

RAPPORT D'ÉTUDE  
N° DRA-18-160224-01606B

28/05/2018

**BENCHMARK ET ANALYSE SUR LES  
MÉTHODOLOGIES RBI APPLIQUÉES AUX  
ÉQUIPEMENTS SOUS PRESSION**

**INERIS**

*maîtriser le risque |  
pour un développement durable*



# **Benchmark et analyse sur les méthodologies RBI appliquées aux équipements sous pression**

Direction des Risques Accidentels

Verneuil-en-Halatte (60)

Destinataire : MINISTERE - BSERR

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Gaétan PROD'HOMME, Benoit MARBACH

## PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Étant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
Nom	G. PROD'HOMME B. MARBACH	C. BOLVIN F. MERLIER	S. CHAUMETTE
Qualité	Ingénieurs d'études et de recherche	Responsable de l'unité IARA (Identification et Analyse des Risques Accidentels) Délégué appui à l'Administration	Responsables du pôle AGIR (Analyse et Gestion Intégrée des Risques)
Visa			

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>5</b>
1.1	Objet de l'étude .....	5
1.2	Déroulement de l'étude .....	5
1.2.1	Choix des établissements participant à cette étude.....	5
1.2.2	Questionnaire – Visites de SIR.....	6
1.3	Structure du rapport .....	6
<b>2</b>	<b>ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>QUELQUES RAPPELS GÉNÉRAUX SUR LA MÉTHODE RBI</b> .....	<b>9</b>
3.1	Principes de la méthode RBI.....	9
3.2	Les différentes approches.....	12
3.2.1	Approche qualitative .....	12
3.2.2	Approche semi-quantitative .....	12
3.2.3	Approche quantitative .....	12
3.3	Au-delà de la méthode RBI, l'approche FFS .....	13
3.4	Rappel sur la périodicité des Inspections Périodiques .....	13
<b>4</b>	<b>EXPLOITATION DES DONNÉES DES VISITES DE SIR</b> .....	<b>15</b>
4.1	Préalable à la méthode : stratégies d'arrêt, organisation et outils rencontrés 15	
4.1.1	Stratégie d'arrêt et RBI .....	15
4.1.2	Organisation et outils .....	16
4.2	La sélection des équipements.....	16
4.3	La sélection des modes de dégradation.....	16
4.4	Détermination de la catégorie de probabilité de défaillance.....	17
4.5	Détermination de la catégorie de conséquence de défaillance .....	19
4.6	Détermination de la criticité et des seuils .....	21
4.7	Détermination d'un plan d'inspection.....	22
4.8	Evaluation de l'endommagement .....	23
<b>5</b>	<b>SYNTHESE ET ANALYSE SUR LES MÉTHODES RBI</b> .....	<b>25</b>
5.1	Les différentes approches de méthode RBI – comparaisons .....	25
5.2	Justification des types de méthodologies .....	28
5.3	Facteurs d'influence .....	29
5.3.1	Sélection des modes de dégradation.....	30
5.3.2	Détermination de la catégorie de probabilité de défaillance .....	30
5.3.3	Détermination de la catégorie de conséquences .....	31
5.3.4	Synthèse.....	32
5.4	Besoins minimums de mise en œuvre .....	32
5.5	Bonnes pratiques de la méthode.....	32
5.6	Pistes d'évolution du cadre méthodologique .....	33
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>35</b>

6.1	Avis sur les méthodes .....	35
6.2	Premiers éléments en cas d'un changement réglementaire des IP/RP.....	36
6.3	Conclusion et perspectives .....	37
<b>7</b>	<b>REFERENCES.....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>41</b>

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 OBJET DE L'ETUDE

L'objectif de l'étude est de disposer d'une meilleure vision des différentes méthodes de type Risk-Based Inspection, appliquées dans le cadre de l'extension des périodicités d'inspection pour les équipements sous pression, utilisées par les industriels. Pour cela une investigation des paramètres utilisés dans ces différentes méthodes a été menée afin de faire ressortir les similitudes et singularités des méthodes employées dans différents secteurs d'activité qui pourraient justifier la variabilité des périodes d'inspection d'un industriel à un autre.

