (ce qui dépend du processus permettant ce reclassement). Autre possibilité : mettre l'équipement hors service et en mode by-pass (s'il n'est pas essentiel à l'activité) ou le remplacer. Dans chacune de ces situations, la fenêtre d'intégrité de fonctionnement et les limites d'exploitation sûre de l'équipement devraient être réévaluées et une étude de la durée de vie résiduelle devrait être réalisée.

En règle générale, chaque fois qu'une évaluation de l'aptitude au service est jugée nécessaire compte tenu des résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance, une analyse des causes fondamentales et/ou une enquête après incident sont effectuées.

### B. Assurance qualité ou contrôle qualité (QA/QC) des remplacements, réparations et modifications

En cas de constatation d'une détérioration, des mesures correctives peuvent être nécessaires pour remettre l'équipement en service. L'ampleur d'une mesure corrective dépend des mécanismes d'endommagement et de l'importance de la détérioration.

Lors du remplacement, de la réparation ou de la modification d'un équipement, il est important d'utiliser des composants/équipements dont le type et les matériaux de fabrication sont adéquats. Pour ce faire, il est possible d'établir et de mettre en œuvre des pratiques et procédures d'assurance qualité/de contrôle qualité pour l'achat, la fabrication, la réception et le stockage, la construction et l'installation des équipements et systèmes. Des pratiques et procédures de ce type devraient également être appliquées aux réparations, modifications, opérations de reclassement, remplacement et démantèlement des équipements et des systèmes.

L'assurance qualité implique notamment de vérifier la conformité des matériaux aux caractéristiques de conception (dimensions, propriétés mécaniques et composition chimique). Cette vérification peut être effectuée aux stades de la fabrication, de la réception, de la construction, de la réparation ou de la modification des équipements et systèmes et/ou lors des activités d'inspection, d'essai et de maintenance de routine. Plusieurs techniques peuvent alors être employées pour garantir le respect des caractéristiques de conception. La pratique de vérification la plus répandue consiste à s'assurer de la composition chimique des matériaux par l'identification positive des matériaux.

L'identification positive des matériaux est l'appellation courante de la méthode consistant à tester physiquement un matériau afin de connaître sa composition chimique. Elle peut être utilisée pour s'assurer que les matériaux de fabrication sont conformes aux caractéristiques de conception, que ce soit avant ou après leur mise en service. Plusieurs techniques permettent de réaliser une identification positive des matériaux, l'analyse par fluorescence par rayons X étant la méthode la plus utilisée sur le terrain grâce à des appareils portables. En laboratoire, il est plus fréquent d'utiliser un microscope électronique à balayage associé à un spectromètre à rayons X à dispersion d'énergie ou à un spectromètre d'émission optique.

La précision des résultats varie selon la technique d'identification positive des matériaux employée, car chacune d'elles présente des limites spécifiques. Les techniques de laboratoire sont généralement plus précises et permettent de détecter des éléments de masse atomique plus faible.

### C. Durée de vie résiduelle

Lorsqu'un équipement est soumis à l'impact cumulé des facteurs d'influence contribuant au vieillissement, notamment aux conditions d'exploitation et/ou d'environnement entraînant une détérioration et un vieillissement, sa durée de vie résiduelle risque d'être réduite. La durée de vie résiduelle est essentielle pour l'établissement et la mise en œuvre d'une stratégie de gestion proactive des équipements, car elle permet de prévoir la réparation, la modification, la rénovation ou le remplacement d'un équipement avant qu'une défaillance ne survienne en service. Elle correspond à la période pendant laquelle l'équipement continuera de fonctionner selon l'utilisation prévue. Elle est calculée sur la base des résultats d'une évaluation technique, dans le cadre d'une étude de la durée de vie résiduelle.

Une étude de la durée de vie résiduelle est une évaluation technique quantitative et/ou qualitative complète qui, selon une approche en fonction de l'état, détermine la durée de vie restante de l'équipement. Cette étude entraîne l'établissement du plan équipements nécessaire pour combler l'écart entre la durée de vie résiduelle d'un équipement et le délai requis pour le réparer, le modifier, le rénover ou le remplacer. Un plan de ce type permet de réduire au minimum l'interruption de l'activité et de limiter les risques dus à une défaillance prématurée de l'équipement en service.

L'approche en fonction de l'état utilisée dans l'étude de durée de vie résiduelle tient compte des impacts des facteurs d'influence contribuant au vieillissement (notamment les conditions physiques, d'exploitation et d'environnement), des résultats actuels et des tendances dégagées du programme d'inspection, d'essai et de maintenance d'un équipement (en fonction des caractéristiques connues des mécanismes de détérioration et d'endommagement auxquels est soumis l'équipement et des matériaux de fabrication, de l'âge chronologique et de la durée de vie), des conditions et de l'historique d'exploitation ainsi que des résultats de l'évaluation d'aptitude au service. La figure 3.3.1.3 illustre les interactions des impacts de l'état des équipements (facteurs d'influence contribuant au vieillissement, historique de fonctionnement, résultats et analyse des tendances du programme d'inspection, d'essai et de maintenance et résultats de l'évaluation d'aptitude au service) sur la date de réalisation d'une étude de la durée de vie résiduelle.

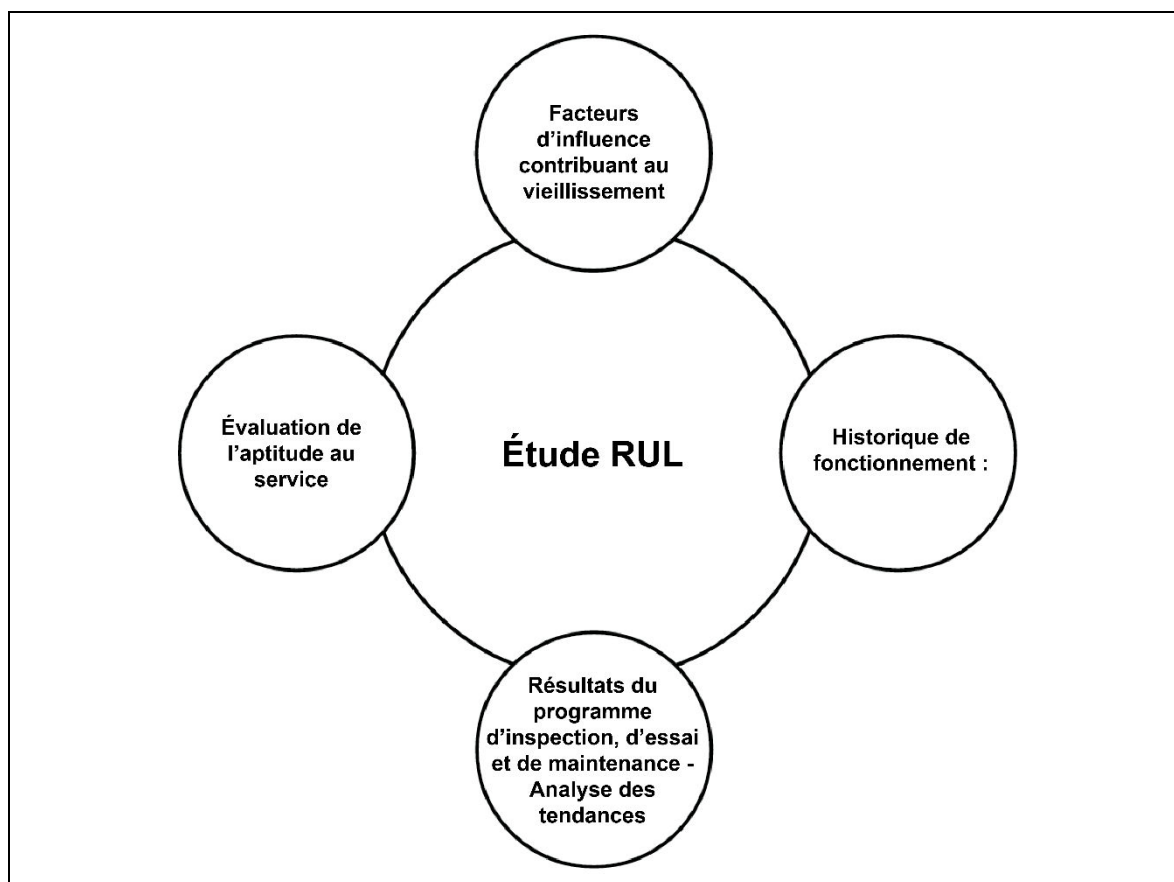


Figure 3.3.1.3. Impact de l'état des équipements sur la réalisation d'une étude de la durée de vie résiduelle

L'étude de la durée de vie résiduelle permet d'estimer la durée pendant laquelle l'équipement peut rester en service avant qu'une autre activité d'inspection, d'essai et de maintenance planifiée ne s'impose et/ou qu'une réparation, une modification, une rénovation ou un remplacement ne soit nécessaire. La durée de vie résiduelle peut être utilisée dans le cadre de la procédure de gestion des anomalies pour faciliter l'identification des activités d'inspection, d'essai et de maintenance requises. La méthodologie de cette étude varie en fonction du type d'équipement.

Dans la plupart des cas, il est souhaitable de diminuer la fréquence d'inspection d'un équipement. Pour ce faire, il est courant d'installer un dispositif de surveillance de l'état afin de contrôler les paramètres indiquant la progression des mécanismes d'endommagement. Cette mesure s'accompagne souvent d'une modification des conditions d'exploitation visant à réduire les contraintes exercées sur l'équipement en service. Cette évolution peut avoir un impact sur les procédures d'exploitation standard, qui doivent alors être modifiées. De même, les opérateurs doivent suivre une nouvelle formation pour bien appréhender le changement des conditions d'exploitation lié à l'état de l'équipement.

En règle générale, les études de la durée de vie résiduelle et les évaluations de l'aptitude au service sont réalisées par le fabricant, des prestataires externes qualifiés et/ou une équipe pluridisciplinaire composée de membres du personnel stratégiques du site. Elles peuvent varier en fonction du type d'équipement et de l'importance de la détérioration à évaluer pour déterminer la durée de vie résiduelle et/ou l'aptitude au service.