L'étude a fait l'objet de visites de SIR (Services d'Inspection Reconnus) d'établissements volontaires pour le déroulement de cette étude, de novembre 2016 à mars 2017, ayant chacune fait l'objet de compte-rendu anonyme.

Ces visites ont eu pour objectif d'échanger sur les aspects suivants des méthodologies RBI (Risk-Based Inspection) mises en œuvre, afin d'établir un état des lieux comparatif des différentes méthodologies utilisées sur plusieurs sites industriels :

- L'approche méthodologique ;
- La prise en compte des modes de dégradations ;
- Les paramètres pris en compte pour la quantification de la défaillance des équipements sous pression ;
- Les paramètres de détermination de la criticité de ces équipements ;
- Les techniques d'inspection utilisées.

Les résultats de ces échanges sont l'objet du présent rapport.

Le détail du déroulement de l'étude est décrit au chapitre suivant.

## 1.2 DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE

### 1.2.1 CHOIX DES ÉTABLISSEMENTS PARTICIPANT À CETTE ÉTUDE

Le BSERR a souhaité que l'INERIS se rende sur différents sites industriels afin de rencontrer les services d'inspection reconnus, avec pour objectif d'identifier les éléments permettant à un SIR de définir les fréquences d'inspection.

Afin d'obtenir un panel représentatif des différentes méthodologies mises en œuvre par les SIR, il s'avérait nécessaire de réaliser cette analyse pour des secteurs d'activités représentatifs.

L'organisation de la visite de l'INERIS des différents SIR impliqués dans cette démarche a été définie d'un commun accord avec le BSERR et les industriels concernés.

Quatre secteurs d'activités ont participé à cette étude :

- Raffinage,
- Chimie,
- Stockage de gaz,
- Electricité,

pour un total de 6 industriels (dont deux du secteur Raffinage et deux du secteur Chimie). L'ordre et le planning des visites ont été définis en fonction des possibilités d'accueil des différents SIR.

### **1.2.2 QUESTIONNAIRE – VISITES DE SIR**

En amont des visites de SIR, un questionnaire a été établi par l'INERIS et a fait l'objet d'échanges avec le BSERR. Ce questionnaire avait pour vocation à servir de support aux discussions avec les SIR. Il leur a été envoyé en préalable à chaque rencontre et a pu évoluer au fil des discussions (points non pertinents selon la méthode mise en œuvre par exemple).

Les compte-rendu anonymisés de visites des SIR participant à l'étude ont servi de base pour la réalisation du présent rapport.

### **1.3 STRUCTURE DU RAPPORT**

Après la présentation de l'organisation et du déroulement de l'étude, le rapport détaille ensuite les grands principes d'une méthode RBI. Dans un troisième temps est présentée l'exploitation des données des visites de SIR (les données issues des visites de SIR sont synthétisées en Annexe A). Puis ce rapport s'attache à donner une analyse globale sur l'ensemble des méthodologies rencontrées chez les différents industriels participants à l'étude.

## 2 ABRÉVIATIONS

AMDE(C)	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité
API	American Petroleum Institute
APITI	Association pour la Promotion de l'Inspection Technique chez les Industriels
BSERR	Bureau de la Sécurité des Equipements à Risques et des Réseaux
COCL	Condition Opératoire Critique Limite
CND	Contrôle Non Destructif
DRV	Durée de Vie Résiduelle
EDD	Etude De Dangers
ESP	Equipement Sous Pression
FFS	Fitness For Service
FP	Flash Point
INERIS	Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des risques
IP	Inspection Périodique
RBI	Risk-Based Inspection
REX	Retour d'EXpérience
RP	Requalification Périodique
SIR	Service d'Inspection Reconnu
TAI	Température d'Auto-Ignition
VIS	Vital – Important - Secondaire



## **3 QUELQUES RAPPELS GÉNÉRAUX SUR LA MÉTHODE RBI**

### **3.1 PRINCIPES DE LA MÉTHODE RBI**

L'objectif de ces méthodes de type Risk-Based est de planifier l'inspection d'un équipement en focalisant les actions sur les équipements les plus à risques. Un plan d'inspection est ainsi défini pour un équipement ou groupe d'équipements selon des critères basés sur une analyse de risque.

Dans ces méthodes, les probabilités et conséquences de scénarios de défaillance d'équipements ou de partie d'équipement sont évaluées.

Généralement, ces approches sont standardisées par type d'industrie et par équipement. L'évaluation du risque peut intégrer des données statistiques de défaillance ou de dégradation, la qualité d'inspection et une évaluation précise des durées de vie. Elle requiert également de nombreuses données pour qualifier l'influence des différents facteurs (procédé, humains, environnement...) sur la probabilité et la conséquence de la rupture d'un équipement.

Cette méthode, dans ses versions les plus avancées, est capable de préciser :

- Le classement par la criticité (couple probabilité/conséquence de la défaillance) de tous les équipements évalués ;
- La description détaillée du plan d'inspection à employer pour chacun des équipements, en spécifiant :
  - Les méthodes d'inspection à utiliser ;
  - L'étendue des inspections ;
  - Les instants et intervalles d'inspection ;
- La gestion du risque selon le plan de maintenance ;
- La description des mesures de réduction des risques, telles que les réparations, les remplacements et les instruments de sécurité ;
- Les niveaux de risque attendus pour les différents équipements considérés, après inspection et après la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (i.e. mitigation).

Les différentes étapes générales de ces approches sont les suivantes :

1. La première étape est la **sélection des équipements** à intégrer aux méthodes. Cette sélection s'appuie sur le retour d'expérience et le jugement d'expert. Un groupement par type d'éléments ou par type de dégradation/défaut peut être réalisé pour l'analyse. Cette étape est similaire à une analyse préliminaire des risques (cadre des EDD) complétée par la sélection réglementaire ;
2. Pour chaque composant, des **modes de dégradation et scénarios de défaillance** sont déterminés sur la base de standards, du retour d'expérience et du jugement d'expert. Des méthodes plus détaillées peuvent également être utilisées ;
3. Quelle que soit la méthode utilisée, l'étape suivante est la **détermination** pour chaque événement redouté (par mode de défaillance de l'équipement ou agrégée) d'une criticité établie à partir de l'évaluation **de la probabilité d'occurrence de la défaillance et de la gravité des conséquences**. Ces évaluations sont basées sur des données génériques modifiées par la connaissance des inspections/maintenances préalables (tenant compte de la probabilité de détection du défaut recherché pour la technique d'inspection utilisée) et d'un ensemble de facteurs influents sur le comportement dans le temps des équipements et la maîtrise des risques dans l'industrie ;
4. La criticité potentielle est déterminée par la combinaison de la probabilité d'occurrence et de la gravité. **L'analyse de risque** peut être menée par équipement ou par partie d'équipement homogène (par exemple, pour un ensemble de tuyauterie dans une même boucle d'iso-dégradation, ou sur un équipement sur chaque partie contenant des phases et/ou des substances différentes). Les défaillances potentielles et avérées sont ensuite placées dans une grille de criticité et comparées aux niveaux acceptables fixés par les standards ou l'industriel ;
5. En parallèle, **le niveau d'endommagement** selon le mode de dégradation étudié est évalué. Cette évaluation est réalisée sur la base d'inspection ou de données génériques de dégradation. Elle peut être basée sur des formules mécaniques simples de cinétique ou de durée de vie résiduelle, proches des formulations de dimensionnement des équipements/structures ou plus complexe. Le résultat de cette évaluation peut également être un avis expert ou une comparaison de l'état réel par rapport à l'état attendu (standardisation des résultats de contrôles) ;
6. En fonction du risque (criticité) obtenu et du calcul de la durée de vie, on détermine des **plans d'inspection** contenant la durée maximale avant la prochaine inspection et la qualité minimale (types de contrôles, localisation, nombre d'échantillons...) d'inspection nécessaire. En fin de vie, des méthodes particulières de suivi en service (Fitness For Service) ou des travaux sont prévus ;
7. Une étape d'**optimisation** basée sur la liste des actions à réaliser et les contraintes techniques, économiques et réglementaires est ensuite réalisée. Cette étape est plutôt optionnelle et n'est pas réalisée pour toutes les méthodes.