### 3.3.1.4 Analyse des causes fondamentales

L'analyse des causes fondamentales permet de déterminer les facteurs sous-jacents d'événements ou de conditions plutôt que les signes produits par ces facteurs. Elle devrait identifier la ou les causes de l'événement ou de la condition qui, après correction, empêcherait les signes observés de se reproduire.

Le degré d'examen mis en œuvre lors de l'analyse des causes fondamentales peut varier en fonction des résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance. Selon la criticité, l'impact et l'historique de l'équipement, une analyse complète des causes fondamentales peut ne pas être nécessaire. De même, si un composant est proche de la fin de sa durée de vie résiduelle ou qu'il l'a dépassée et est détérioré par ce qui semble être un mécanisme d'endommagement attendu, l'analyse des causes fondamentales peut être limitée et uniquement destinée à confirmer le mécanisme d'endommagement.

La défaillance prématurée d'un équipement, une panne pour une raison inattendue et une détérioration excessive ou imprévue font partie des situations justifiant généralement une analyse approfondie des causes fondamentales. L'analyse des causes fondamentales est généralement réalisée dans le cadre d'une enquête après incident.

Dans tous les cas, le périmètre de l'analyse des causes fondamentales devrait être proportionnel à la criticité de l'équipement ou du système et aux conséquences du sinistre.

Les éléments généralement pris en compte dans cette analyse sont les suivants :

#### A. Personnel

1. Les qualifications du personnel impliqué devraient être proportionnelles à l'échelle de l'analyse des causes fondamentales.
2. Par exemple, une analyse approfondie peut impliquer des spécialistes des contrôles non destructifs, du génie mécanique et électrique, de la corrosion et de la métallurgie, des activités et procédés du site, de la modélisation, ainsi que la direction.

#### B. Examen des dossiers relatifs aux équipements

1. Rapports d'incidents et historique des réparations/modifications
2. Document indiquant les exigences en matière de maintenance
3. Rapports d'inspection avec démontage des systèmes et équipements
4. Courriers et bulletins techniques des fabricants

5. Rapports de maintenance comprenant les détails des procédures pour s'assurer que celles-ci ne présentent aucun défaut ni aucune omission susceptibles de permettre à un incident similaire de se produire à l'avenir
  6. Liste des travaux de maintenance correspondants en retard
  7. Rapport(s) sur la détérioration ou la défaillance, par exemple :
    - analyse ou inspection des pièces défectueuses ;
    - description des signes ;
    - compte rendu de dépannage.
- C. Analyse/inspection des pièces défectueuses, description des signes et, le cas échéant, opérations de dépannage effectuées en cours de fonctionnement.

### 3.3.1.5 Documentation et analyse des tendances

La constitution de dossiers (données d'historique) sur les équipements couverts par le programme d'intégrité des équipements est indispensable au suivi, à l'analyse des tendances et aux audits. Tous les résultats des activités d'inspection, d'essai et de maintenance, des évaluations d'aptitude au service, des études de la durée de vie résiduelle et des analyses des causes fondamentales devraient être consignés par écrit. Il est ensuite possible de dégager des tendances de ces résultats et de les réintégrer dans le programme d'inspection, d'essai et de maintenance et l'analyse des risques. L'objectif est de s'assurer que les conditions actuelles du procédé, du système et de l'équipement, de même que les risques imprévus, sont pris en compte lors des réévaluations de l'analyse des risques et du programme d'inspection, d'essai et de maintenance.

L'analyse des tendances consiste à analyser les résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance et les paramètres de fonctionnement sur une période donnée afin d'identifier d'éventuels changements significatifs pouvant présager une panne d'équipement. Le rythme (accélération, ralentissement ou constance) et l'ampleur des changements observés au fil du temps dans les résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance et les paramètres de fonctionnement permettent d'anticiper/d'identifier les défaillances potentielles. Il est dès lors possible de prendre des mesures correctives avant une défaillance en service.

3.3.1.5.1 La documentation détaillée d'une activité inclut généralement les informations suivantes :

- A. nom et qualifications du technicien, date, activité effectuée, équipements ou outils éventuellement utilisés, composants concernés, couverture de l'activité, procédure utilisée, préparation de l'équipement avant l'activité, condition observée, conditions ambiantes, résultats de l'activité, unités de mesure et des relevés, interprétation du technicien ;
- B. détails suffisants pour permettre à un technicien ayant le même niveau de compétence de reproduire l'activité et d'obtenir des résultats comparables ;
- C. identifiant unique de l'équipement concerné, déterminé par la liste des équipements stratégiques (voir la section 2.3.1.1.1).

3.3.1.5.2 La liste suivante répertorie les différents moyens d'analyser les tendances des données consignées afin de les utiliser dans le programme d'intégrité des équipements :

- A. Comparer les données d'inspection actuelles avec les données de référence et celles des précédentes inspections afin de savoir comment les mécanismes d'endommagement se propagent.
- B. Comparer les données de surveillance de l'état et de suivi des performances avec les conditions de fonctionnement et les fenêtres d'intégrité de fonctionnement prévues pour identifier les changements de conditions susceptibles d'accélérer la détérioration ou d'indiquer un problème potentiel nécessitant des mesures complémentaires.
- C. Incorporer les résultats des inspections et les informations de surveillance dans le programme d'intégrité des équipements afin de préserver sa viabilité.
- D. Suivre le taux d'achèvement des activités d'inspection, d'essai et de maintenance.
- E. Consigner les types et zones de défaillances afin d'identifier des problèmes systémiques.

F. Conserver l'analyse des causes fondamentales et les enquêtes après incidents à des fins de comparaison avec de futurs événements.

### 3.3.1.6 Audits

Un audit peut être général ou détaillé. Un audit général examine les procédures mises en place et détermine si elles sont adéquates ou si elles doivent être améliorées. Un audit détaillé étudie les procédures dans le détail, en se concentrant sur les résultats du programme.

Les objectifs d'un audit sont notamment les suivants :

- Examiner les indicateurs de performances.
- Examiner le rapport sur l'analyse des causes fondamentales pour s'assurer que les recommandations ont été mises en œuvre.
- Revoir les anomalies pour s'assurer qu'elles sont activement surveillées, qu'elles sont suivies jusqu'à ce qu'elles soient considérées comme corrigées et que cette conclusion est justifiée.
- Revoir les taux d'achèvement des activités d'inspection, d'essai et de maintenance et suivre activement les activités différées.
- Vérifier si les nouvelles technologies mises en œuvre produisent les résultats escomptés.
- Évaluer et suivre les notifications/communications des fabricants et organisations sectorielles.
- Vérifier si les formations, pratiques et procédures sont suivies et mises à jour si nécessaire.
- Vérifier si les recommandations des audits sont mises en œuvre.

Chaque audit devrait comporter des mesures correctives réalisables. Ces mesures devraient être liées aux objectifs de l'audit et corriger les anomalies relevées. Voici quelques exemples de mesures correctives :

- remplacement d'un équipement problématique ;
- modification d'un équipement, au besoin ;
- mise à jour de procédures ;
- organisation d'une formation complémentaire ou d'une remise à niveau, si nécessaire.

### 3.3.2 Plan équipements

La capacité de la direction du site à réagir en cas d'arrêt imprévu qui rendrait certains équipements stratégiques indisponibles est essentielle pour garantir la résilience des procédés du site. Un plan équipements consigne les mesures prévues en cas d'indisponibilité de certains équipements suite à une panne, qui entraîne un arrêt prolongé des procédés essentiels du site, de façon à réduire au minimum l'interruption de l'activité. Ce plan, résultat d'une évaluation systématique des procédés du site, vise à identifier les équipements considérés comme stratégiques pour la continuité des activités.

L'analyse des informations pertinentes sur la conception, l'intégrité et la fiabilité des équipements fait partie des mesures à prendre pour réduire le risque et favoriser la reprise des activités à la suite d'une panne. Les options et stratégies de réduction des risques prévues dans le plan équipements peuvent inclure des solutions de réparation, de remplacement ou de location, des équipements utilisés et/ou en excédent, des équipements de rechange, ainsi que les exigences en matière de transport, d'installation et de manipulation.

Les possibilités de transport et de manipulation des équipements de rechange ou de location sont notamment les suivantes :

A. Déplacement d'équipements sur le site d'utilisation :

1. Identifier tous les équipements de manœuvre nécessaires (grue, hélicoptère, contreventement, etc.) et s'assurer qu'ils sont disponibles.
2. Déterminer si des modifications des bâtiments sont nécessaires (dépose de toitures, de murs, d'équipements, etc.).

B. Transport d'équipements depuis leur emplacement/site de stockage jusqu'au site d'utilisation :

1. Établir des plans et signer des accords avec des transporteurs. Résoudre les éventuels problèmes de transport, prédéfinir des itinéraires et déterminer s'il est nécessaire d'accélérer la livraison. Tenir compte de l'éloignement du site et des facteurs météorologiques saisonniers susceptibles de retarder le transport.
2. Identifier les éventuelles exigences de permis spéciaux liées aux situations suivantes :
  - circulation sur la voie publique (limites de poids et de hauteur pour les routes et croisements, exigences relatives aux véhicules de transport spéciaux, etc.) ;
  - transport aérien d'équipements ;
  - transport fluvial ;
  - formalités douanières d'un État à un autre.

Le plan équipements traite particulièrement des différentes pannes d'équipements dans le cadre d'un plan de continuité des activités. Un plan équipements viable limite l'interruption de l'activité en cas de panne en accélérant la reprise des opérations.

## 4.0 RÉFÉRENCES

### 4.1 FM

Fiches techniques propres aux équipements concernés.

### 4.2 Autres

Center for Chemical Process Safety (CCPS). *Dealing with Aging Process Facilities and Infrastructure*. John Wiley & Sons, New York (2018).

Center for Chemical Process Safety (CCPS). *Guidelines for Asset Integrity Management*. 1re édition. John Wiley & Sons, New York (2016).

Center for Chemical Process Safety (CCPS). *Guidelines for Risk Based Process Safety*, John Wiley & Sons, New York (2007).

Health and Safety Executive (HSE). *Managing Aging Plant Summary Guide* (2010).

## ANNEXE A GLOSSAIRE

**Analyse des causes fondamentales** : approche visant à déterminer les facteurs sous-jacents d'événements plutôt que les signes produits par ces facteurs.