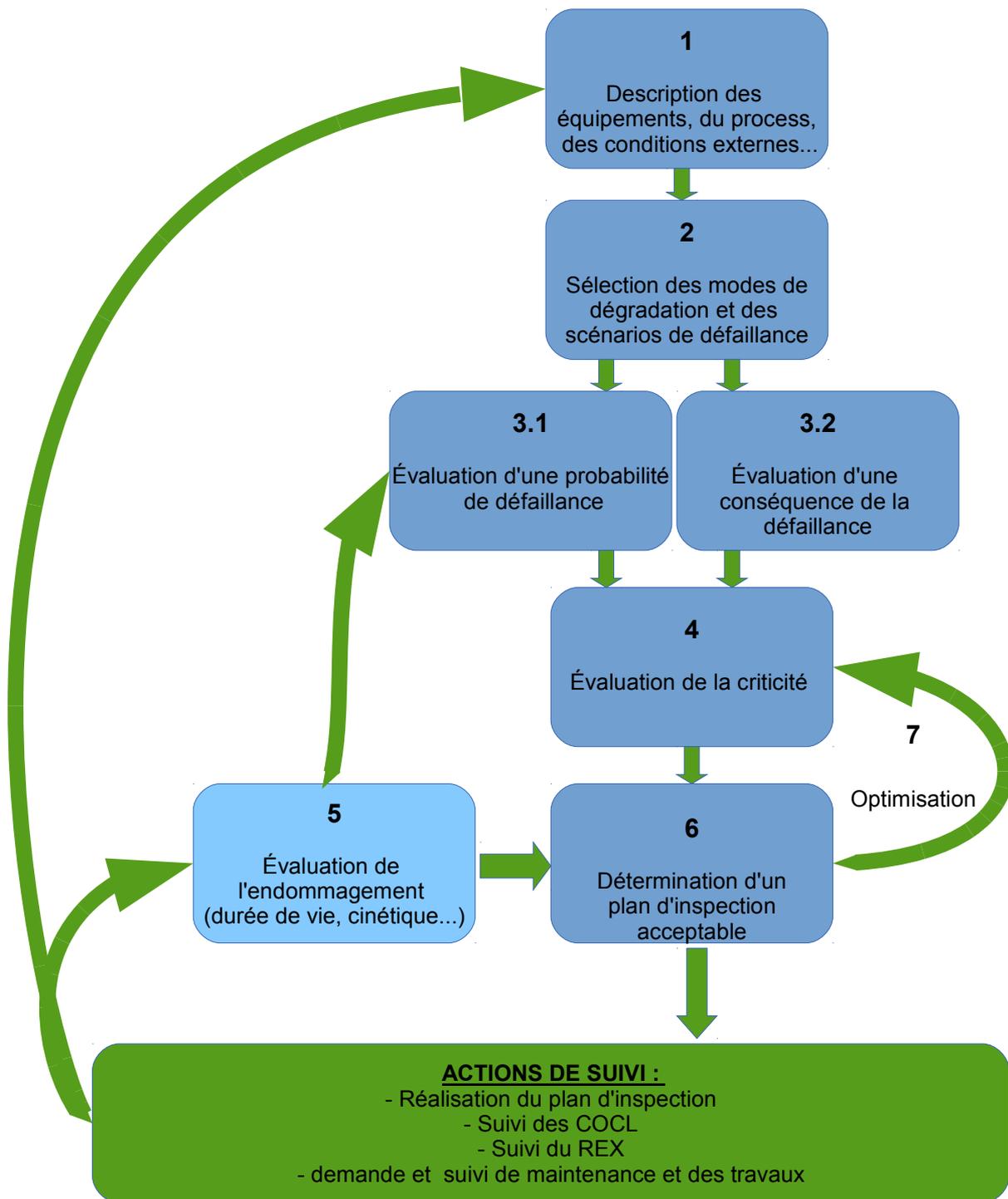


Figure 1 Schéma de la méthode basée sur la criticité

L'ensemble du processus est répété et optimisé après chaque inspection.