**Analyse des défaillances** : série d'essais et/ou d'examen visant à déterminer les mécanismes d'endommagement qui s'exercent sur un matériau.

**Analyse des tendances** : analyse des résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance et des paramètres de fonctionnement sur une période donnée afin d'identifier d'éventuels changements significatifs pouvant présager une panne d'équipement. Le rythme (accélération, ralentissement ou constance) et l'ampleur des changements observés au fil du temps dans les résultats du programme d'inspection, d'essai et de maintenance et les paramètres de fonctionnement permettent d'anticiper/d'identifier les défaillances potentielles. Il est dès lors possible de prendre des mesures correctives avant une défaillance en service.

**Anomalie** : état observé ne répondant pas aux critères d'acceptation définis par le programme d'inspection, d'essai et de maintenance.

**Aptitude au service** : évaluation technique quantitative ou qualitative complète visant à déterminer la capacité d'un équipement à continuer à fonctionner conformément à son utilisation prévue, qui repose sur des mécanismes de détérioration et d'endommagement allant au-delà des critères d'acceptation et des limites acceptables identifiés par le programme d'intégrité des équipements. L'évaluation de l'aptitude au service peut justifier de laisser l'équipement en service ou identifier les mesures correctives nécessaires pour remettre l'équipement en service.

**Disponibilité** : capacité d'un équipement ou d'un système à fonctionner correctement en cas de besoin. Peut être représentée comme la mesure du pourcentage du temps pendant lequel l'équipement est opérationnel.

**Durée de vie résiduelle** : également appelée « durée de vie restante » ou « durée d'utilisation restante ». Période pendant laquelle un équipement continuera à fonctionner selon l'utilisation prévue. Elle est calculée sur la base des résultats d'une évaluation technique, dans le cadre d'une étude de la durée de vie résiduelle.

**Durée de vie théorique** : durée de vie initiale établie par le fabricant dans le cadre de paramètres de conception fixes pour l'utilisation prévue.

**Durée de vie** : également appelée « durée utile probable » ou « cycle de vie ». Durée pendant laquelle il est attendu que l'équipement fonctionne dans les limites de conception (paramètres de la fenêtre d'intégrité de fonctionnement) pour l'utilisation prévue. Cette durée tient compte de l'impact cumulé des facteurs d'influence sur le vieillissement de l'équipement.

**Étude de la durée de vie résiduelle** : évaluation technique quantitative et/ou qualitative réalisée dans le cadre d'une stratégie de gestion proactive des équipements et qui, moyennant l'adoption d'une approche en fonction de l'état, détermine pendant combien de temps l'équipement continuera de fonctionner selon l'utilisation prévue avant qu'une défaillance ne survienne en service.

**Fenêtre d'intégrité de fonctionnement** : désigne la plage de paramètres de fonctionnement admissible pour un équipement, déterminée par le processus d'identification et d'évaluation des risques (limites de température inférieure et supérieure, vitesses de montée minimale et maximale, etc.). Les valeurs supérieure et inférieure qui définissent les limites de la fenêtre d'intégrité de fonctionnement sont également appelées limites d'exploitation sûre.

**Fiabilité** : capacité d'un équipement ou d'un système à fonctionner comme prévu pendant la période prescrite s'il est utilisé dans les conditions d'exploitation et d'environnement spécifiées.

**Gestion des changements** : désigne le programme destiné à empêcher l'introduction de risques non identifiés lors d'un changement (qu'il concerne la technologie, les installations et/ou le personnel).

**Goulot d'étranglement** : activité la plus lente d'un procédé.

**Inspection, essai et maintenance en fonction de l'état** : activités d'inspection, d'essai et de maintenance réalisées en fonction de l'état actuel de l'équipement ou du système surveillé.

**Intervalle basé sur le procédé** : intervalle résultant de mesures utilisées dans le procédé dans lequel le système ou l'équipement est impliqué (flux de production, heures de fonctionnement, démarrages, etc.). Les intervalles de ce type peuvent être utilisés pour personnaliser les activités d'inspection, d'essai et de maintenance préventives, traditionnellement axées sur le temps.

**Intervalle en fonction de l'état** : intervalles résultant de la surveillance de l'état des systèmes et/ou équipements (température, pression, débits, etc.).

**Limites d'exploitation sûre** : voir « Fenêtre d'intégrité de fonctionnement ».

**Mécanisme d'endommagement** : processus provoquant la détérioration d'un équipement (corrosion, fissure, surchauffe, etc.).

**Mode de défaillance** : classification de la réaction d'un équipement qui ne peut plus résister aux conditions d'exploitation (fuite de la taille d'un trou d'épingle, émissions, explosion, etc.) et tombe en panne. Il peut également s'agir de la manifestation d'une défaillance (impossibilité de fermer une vanne ou de démarrer/faire fonctionner une pompe, par exemple). Les défaillances peuvent être causées par des mécanismes tels que de la fatigue, de la corrosion ou de l'usure, des erreurs humaines, des contraintes excessives, ou des défauts de conception ou de fabrication.

**Panne matérielle** : impossibilité pour un équipement de remplir la fonction prévue à la capacité attendue.

**Prestataire alternatif** : entité non affiliée au fabricant.

**Programme d'intégrité des équipements** : système de gestion destiné à garantir l'intégrité et la fiabilité des systèmes et équipements tout au long de leur durée de vie.

**RAGAGEP** : bonne pratique d'ingénierie reconnue et généralement acceptée.

**Redondance** : forme de résilience garantissant la disponibilité du système en cas de défaillance de l'équipement. Disponibilité d'au moins un équipement de secours indépendant.

**Risque** : produit de la probabilité qu'un événement se produise et des conséquences de la survenue de cet événement.

**Stratégie d'inspection, d'essai et de maintenance prédictive** : activités d'inspection, d'essai et de maintenance réalisées en anticipant l'état d'un équipement d'après la situation actuelle et les résultats du suivi des performances.

**Stratégie d'inspection, d'essai et de maintenance préventive** : activités d'inspection, d'essai et de maintenance réalisées à intervalles prédéfinis, quel que soit l'état de l'équipement.

**Stratégie d'inspection, d'essai et de maintenance réactive** : activités d'inspection, d'essai et de maintenance réalisées en cas de défaillance de l'équipement.

**Suivi des performances** : surveillance de variables indiquant les performances (autrement dit, l'efficacité) de l'équipement ou du système surveillé.

**Surveillance de l'état** : surveillance de variables indiquant les conditions d'exploitation de l'équipement surveillé.

Un équipement fonctionnant dans ces limites respecte les paramètres de procédé et de conception, ce qui réduit le risque de panne. En revanche, s'il fonctionne en dehors des limites d'exploitation sûre (et donc, de la fenêtre d'intégrité de fonctionnement), il est exposé à une détérioration accélérée et au risque de défaillance prématurée.

**Viable** : capable de fonctionner de façon satisfaisante.

**Viellissement des équipements** : modification au fil du temps de l'état d'un équipement due à la détérioration observée tout au long de sa durée de vie, en tenant compte de l'impact cumulé des conditions physiques, d'exploitation et d'environnement, de l'historique de fonctionnement, des résultats et tendances du programme d'inspection, d'essai et de maintenance, et du rapport entre l'âge chronologique et la durée de vie. Le vieillissement est la conséquence de l'exposition à ces facteurs d'influence, qui varient selon l'équipement et l'activité.

## ANNEXE B HISTORIQUE DE RÉVISION DU DOCUMENT

L'objet de cette annexe est de rendre compte des modifications apportées à ce document à chacune de ses publications. Veuillez noter que les numéros de section se réfèrent spécifiquement à ceux de la version publiée à la date indiquée. En d'autres termes, les numéros de section peuvent varier d'une version à l'autre.

**Octobre 2025.** Révision intermédiaire. Des changements éditoriaux ont été apportés à la gestion des anomalies afin d'en améliorer la clarté.

**Juillet 2024.** Révision intermédiaire. Des modifications éditoriales mineures ont été apportées.

**Juillet 2023.** Révision intermédiaire. Changements éditoriaux apportés aux informations sur le processus d'évaluation du programme d'intégrité des équipements afin d'en améliorer la clarté. Révision des informations sur le vieillissement et la durée de vie résiduelle afin d'en améliorer la clarté, avec les nouvelles figures 3.3.1.2.7 et 3.3.1.3 qui montrent respectivement les facteurs d'influence contribuant au vieillissement des équipements et l'impact de l'état des équipements sur la réalisation d'une étude de la durée de vie résiduelle. Ajout de l'annexe E concernant les instructions relatives au programme d'audit et d'inspection des services et composants des prestataires alternatifs.

**Juillet 2022.** Révision intermédiaire. Changements éditoriaux mineurs.

**Octobre 2021.** Révision intermédiaire. Les modifications importantes suivantes ont été apportées :

A. Ajout d'informations sur le vieillissement des équipements.

B. Mise à jour des recommandations sur l'aptitude au service et la durée de vie résiduelle.

**Janvier 2021.** Révision intermédiaire. Ajout d'une nouvelle définition à l'annexe A, Glossaire.

**Octobre 2020.** Révision intermédiaire. Mise à jour des recommandations relatives à la redondance N+1 des équipements dans l'annexe C.

**Janvier 2020.** Révision intermédiaire. Les modifications suivantes ont été apportées :

- A. révision des recommandations relatives au plan équipements et à la gestion des pièces de rechange ;
- B. ajout de conseils pour évaluer la viabilité du plan équipements et de la gestion des pièces de rechange ;
- C. déplacement des recommandations relatives à la gestion des pièces de rechange et au transport de l'annexe C vers les sections 2.0 et 3.0.

**Juillet 2018.** Ce document a fait l'objet d'une révision complète. Les modifications importantes suivantes ont été apportées :

- A. Remplacement du titre du document « Maintenance et inspection » par « Intégrité des équipements ».
- B. Réorganisation des informations de la fiche technique précédente sous une forme plus structurée et plus concise.
- C. Suppression des informations redondantes.
- D. Suppression d'informations peu utiles à la compréhension des recommandations.
- E. Ajout de sections sur l'intégrité des équipements, la gestion des anomalies et l'analyse des causes fondamentales.

**Janvier 2014.** Ajout de la section 2.5, *Exclusion des corps étrangers* et de l'annexe D, *Procédure d'exclusion des corps étrangers*.

**Avril 2011.** Les principales modifications sont les suivantes :

- Ajout de recommandations concernant les équipements stratégiques d'un site et les équipements à haut risque destinés à des applications stratégiques.
- Ajout de nouvelles recommandations concernant la gestion de la maintenance et des services.
- Ajout de recommandations techniques relatives aux programmes de maintenance axés sur le temps et en fonction de l'état.

**Mai 2003.** Révision de la section 3.1, Historique des sinistres. Changements éditoriaux mineurs.

**Septembre 2002.** Ajout d'une présentation de FM de l'inspection basée sur les risques sous la forme de l'annexe C.3, *Présentation de FM de l'inspection basée sur les risques*, et insertion d'une référence à cette annexe dans la recommandation 2.2.1.4. Changements éditoriaux apportés au titre — *Maintenance*, devenu *Maintenance et inspection* — et à l'objet de cette fiche technique, afin de souligner l'importance des inspections dans tous les programmes de maintenance.

**Mai 2001.** Changements éditoriaux uniquement. Aucune modification technique apportée.

**Janvier 2000.** Réorganisation de l'édition de janvier 1995 de ce document pour harmoniser le format. Aucune modification technique apportée.

## ANNEXE C PLAN DE SECOURS DES ÉQUIPEMENTS

### C.1 Processus d'élaboration d'un plan équipements

Le processus d'élaboration et de tenue à jour d'un plan de secours des équipements viable inclut les étapes suivantes :

1. Former une équipe pluridisciplinaire pour évaluer systématiquement la résilience des procédés du site dans le cadre d'un plan de secours des équipements.
2. Réaliser et revoir des schémas des flux de production couvrant la totalité du procédé, y compris la production, les utilités, les systèmes auxiliaires et les équipements associés.
3. Identifier les systèmes et équipements considérés comme essentiels à la continuité des activités. Prendre en compte les équipements qui constituent des goulots d'étranglement dans les procédés, qui

présentent des points de défaillance uniques, qui sont spécifiques et dont le délai de livraison est très long, mais aussi leur durée de vie résiduelle et leur aptitude au service, les risques liés aux procédés, ainsi que l'historique et les tendances de fonctionnement afin d'évaluer les risques de bris de machine. Il existe des indicateurs du risque de panne.

4. Évaluer les scénarios de pannes de chaque équipement et les risques qui en découlent.
5. Évaluer la capacité de reprise des activités en cas de panne matérielle. Établir des stratégies de réduction des risques, comme la mise à disposition de pièces de rechange (complètes et/ou détachées, sur site ou en dehors), la redondance N+1, des solutions de réparation et de remplacement, et le recours à des équipements en location, d'occasion et/ou en excédent. Tenir compte des recommandations des fabricants. Revoir les contrats de service longue durée susceptibles de réduire le risque de bris de machine.
6. Si des équipements de rechange ou redondants sont disponibles, revoir le programme d'intégrité des équipements pour garantir leur viabilité.
7. Fournir, vérifier et tenir à jour les informations sur la conception, l'installation et la mise en service des équipements stratégiques.
8. Revoir les exigences en matière de transport, de manipulation, d'installation et de mise en service, y compris les permis spéciaux nécessaires, le cas échéant.
9. Préqualifier et former le personnel du site, les prestataires et les fournisseurs sur le périmètre et la mise en œuvre du plan équipements.
10. Établir par écrit un plan équipements pour garantir la reprise des activités en cas de panne matérielle. Revoir, tester et valider le plan équipements une fois par an pour gérer les changements et confirmer l'efficacité du plan.

## C.2 Stratégies de redondance et de location

Ces recommandations représentent les bonnes pratiques à mettre en œuvre pour évaluer et valider différentes stratégies de réduction des risques du plan équipements, pour les équipements redondants et de location. Pour des recommandations en matière de transport des équipements de location, voir la section 3.3.2.

### C.2.1 Redondance

Les équipement N+1 (ou équipements de rechange en ligne) sont installés de manière adéquate et raccordés à des équipements de production, des utilités et/ou des systèmes auxiliaires. Les équipements N+1 garantissent la disponibilité du système pour répondre à la demande du procédé en cas de bris de machine. Ils sont disponibles et prêts à être mis en service pour réduire au minimum l'interruption de l'activité et limiter les risques en cas de défaillance des équipements en place.

Pour qu'un équipement N +1 soit jugé apte à réduire au minimum le temps d'arrêt de l'équipement en cas de panne matérielle et à limiter les risques, les conditions suivantes doivent être réunies :

- A. L'équipement N+1 est installé de manière adéquate et raccordé à un équipement de production, une utilité et/ou un système auxiliaire.
- B. L'équipement redondant peut être mis en service sans interruption notable du procédé afin de réduire le risque d'interruption de l'activité consécutif à la panne de l'équipement en service.
- C. L'équipement redondant n'a pas subi de dommages résultant d'anomalies de l'équipement en service.
- D. La conception/la capacité nominale de l'équipement N+1 est compatible avec celles de l'équipement en service et avec le procédé.
- E. L'équipement N+1 est inspecté, testé et entretenu dans le cadre du programme d'intégrité des équipements pour garantir sa viabilité.
- F. L'équipement N+1 a été vérifié et jugé adapté à l'usage auquel il est destiné.
- G. L'équipement N+1 est disponible et peut être utilisé en cas de panne de l'équipement en service.

H. Des procédures d'exploitation standard et d'urgence sont en place pour mettre l'équipement N+1 en service et arrêter celui en cours d'utilisation.

Le périmètre et la mise en œuvre du programme d'intégrité des équipements N+1 (équipements de rechange en ligne) sont les mêmes que ceux du programme relatif aux équipements en service utilisé pour garantir la viabilité des pièces/unités de rechange.

L'une des principales fonctions d'un équipement redondant N+1 viable consiste à réduire le risque d'interruption de l'activité en cas de panne de l'équipement en service. Il ne doit donc pas subir de dommages causés par des anomalies de ce dernier.

Comparer la capacité nominale de l'équipement redondant avec celle de l'équipement en service pour déterminer dans quelle mesure l'activité peut être reprise en cas de défaillance de l'équipement en service.

Vérifier la disponibilité et l'état de l'équipement redondant dans le cadre du programme d'intégrité des équipements, ce qui inclut, le cas échéant, les inspections requises avant son démarrage. Évaluer l'aptitude à l'utilisation prévue de l'équipement redondant. Vérifier si des réparations ou des modifications sont nécessaires pour pouvoir utiliser l'équipement redondant.

S'assurer que les procédures requises sont en place avec le niveau de formation adéquat pour faire basculer le procédé de l'équipement en service d'origine vers l'unité redondante, ce qui suppose notamment d'arrêter l'équipement en service d'origine.

### C.2.2 Équipement de location

Équipement loué pour une durée définie afin de compléter les installations en place.

1. Tenir à jour les coordonnées principales et d'urgence du fournisseur.
2. S'assurer que des contrats ou accords de service ont été conclus avec les fabricants et/ou fournisseurs (y compris des contrats de service longue durée) concernant la disponibilité et l'entretien des équipements de location.
3. Valider l'étendue et la qualité des services du fournisseur.
4. Comparer la capacité nominale (rendement) de l'équipement de location avec celle de l'équipement en service.
5. Conserver les instructions et exigences en matière d'installation, de dépose et de démantèlement des équipements en service et de location.
  - a. Identifier les points de raccordement temporaires. Le système en place doit comporter des points de raccordement adéquats pour raccorder l'équipement de location prévu.
  - b. Le cas échéant, la procédure de mise en service requise par l'équipement de location devrait être consignée et étudiée. De plus, les permis délivrés par les autorités locales ou les services publics nécessaires pour mettre en service un équipement de location (autorisations environnementales, demande d'électricité, etc.) devraient être identifiés et examinés.
  - c. Le personnel requis pour déposer l'équipement en place et installer celui de rechange devrait être identifié.
    - Identifier les fournisseurs nécessaires.
  - d. Le cas échéant, les modifications majeures nécessaires pour adapter l'équipement de rechange au lieu prévu devraient avoir été identifiées et planifiées (scellement, supports, dimensions du bâti, etc.).
    - Veiller à ce que la totalité du matériel nécessaire pour adapter l'équipement de rechange soit disponible (cales, raccords, câblage, jeux de barres, etc.).
6. S'il est nécessaire de faire appel à des fournisseurs pour effectuer une tâche liée à la mise en place de l'équipement de location :
  - a. S'assurer qu'ils sont préqualifiés pour appliquer les instructions du fabricant et/ou les codes et standards applicables (pratiques RAGAGEP, par exemple), ce qui inclut les standards et/ou directives de l'entreprise, le cas échéant.

- b. Veiller à ce qu'ils puissent fournir une main-d'œuvre spécialisée et disposent d'un outillage propre à l'équipement.

## ANNEXE D PROCÉDURE D'EXCLUSION DES CORPS ÉTRANGERS

### D.1 Objectif

Cette procédure correspond aux bonnes pratiques à mettre en œuvre pour empêcher que des corps étrangers susceptibles de causer des dommages soient introduits et oubliés dans des équipements ouverts à des fins d'inspection, d'essai, de maintenance et/ou de réparation. Elle porte également sur le contrôle d'éléments installés ou utilisés provisoirement pour faciliter les travaux (outils, brides non percées, filtres, orifices, produits de nettoyage, etc.).

**Remarque :** le moyen le plus efficace de prévenir les dommages dus à des corps étrangers consiste à maintenir une excellente tenue des locaux. Aucun objet ne peut tomber dans une zone soumise à une procédure d'exclusion des corps étrangers s'il est proscrit dans les zones de travail. Une gestion adéquate des outils est nécessaire pour effectuer les travaux requis. Il est impératif que l'ensemble du personnel soit informé de cette politique et qu'il soit particulièrement attentif à tous les matériaux et outils introduits dans la zone de travail.

### D.2 Définitions

**Contrôle des accès :** méthodes utilisées pour contrôler l'entrée et la sortie du personnel, des outils et des matériaux (repères de délimitation, écriteaux, registres des entrées et sorties, contrôleurs, etc.). En fonction de la catégorie des zones d'exclusion des corps étrangers, les repères de délimitation devraient être constitués de barrières pleines telles que des murs métalliques provisoires, des parois en verre acrylique, des clôtures grillagées ou, le cas échéant, de rideaux textiles, de ruban d'exclusion des corps étrangers, de cordons, etc.

**Point de contrôle des accès :** point établi au niveau d'une limite d'une zone d'exclusion des corps étrangers, où l'entrée de membres du personnel, d'outils et de matériaux est autorisée, mais contrôlée.

**Zone nettoyée :** lieu extérieur à la zone d'exclusion des corps étrangers. Il s'agit en règle générale d'un lieu isolé destiné au stockage et au travail sur les sous-ensembles, à distance de la zone d'exclusion des corps étrangers.

**Fiche de clôture :** fiche qui permet d'identifier les anomalies consignées dans le registre des barrières d'exclusion des corps étrangers (formulaire 2), la liste répertoriant les chutes de corps étrangers (formulaire 3), le registre des outils (formulaire 4) ou le registre des matériaux (formulaire 5), et qui contient une description des résultats des inspections de clôture et de la méthode employée (inspection visuelle, endoscopie, etc.). Le représentant du propriétaire et le directeur technique devraient examiner et signer la fiche au terme de l'opération d'arrêt ou de maintenance. Les fiches de clôture complétées devraient faire partie intégrante du dossier de l'arrêt.

**Corps étranger :** objet ne faisant pas partie du système ou composant tel qu'il a été conçu (ruban adhésif, fil d'attache, collier de serrage, cordons de soudure, outils, stylos, crayons, fil électrique, câble, étiquettes en papier ou en plastique, autocollants, écriteaux, bordereaux de déconnexion mal fixés, chiffons, visières en plastique, sacs en plastique, emballages, matériaux de joint, surplus de matériau de colmatage, bouchons d'oreille, sciure, produits chimiques, solvants, peintures, effets personnels tels que des lunettes ou des bijoux), ou tout autre objet susceptible d'avoir une incidence sur le fonctionnement du système ou du composant.

**Audit d'exclusion des corps étrangers :** audit mené régulièrement par le représentant du propriétaire et/ou le directeur technique au cours d'une intervention de maintenance à l'aide du formulaire d'audit d'exclusion des corps étrangers sur site (formulaire 1), afin d'évaluer la mise en œuvre adéquate du programme d'exclusion des corps étrangers.

**Zone d'exclusion des corps étrangers :** zone de travaux autour d'un accès ouvert, d'instruments ou d'un composant électrique ou mécanique, qui devrait être signalée par un repère de délimitation physique et qui nécessite des contrôles particuliers pour empêcher l'introduction d'objets indésirables dans un système ou un composant. Les zones de ce type devraient être signalées par un affichage.

Barrière d'exclusion des corps étrangers : bouchon, capot, couvercle, sac, ruban, filet ou tout autre dispositif utilisé pour fermer ou recouvrir une ouverture au niveau d'une canalisation ou dans un équipement et pour empêcher l'introduction de corps étrangers.

Délimitation de zone d'exclusion des corps étrangers : délimitation physique d'une tâche, généralement constituée d'un repère de délimitation et de panneaux visibles identifiant la zone concernée comme une zone d'exclusion des corps étrangers.

Étiquette d'identification de zone d'exclusion des corps étrangers : étiquette fixée à l'extrémité des cordons ou barrières afin d'identifier une barrière ou délimitation de zone d'exclusion des corps étrangers en particulier.

Contrôleur de la zone d'exclusion des corps étrangers : personne chargée de contrôler les accès conformément à cette procédure. Le contrôleur a la responsabilité de vérifier tous les éléments consignés par le groupe de travail et devrait par conséquent être compétent, dûment formé et parfaitement conscient des conséquences des dommages causés aux équipements par des corps étrangers.

Cordon : bande, ligne, câble de retenue ou autre dispositif similaire utilisé pour sécuriser un objet afin qu'il ne puisse pas devenir un corps étranger dans une zone soumise à une procédure d'exclusion des corps étrangers si la personne qui le tient ou l'utilise en perd le contrôle.

Représentant du propriétaire : personne chargée de superviser la mise en œuvre adéquate du programme d'exclusion des corps étrangers par le directeur technique, et de mener régulièrement des audits du programme, conformément au formulaire d'audit d'exclusion des corps étrangers sur site.

Directeur technique : responsable direct (employé du propriétaire ou du prestataire réalisant les travaux) de la supervision de l'efficacité des travaux effectués sur l'équipement et, par extension, de la mise en œuvre du programme d'exclusion des corps étrangers pendant l'arrêt.

### D.3 Applicabilité

Cette procédure et toutes ses dispositions devraient être appliquées chaque fois qu'un équipement ou un système est ouvert à des fins d'inspection, d'essai, de maintenance et/ou de réparation. Il s'agit notamment, sans nécessairement s'y limiter, des turbines (à gaz ou à vapeur), des générateurs, des disjoncteurs de générateurs, des transformateurs, des réseaux de canalisations, des systèmes d'admission d'air, des condensateurs, des échangeurs thermiques, des pompes, des gros moteurs, des compresseurs et d'autres équipements fixes de grande taille. Compte tenu de la diversité des niveaux d'exposition au risque d'introduction de corps étrangers lors des inspections, essais et travaux de maintenance et/ou de réparation, il existe différents niveaux d'application du programme d'exclusion des corps étrangers, détaillés ci-après. Bien qu'il y ait également plusieurs niveaux de recommandations dans ce domaine, les pratiques générales d'exclusion des corps étrangers devraient être respectées lors de chaque activité d'inspection, d'essai, de maintenance et de réparation exposant le système. Le risque global lié à l'introduction de corps étrangers devrait être pris en compte lors du choix du niveau de protection de l'activité.

### D.4 Responsabilité

Chaque membre de l'équipe de projet devrait connaître parfaitement le programme et avoir conscience de la nécessité de suivre les procédures adéquates. Le représentant du propriétaire est chargé de s'assurer que tous les employés en contact avec la zone d'exclusion des corps étrangers bénéficient d'une présentation détaillée de la nature et de la justification des mesures mises en place, avec des mises à jour quotidiennes. Il a en outre pour mission de superviser la mise en œuvre de la procédure d'exclusion des corps étrangers par le directeur technique, via des échanges directs avec ce dernier, des audits réguliers du programme et des contrôles de routine ponctuels de la conformité.

La principale responsabilité du directeur technique devrait être la mise en œuvre du programme d'exclusion des corps étrangers lors de chaque projet. Il est en outre chargé d'obtenir, au début de chaque projet, l'accord du représentant du propriétaire concernant le niveau d'inspection nécessaire (inspection visuelle ou caméras, par exemple) pour prouver qu'aucun corps étranger n'a été oublié. Il est impératif que le directeur technique renforce la procédure d'exclusion des corps étrangers auprès de l'ensemble du personnel lors des réunions de sécurité.

L'ensemble du personnel, sous l'autorité du directeur technique, doit s'assurer que des barrières d'exclusion des corps étrangers sont en place, que des étiquettes d'identification des zones d'exclusion des corps étrangers sont apposées et fixées au niveau d'ouvertures particulières, et que ces barrières et étiquettes sont correctement consignées sur le formulaire adéquat. Le personnel devrait respecter les étiquettes d'identification des zones d'exclusion des corps étrangers, et aucune d'entre elles ne devrait être retirée, hormis dans le cadre de travaux. Au cas où lesdites étiquettes seraient retirées à l'occasion de travaux, elles devraient être remises en place par la suite, sauf si le remontage du composant est imminent.

#### D.5 Exclusion des corps étrangers – Niveau 1

Le niveau 1 de l'exclusion des corps étrangers s'applique aux composants et aux systèmes pour lesquels le risque d'introduction de corps étrangers est faible et l'inspection visuelle et/ou la récupération de corps étrangers ne présentent aucune difficulté ni restriction. Dans ces situations, il n'est pas très difficile d'inspecter et/ou de récupérer des objets, et aucun démontage important de composants n'est nécessaire. En général, l'équipement impliqué dans un niveau 1 est moins stratégique et n'implique aucune tolérance critique.

Les exigences minimales de l'exclusion des corps étrangers de niveau 1 sont les suivantes :

- A. Former l'ensemble du personnel, y compris celui des prestataires et du propriétaire, aux exigences de la procédure d'exclusion des corps étrangers, au début de chaque arrêt. Faire signer à tous une déclaration attestant qu'ils comprennent la procédure (formulaire 6).
- B. Prendre des précautions adéquates pendant les travaux et faire preuve de professionnalisme.
- C. Organiser une séance d'information avant travaux décrivant tous les travaux prévus afin de préparer correctement et n'utiliser que les outils et matériaux nécessaires. Suivre des procédures de travail adéquates. Renouveler la session d'information si nécessaire.
- D. Localiser les limites de la zone d'exclusion des corps étrangers et les étiquettes d'identification de la zone concernée au niveau de tous les points d'accès, en informant le personnel des exigences correspondantes.
- E. Répertorier tous les outils et équipements dans un registre des outils utilisés dans la zone d'exclusion des corps étrangers (formulaire 4) et s'assurer qu'ils sont recensés à la fin de la journée de travail, ou au moment des changements d'équipe, et qu'ils ne sont pas laissés dans des zones problématiques. Les outils de la zone d'exclusion des corps étrangers devraient être évalués et, si possible, regroupés afin de limiter leur nombre, et donc le risque d'introduction de corps étrangers dans la zone.
- F. Tous les équipements, qu'ils se trouvent dans la zone d'exclusion des corps étrangers ou en dehors, devraient être agencés avec soin. Les petites pièces devraient être placées dans des sacs ou des boîtes et étiquetées. Des listes de pièces devraient être tenues à jour, en précisant leur nombre si plusieurs pièces identiques sont répertoriées. Toutes les pièces à remplacer devraient être consignées dans un registre des matériaux utilisés dans la zone d'exclusion des corps étrangers (formulaire 5).
- G. Avant le démontage, nettoyer l'équipement concerné par les travaux ou à ouvrir afin d'empêcher l'introduction de corps étrangers après l'ouverture.
- H. Une fois l'équipement ouvert, sécuriser toutes les zones dans lesquelles des corps étrangers pourraient s'introduire à l'aide de barrières (couvercles, obturateurs, poches ou autres barrières adéquates). Compléter et tenir à jour un registre des barrières d'exclusion des corps étrangers (formulaire 2). S'assurer que ces barrières sont facilement identifiables afin d'éviter toute confusion avec une pièce normale de l'équipement ou du système ou des consommables ordinaires (elles sont généralement de couleur orange ou rouge vif). Apposer sur chaque barrière une étiquette d'identification unique indiquant son emplacement et son type (bouchon, bande magnétique, etc.). Veiller à ce que toutes les barrières difficilement visibles (conduites de vidange d'huile, conduits d'extraction d'air, etc.) comportent une sangle se prolongeant à l'extérieur de l'équipement, avec une étiquette d'identification apposée à l'extrémité.
- I. Les corps étrangers (débris, outils, chiffons, etc.) détectés lors de l'ouverture de l'équipement devraient être consignés et placés dans une zone d'accès contrôlé afin que le personnel technique puisse les examiner et les évaluer.

J. Tenir constamment à jour une liste des chutes de corps étrangers (formulaire 3) et s'assurer que l'ensemble du personnel signale immédiatement (sans crainte de représailles) tout objet tombé et impossible à retrouver ou à récupérer dans l'immédiat.

K. Consigner les outils tombés ou introuvables sur une liste des chutes de corps étrangers et veiller à les récupérer immédiatement, dans la mesure du possible.

L. S'il est nécessaire d'installer de nouvelles pièces, les inspecter et les nettoyer soigneusement au préalable.

M. Avant de retirer une barrière d'exclusion des corps étrangers, nettoyer la zone environnante pour retirer les débris et autres objets et empêcher l'introduction de corps étrangers une fois l'équipement ouvert.

N. Lors du remontage, rayer chaque élément répertorié sur la liste des chutes de corps étrangers (formulaire 3). Rayer les obturateurs et couvercles de la liste au moment adéquat du processus de remontage (c'est-à-dire lorsque la partie correspondante du système est prête à être remontée). Inspecter minutieusement toutes les pièces et parties du système à la recherche de corps étrangers. Les barrières d'exclusion des corps étrangers impossibles à retracer devraient être recherchées par le directeur technique et le représentant du propriétaire.

O. Nettoyer les cloisonnements en profondeur (de préférence par aspiration ou par soufflage d'air de l'usine si nécessaire) avant l'inspection finale.

P. Avant la remise en place, nettoyer les tuyaux de petit diamètre par soufflage et ceux de grand diamètre par rinçage, aspiration ou soufflage. Toutes les barrières devraient en outre être retirées. Rayer les barrières d'exclusion des corps étrangers du registre (formulaire 2). Les barrières d'exclusion des corps étrangers impossibles à retracer devraient être recherchées par le directeur technique et le représentant du propriétaire.

Q. Avant la fermeture ou la remise en place, inspecter visuellement l'ensemble des boîtiers, canalisations, ouvertures et évacuations (directement ou à distance). Les inspections devraient être réalisées et/ou supervisées par le directeur technique et le représentant du propriétaire.

R. Avant de refermer l'équipement pour la dernière fois, s'assurer que tous les objets figurant sur la liste des chutes de corps étrangers (formulaire 3) ont été récupérés. S'ils n'ont pas tous été retrouvés, le directeur technique et le représentant du propriétaire devraient en discuter et convenir des mesures à prendre.

### D.6 Exclusion des corps étrangers – Niveau 2

Le niveau 2 de l'exclusion des corps étrangers s'applique aux composants et aux systèmes pour lesquels il existe un risque d'introduction de corps étrangers et pour lesquels l'inspection visuelle et/ou la récupération de corps étrangers présentent des difficultés ou restrictions minimales. Il concerne les travaux impliquant des turbines et d'autres équipements rotatifs stratégiques, comme les pompes et les moteurs, qui présentent des interstices essentiels étroits, de même que les cuves et réseaux de canalisations qui les alimentent.

Les exigences minimales de l'exclusion des corps étrangers de niveau 2 sont les suivantes :

- A. Respecter toutes les exigences du niveau 1 d'exclusion des corps étrangers.
- B. Limiter l'accès à la zone d'exclusion des corps étrangers à un emplacement précis.
- C. Désigner un contrôleur de la zone d'exclusion des corps étrangers pour contrôler l'accès à la zone des travaux et inventorier tous les matériaux qui entrent dans la zone et en sortent. Lorsque le contrôleur de la zone d'exclusion des corps étrangers n'est pas disponible, l'accès à la zone des travaux devrait être limité.
- D. Recouvrir chaque extrémité des canalisations déposées d'un couvercle ou d'un bouchon, et y apposer une étiquette indiquant leur emplacement et fournissant d'autres moyens d'identification utiles.
- E. Prévoir un casier ou un compartiment de rangement pour les effets personnels des employés ayant accès à la zone d'exclusion des corps étrangers.

F. S'assurer que les personnes qui pénètrent dans la zone d'exclusion des corps étrangers ont les poches vides. N'autoriser dans cette zone que les objets nécessaires. Tous les effets personnels (téléphones portables, montres, bijoux, stylos, couteaux, portefeuilles, etc.) devraient être déposés à l'extérieur. Les objets lâches (notamment les bijoux) non indispensables à la réalisation d'une tâche spécifique dans la zone des travaux devraient être déposés auprès du contrôleur de la zone d'exclusion des corps étrangers ou dans le casier ou compartiment de rangement des effets personnels.

G. Demander à chaque personne de vérifier si ses vêtements et la semelle de ses chaussures sont propres et exempts de débris avant de pénétrer dans la zone des travaux. Charger le contrôleur de la zone d'exclusion des corps étrangers d'inspecter visuellement les vêtements et les chaussures de chaque personne pénétrant dans la zone des travaux, notamment pendant le processus de remontage.

H. Privilégier les chaussures de sécurité à enfiler ou les surchaussures, sans lacets. À défaut de chaussures de sécurité à enfiler, recouvrir les lacets et les boucles de ruban adhésif.

I. Retenir les lunettes de sécurité par un cordon.

J. S'assurer que l'ensemble des outils présents dans la zone des travaux sont agencés avec soin et placés sous la responsabilité de leur utilisateur désigné (chaque personne doit s'occuper de ses propres outils, selon la règle « Rapportez tout ce que vous apportez »).

K. Attacher les outils qui risquent de tomber dans une zone où ils seraient difficiles à récupérer.

L. Ranger toutes les pièces de la zone des travaux dans un sac ou une boîte et les étiqueter.

M. Supprimer les éléments figurant sur les registres concernant l'exclusion des corps étrangers à la fin de chaque journée de travail ou au moment des changements d'équipe, exception faite des outils utilisés sur une longue durée.

N. Demander au directeur technique de mener régulièrement (au moins une fois par semaine) un audit d'exclusion des corps étrangers, portant sur les limites de la zone d'exclusion des corps étrangers, les étiquettes d'identification de la zone d'exclusion des corps étrangers, les barrières d'exclusion des corps étrangers et les registres d'entrée et de sortie dans la zone d'exclusion des corps étrangers, mais aussi d'inspecter toutes les canalisations qui n'ont pas encore été installées. L'audit devrait être effectué conformément au formulaire d'audit d'exclusion des corps étrangers sur site (formulaire 1).

O. Charger le représentant du propriétaire de réaliser un audit du programme d'exclusion des corps étrangers au moins une fois par semaine. L'audit devrait être effectué conformément au formulaire d'audit d'exclusion des corps étrangers sur site (formulaire 1).

P. Lors de l'inspection visuelle à distance des zones peu visibles, le directeur technique et le représentant du propriétaire devraient décider à l'avance si une vidéo ou des photos seront archivées avec le rapport sur l'arrêt.

### D.7 Exclusion des corps étrangers – Niveau 3

Le niveau 3 de l'exclusion des corps étrangers s'applique aux composants et aux systèmes pour lesquels il existe un risque d'introduction de corps étrangers et pour lesquels l'inspection visuelle et/ou la récupération d'objets sont très délicates et peuvent nécessiter d'importantes opérations de démontage des composants. Il concerne les travaux impliquant d'importantes opérations de démontage d'équipements rotatifs, comme des turbines et des générateurs, où l'introduction de corps étrangers aurait très probablement des effets dévastateurs et coûteux.

Les exigences minimales de l'exclusion des corps étrangers de niveau 3 sont les suivantes :

A. Respecter toutes les exigences des niveaux 1 et 2 d'exclusion des corps étrangers.

B. Établir un point de contrôle des accès et obliger l'ensemble du personnel à signer un registre d'entrée et de sortie de la zone, en dressant un inventaire complet de tous les objets apportés dans la zone des travaux, y compris les outils et pièces utilisés à long et à court terme. Lorsque le contrôleur de la zone d'exclusion des corps étrangers n'est pas disponible, l'accès à la zone des travaux devrait être limité.

C. Désigner un contrôleur de la zone d'exclusion des corps étrangers chargé de contrôler les accès et de vérifier l'inventaire à l'entrée et à la sortie de la zone des travaux.

D. S'assurer que tous les outils, notamment les lampes de poche, sont retenus par un cordon. Tous les outils devraient être attachés à leur utilisateur afin d'empêcher qu'ils ne tombent dans l'équipement ouvert. Les compartiments à piles ou autres compartiments ou accessoires susceptibles de s'ouvrir (sur les lampes de poche ou les appareils de surveillance de la qualité de l'air, par exemple) devraient être recouverts de ruban adhésif.

E. Lorsque des composants ou des sous-ensembles sont transférés dans une « zone nettoyée », étendre le programme d'exclusion des corps étrangers à cette zone.

F. En cas de travaux sur des groupes électrogènes ou de gros moteurs électriques, procéder de la manière suivante :

1. Veiller à ce que le groupe électrogène soit alimenté en air propre, chaud et sec afin d'éviter la pénétration d'humidité à l'intérieur.
2. Prévoir une enceinte ou une couverture (une tente ou une bâche, par exemple) en plus des barrières latérales pour protéger l'équipement ouvert de la poussière, de l'humidité, des fientes d'oiseaux, etc.
3. S'assurer que l'ensemble du personnel travaillant dans la zone d'exclusion des corps étrangers porte des surchaussures et des combinaisons sans poches en tissu non pelucheux.

**Formulaire 1. Formulaire d'audit d'exclusion des corps étrangers sur site**

Site/activité : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_ Directeur technique : \_\_\_\_\_ Heure : \_\_\_\_\_

Sauf indication contraire, toutes les tâches s'appliquent aux trois niveaux d'exclusion des corps étrangers.

	<i>Tâche</i>	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>N/A</i>	<i>Commentaires</i>
1	Des délimitations de la zone d'exclusion des corps étrangers ont-elles été mises en place et signalées ?				
2	Une signalétique adéquate est-elle en place ?				
3	Des barrières d'exclusion des corps étrangers sont-elles correctement installées ?				
4	Des étiquettes d'identification des zones d'exclusion des corps étrangers sont-elles apposées sur les barrières ?				
5	Les étiquettes d'identification des zones d'exclusion des corps étrangers sont-elles correctement renseignées ?				
6	Manque-t-il des barrières d'exclusion des corps étrangers ?				
7	Le registre concernant l'exclusion des corps étrangers est-il correctement rempli ?				
8	Des agents de surveillance font-ils respecter les procédures d'exclusion des corps étrangers ?				
9	Les canalisations déposées (y compris les tuyaux) sont-elles étiquetées et identifiées ?				
10	La liste des chutes de corps étrangers est-elle à jour ?				
11	Combien d'objets sont répertoriés sur la liste des chutes de corps étrangers ?				
12	Le registre de la zone d'exclusion des corps étrangers est-il à jour ?				
13	Le contrôleur de la zone d'exclusion des corps étrangers est-il sollicité ? (Niveaux 2 et 3)				
14	Les canalisations déposées (y compris les tuyaux) sont-elles bouchées ou recouvertes à chaque extrémité ? (Niveaux 2 et 3)				
15	Des compartiments ou casiers de rangement des effets personnels sont-ils disponibles ? (Niveaux 2 et 3)				
16	Toutes les pièces de la zone des travaux ont-elles été placées dans un sac ou une boîte ou ont-elles été étiquetées ? (Niveaux 2 et 3)				
17	Les registres concernant l'exclusion des corps étrangers sont-ils passés en revue et les éléments effacés à la fin de chaque journée de travail ? (Niveaux 2 et 3)				
18	Les outils sont-ils soigneusement agencés ? (Niveaux 2 et 3)				
19	La zone d'exclusion des corps étrangers est-elle surveillée pour s'assurer que les effets personnels ont été retirés ? (Niveaux 2 et 3)				
20	Tous les outils sont-ils retenus par un cordon ? (Niveau 3)				
21	La procédure d'exclusion des corps étrangers pour les groupes électrogènes et autres équipements électriques est-elle appliquée ? (Niveau 3)				
22	Les groupes électrogènes et autres équipements électriques sont-ils recouverts et alimentés avec de l'air chaud et sec ? (Niveau 3)				
23	Le personnel porte-t-il des surchaussures et des combinaisons en tissu non pelucheux dans la zone abritant le groupe électrogène ? (Niveau 3)				

Commentaires : \_\_\_\_\_

Formulaire rempli par : \_\_\_\_\_ Représentant du propriétaire : \_\_\_\_\_











## ANNEXE E PRESTATAIRES ALTERNATIFS

### E.1 Instructions relatives au programme d'audit et d'inspection des services et composants des prestataires alternatifs

En cas de souscription de services et/ou d'achat de composants pour les équipements, un programme d'audit et d'inspection devrait être mis en place pour s'assurer de la qualité desdits services et/ou composants.

Pour tous les services et composants :

- A. Le prestataire devrait disposer d'un programme d'assurance et de contrôle qualité établi par écrit et vérifiable, offrant une traçabilité complète de l'ensemble des pièces et matériaux.
- B. Selon les types de services souscrits, ce programme devrait inclure des informations sur les caractéristiques, l'approvisionnement, la fabrication, les stocks, l'inspection, les essais, le transport, le stockage, la vérification de l'installation et la mise en service.
- C. Il devrait également tenir compte au minimum des éléments indiqués ci-après concernant les services souscrits ou les composants achetés. Ces informations ne doivent pas être considérées comme exhaustives, mais plutôt comme un point de départ pour élaborer un programme d'audit et d'inspection détaillé.
- D. Le programme d'audit et d'inspection devrait être mis en place par l'acheteur ou par la partie qu'il a désignée pour souscrire les services et/ou acheter des composants.

### E.2 Services d'inspection sur site et en atelier

Les services d'inspection fournis peuvent inclure plusieurs types de contrôles non destructifs. En cas de souscription de ces services :

- A. Les inspecteurs devraient posséder l'expérience requise pour le type d'inspections réalisées et le composant inspecté. Ils devraient en outre avoir accès à la procédure d'inspection recommandée par le fabricant (ou équivalente) et aux critères d'acceptation de ce dernier.
- B. Si des contrôles non destructifs sont réalisés, le technicien devrait au minimum être certifié ASNT SNT-TC-1A, Level II (ou une norme équivalente reconnue sur le plan national).
- C. La norme SNT-TC-1A de l'ASNT est une pratique recommandée qui fournit des lignes directrices permettant aux employeurs d'établir par écrit des programmes internes pour la certification du personnel chargé des contrôles non destructifs. Ces programmes ne délivrent pas de certification ASNT à proprement parler. Les entreprises peuvent en effet adapter leurs certifications internes en fonction du minimum requis.
- D. Les services devraient être fournis conformément à une procédure écrite qualifiée ou bénéficier d'une traçabilité adéquate.
- E. Le prestataire devrait respecter scrupuleusement une procédure d'exclusion des corps étrangers (voir l'annexe D).

### E.3 Services sur site

Les services sur site fournis peuvent inclure des travaux manuels, une direction technique sur le terrain et des contrôles non destructifs. En cas de souscription de ces services :

- A. Le prestataire devrait faire appel à des ingénieurs et techniciens qualifiés, formés et expérimentés, dont le rôle est détaillé par écrit. Le personnel en charge des contrôles non destructifs devrait avoir le niveau de certification requis pour la technique employée.
- B. Le prestataire devrait appliquer les pratiques, processus et procédures d'ingénierie reconnus dans le secteur. Les services devraient être fournis conformément à une procédure écrite qualifiée.
- C. Le prestataire devrait appliquer scrupuleusement une procédure d'exclusion des corps étrangers.

D. Il devrait disposer des capacités de fabrication en atelier adéquates (ou y avoir accès). L'atelier devrait appliquer une procédure de contrôle qualité écrite pour évaluer les performances des équipements stratégiques.

E. Le prestataire devrait conserver des dossiers détaillés sur la formation du personnel en charge des opérations de maintenance et d'installation sur site.

F. Il devrait disposer d'équipes d'assistance compétentes pour traiter les problèmes ne pouvant être résolus sur le terrain.

G. Le cas échéant, tous les outils fournis par le prestataire (les dispositifs de levage en particulier) devraient faire l'objet d'une inspection préalable pour être jugés aptes au service.

### E.4 Services en atelier

Le reconditionnement des composants pour allonger leur durée de vie est un élément important du programme d'inspection, d'essai et de maintenance des équipements. Ce processus peut nécessiter l'intervention de différents profils, notamment de la main-d'œuvre qualifiée, du personnel spécialisé dans les contrôles non destructifs et des ingénieurs. Lorsque des pièces sont envoyées en atelier pour être reconditionnées, les conditions suivantes devraient être remplies :

A. Le personnel de l'atelier devrait posséder l'expérience requise pour le type de reconditionnements réalisés et les composants concernés. De plus, les inspections devraient s'opérer conformément à la section C.1.1 de ce document.

B. Le prestataire devrait avoir mis en place un programme écrit pour faire appel à du personnel dûment qualifié, formé et expérimenté. Il devrait conserver des dossiers détaillés sur la formation du personnel en charge des opérations de reconditionnement. Le prestataire devrait appliquer les pratiques, processus et procédures d'ingénierie reconnus dans le secteur.

C. Il devrait disposer des capacités de reconditionnement adéquates (ou y avoir accès par le biais d'un fournisseur agréé) et appliquer une procédure de contrôle qualité écrite pour évaluer les performances des composants stratégiques.

D. Il devrait avoir accès à des pièces de rechange pour les mises au rebut dans le cadre du processus de réparation. Il devrait vérifier l'adéquation (historique ou origine) des pièces de rechange à utiliser lors d'un ou de plusieurs intervalles de maintenance.

E. Il devrait avoir vérifié l'origine de tous les consommables utilisés dans le cadre du processus de réparation : fils de soudure, matériaux d'apport et de brasage, etc. Les réparations telles que des opérations de brasage et/ou de soudage devraient faire l'objet d'une évaluation technique. Celle-ci devrait inclure une analyse métallurgique pour confirmer que la méthode de réparation convient à l'application, au matériau et à la température concernés, en utilisant des procédures qualifiées et des soudeurs certifiés.

F. Le prestataire devrait disposer d'une source adéquate et vérifiable pour tout le matériel nécessaire à la réparation : goupilles, joints, etc.

G. Il devrait s'appuyer sur des procédures de réparation écrites et qualifiées garantissant une qualité constante et conforme aux instructions du fabricant. Le processus de réparation devrait inclure des instructions détaillées pour l'exécution des étapes de la procédure :

1. consignation de la référence, du numéro de série et de l'historique de fonctionnement cumulé de chaque composant depuis la dernière réparation et la date de fabrication ;
2. photographies et cartographies visuelles, dimensionnelles des contrôles non destructifs et des défauts des intrants ;
3. le cas échéant, analyse métallurgique des matériaux de base pour vérifier leur composition et leurs propriétés ;
4. démontage des composants de sous-ensemble ;
5. nettoyage ;

6. méthodes de contrôle non destructif conformes à des procédures écrites et qualifiées ;
7. traitement thermique ;
8. réparations par soudage et brasage réalisées conformément à des procédures qualifiées, à l'aide de matériaux d'apport dont la compatibilité avec les matériaux de base est certifiée ;
9. le cas échéant, préchauffage et traitement thermique de détensionnement après soudage ;
10. usinage pour obtenir les dimensions requises du composant réparé ;
11. le cas échéant, renouvellement du revêtement et traitement thermique de diffusion ;
12. remontage des composants de sous-ensemble ;
13. inspections d'assurance/contrôle qualité, essais finaux, etc.

Une fois que le premier composant est traité selon les procédures applicables et qu'il est jugé conforme aux critères de qualité, les procédures de réparation qualifiées et les spécifications du processus sont utilisées pour garantir une qualité constante. Le cas échéant, les futures améliorations apportées au processus et aux procédures de réparation devraient déboucher sur une réévaluation de la qualification, en détaillant par écrit les modifications dans le cadre d'un processus de révision de la gestion des changements. Selon les cas, le processus révisé devrait être appliqué dans ces conditions particulières pour garantir une qualité constante.

#### **E.5 Composants non originaux (issus de l'ingénierie inverse et de la réingénierie)**

Avant d'utiliser des composants non originaux, le fournisseur devrait avoir évalué la conception du composant fourni par le fabricant et identifié les éventuels problèmes de performance des pièces (oxydation prématurée, fissure, usure ou défaillance). En l'absence de problème et de risque de violation de brevet, un composant issu de l'ingénierie inverse qui remplit les critères de qualité énoncés ci-dessous constitue une solution acceptable. En cas de problèmes avec le composant d'origine, un composant issu de la réingénierie qui remplit les critères énoncés ci-dessous est acceptable.

##### **E.5.1 Composants issus de l'ingénierie inverse**

Si le propriétaire fournit un échantillon servant de modèle dans le cadre du procédé d'ingénierie inverse, il devrait être informé du risque d'endommagement, voire de destruction du composant dans le cadre de l'analyse métallurgique nécessaire à sa quantification précise. La quantité minimale jugée statistiquement significative de pièces à soumettre à l'ingénierie inverse pour déterminer les caractéristiques d'un composant avec exactitude est de six nouvelles pièces.

Les échantillons à partir desquels le composant issu de l'ingénierie inverse doit être évalué devraient être dimensionnellement précis et se situer dans les limites de tolérances indiquées. Des mesures 3D devraient être réalisées à l'aide de techniques reproductibles telles que le laser, la lumière blanche, la tomodensitométrie ou le contrôle par scanner à rayons X.

L'identification et les images de la microstructure de tous les alliages employés dans le composant, le revêtement (le cas échéant) et les composants de sous-ensemble devraient être déterminées via une analyse spectrale ou une méthode équivalente. Toutes les finitions de surface métallurgiques nécessaires et appropriées devraient avoir été identifiées et incorporées.

Tout écart par rapport aux standards du fabricant, par exemple l'utilisation d'alliages alternatifs ou d'autres matériaux, devrait être évalué et jugé acceptable avant d'être utilisé à des fins de conception.

Une équipe possédant l'expertise requise (en interne ou en externe) devrait être sollicitée pour faciliter l'élaboration des spécifications métallurgiques et autres caractéristiques techniques pertinentes dans le cadre de l'achat de composants issus de l'ingénierie inverse.

##### **E.5.2 Composants issus de la réingénierie**

En cas de problèmes récurrents avec un composant en cours de fonctionnement (défaillances), le prestataire alternatif devrait procéder à sa réingénierie (reconception) avant de passer à la fabrication. Un prestataire alternatif peut aussi décider de procéder à la réingénierie d'un composant en cas de risque de violation de brevet.

### E.5.3 Processus de conception

Le fournisseur devrait analyser les éventuelles causes fondamentales des problèmes posés par le composant en testant les équipements, en procédant à des essais en laboratoire, en utilisant des modèles informatiques, etc.

La conception des composants qui présentent des problèmes connus devrait être revue à l'aide d'outils d'analyse et d'essais de pointe, généralement acceptés et à jour.

L'impact des composants remaniés sur les autres composants et sur les performances globales de l'équipement devrait être évalué dans le cadre du processus de modification de la conception. Le fournisseur devrait s'appuyer sur un processus établi et des procédures écrites incluant toutes les étapes du processus d'ingénierie.

Le fournisseur devrait être disposé à communiquer au propriétaire et à FM l'intégralité du processus de conception et des hypothèses formulées lors de la réingénierie ou des changements susceptibles de modifier significativement les performances actuelles de l'équipement.

### E.5.4 Processus de validation et d'essai

Le processus de validation des modifications de conception du fournisseur devrait inclure la vérification des marges de fréquence de résonance.

Le fournisseur devrait disposer de capacités d'essai permettant de prouver que les composants issus de la réingénierie fonctionneront correctement pour l'utilisation prévue. Un composant ou un groupe de composants dont la conception a été modifiée ne devrait avoir aucun impact matériel sur le reste de l'équipement, à moins qu'une analyse de tous les composants concernés ne démontre l'absence d'incidence négative, quelles que soient les conditions d'exploitation.

Les composants remaniés devraient être soumis à des essais réalisés, le cas échéant, à l'aide d'instruments supplémentaires pour faciliter l'évaluation des performances de la nouvelle conception.

Des inspections périodiques supplémentaires devraient être menées jusqu'à ce qu'il soit prouvé que le composant est compatible avec l'environnement d'exploitation et le fonctionnement de l'équipement, et qu'il se situe dans l'intervalle de réparation et remplacement cible.

### E.5.5 Processus de fabrication

Le fournisseur de composants devrait s'appuyer sur un programme d'assurance/contrôle qualité écrit et le mettre à la disposition du propriétaire pour revue.

Ce programme devrait détailler la façon dont le fournisseur surveille et garantit la qualité de l'ensemble des travaux effectués par toutes les catégories de sous-traitants, y compris les fournisseurs de matières premières.

Le fournisseur devrait garantir le respect des caractéristiques de ses matériaux, ainsi que la traçabilité complète de tous les certificats de matériaux conformément au programme d'identification des matériaux.

Il devrait transmettre au propriétaire les données de fabrication essentielles pour revue, notamment l'analyse chimique de la coulée, les radiographies haute résolution, la certification et l'analyse des couches de liaison et de finition de l'ensemble des revêtements utilisés (le cas échéant) ainsi que la documentation du traitement thermique indiquant le maintien en température.

### E.6 Mise à niveau et remplacement du système de contrôle-commande industriel

Le système de contrôle-commande industriel (SCI) devrait offrir des fonctions de commande, de surveillance, de séquençage et de protection d'urgence de l'équipement à la fois complètes, fiables et de pointe.

Le prestataire devrait appliquer les pratiques, processus et procédures d'ingénierie reconnus dans le secteur.

Il devrait avoir une connaissance détaillée du modèle et de la configuration spécifiques de l'équipement commandé.

Il devrait connaître les points forts et les points faibles de la plateforme de commande utilisée, notamment le taux de réponse et le taux d'échantillonnage. Il devrait être en mesure d'expliquer les différences entre la plateforme de commande proposée et le système à remplacer, et de corriger les faiblesses observées sur le nouveau système.

Il devrait maîtriser les modes de défaillance connus du matériel de commande proposé, et être en mesure d'expliquer comment ils peuvent se manifester et comment s'en prémunir.

Le SCI devrait incorporer tous les systèmes de protection recommandés par le fabricant de l'équipement.

Les systèmes de protection devraient faire l'objet d'une redondance suffisante pour qu'aucune défaillance ne provoque ni n'empêche le déclenchement de l'équipement.

Une fonction de diagnostic du système devrait être intégrée au SCI. Les postes opérateur et stations ingénierie devraient permettre d'identifier et de localiser automatiquement les défauts au niveau des commandes d'instrumentation. Des alarmes devraient être configurées pour signaler chaque défaut d'un dispositif.

Le système nouveau ou modifié devrait permettre de tester les systèmes de protection. Si les systèmes proposés offrent des fonctions d'« autodiagnostic » telles qu'aucun essai distinct n'est jugé nécessaire, le fournisseur devrait produire une documentation attestant que ces fonctions d'« autodiagnostic » sont suffisantes pour ne pas avoir à tester les composants du système séparément.

Des tests d'acceptation en usine complets (comprenant les systèmes auxiliaires stratégiques) devraient être effectués dans le cadre de la procédure de mise en service pour s'assurer que le système fonctionne comme prévu. Le matériel devrait être soumis à des essais physiques garantissant son bon fonctionnement.

Des tests de réception sur site complets (comprenant les systèmes auxiliaires stratégiques) devraient être effectués dans le cadre de la procédure de mise en service pour s'assurer que le système fonctionne comme prévu.

### **E.7 Contrat de service avec un prestataire alternatif**

Un contrat de service est un accord portant sur la fourniture de pièces de rechange et/ou de prestations de remise à neuf de pièces, de services d'inspection, de services sur site, d'activités de surveillance et de diagnostic, de gestion des stocks et de gestion de contrats. Lors de la signature d'un contrat de ce type avec un prestataire alternatif, tous les éléments pertinents exposés dans cette section de la fiche technique relative au programme d'audit et d'inspection devraient être pris en compte.

Tous les prestataires alternatifs envisagés devraient être soumis à un audit financier et technique au préalable. Cet audit préalable devrait également porter sur l'ensemble des sous-traitants du prestataire amenés à fournir des pièces ou des services dans le cadre du contrat de service.

En cas d'arrêt forcé, le fournisseur devrait être en mesure de fournir des pièces et des services dans un délai raisonnable.

Le propriétaire devrait se réserver le droit de s'approvisionner en pièces et en services auprès du fabricant ou d'autres sources si les prestataires alternatifs sont dans l'incapacité d'honorer leurs obligations contractuelles.

Si le prestataire ayant conclu le contrat de service s'approvisionne en pièces auprès d'un nouveau fournisseur et ne contrôle pas directement le procédé de fabrication, il devrait mettre en place un programme garantissant la qualité des pièces et le respect des instructions relatives au programme d'audit et d'inspection.

Si le prestataire ayant signé le contrat de service compte fournir des composants remis à neuf, issus du marché gris ou d'occasion dans le cadre d'un accord de mise en commun, il devrait garantir l'origine des pièces (c'est-à-dire leur historique de fonctionnement depuis leur fabrication et leur dernière réparation, ainsi que d'autres paramètres historiques essentiels) afin de s'assurer qu'elles sont adaptées à l'usage auquel elles sont destinées.

Le propriétaire devrait conserver le droit de faire appel à des consultants/prestataires externes dans le cadre de la supervision des arrêts, des processus de remise en état des pièces ou, en cas de défaillance, des analyses des causes fondamentales.