Cette méthode consiste donc à réaliser l'évaluation des risques des équipements d'une part, et à exploiter les résultats d'inspection pour définir les fréquences et la qualité des inspections, d'autre part. Selon les méthodes, ces deux aspects peuvent être fortement liés ou dissociés.

Il existe en effet dans la littérature différentes approches (qualitative, semi-quantitative et quantitative), pour chacune des étapes identifiées [ASME-CRTD], [API 580] et [API 581], [HSE-2], [IAEA].

Ces approches sont discutées ci-après.

## **3.2 LES DIFFÉRENTES APPROCHES**

### **3.2.1 APPROCHE QUALITATIVE**

L'analyse qualitative du risque consiste en une évaluation du profil de risque des équipements sur la base des estimations qualitatives du dommage global et des conséquences associées. Dans cette approche, il est nécessaire de définir des règles qualitatives pour indiquer le niveau du risque en fonction du niveau d'endommagement et des conséquences. Elle fait peu intervenir les facteurs complémentaires tels que par exemple, la qualité d'inspection. Ces méthodes sont généralement associées à des politiques d'inspection bien définies par équipement et des politiques de maintenance limitant les niveaux de dégradations tolérés.

### **3.2.2 APPROCHE SEMI-QUANTITATIVE**

L'évaluation semi-quantitative des risques est utile pour définir une démarche structurée pour le classement des risques selon leur probabilité, leur impact et leur criticité, d'une part, et pour classer les actions de réduction des risques selon leur niveau d'efficacité, d'autre part. Dans cette approche, une échelle de pondération est attribuée aux différents niveaux de risque, avec une hiérarchisation logique et explicite de l'ensemble des facteurs pouvant influencer la probabilité de défaillance ou les conséquences.

Les méthodes semi-quantitatives sont utilisées pour définir une échelle relative du risque. Dans cette approche, des échelles sont attribuées aux différents scénarios et conséquences, sans toutefois faire appel à des techniques mathématiques pour l'évaluation des probabilités et sans avoir besoin de données statistiques notables. L'objectif est de hiérarchiser les risques, sans tenir compte de leurs interactions, dans le but de définir l'ordre dans lequel ces risques doivent être traités.

Cette approche a l'avantage de permettre l'évaluation d'un spectre plus large de risques que celui de l'approche quantitative, puisqu'elle n'exige pas de modèle mathématique complet. Les résultats d'une approche totalement quantitative peuvent être introduits dans l'approche semi-quantitative, au prix d'une perte de précision due à la discrétisation par catégorie requise dans cette méthode.

### **3.2.3 APPROCHE QUANTITATIVE**

Cette approche est similaire à celle de l'approche semi-quantitative, mais avec des techniques de quantification et de chiffrage très variées, qui peuvent être plus ou moins compliquées. En fait, l'approche est dite « quantitative » lorsque des démarches spécifiques sont élaborées pour la quantification de la probabilité de défaillance, des conséquences ou de la durée de vie résiduelle.

La probabilité et les conséquences de la défaillance sont estimées par des approches quantitatives plus ou moins précises afin de permettre l'évaluation du risque ; on s'appuie généralement sur une matrice de criticité pour situer le risque. Les mesures de dégradation issues des inspections antérieures permettent l'estimation de la durée de vie résiduelle. Le calcul du facteur de confiance par rapport à l'évaluation du risque, d'une part, et à la méthode d'inspection employée, d'autre part, permet de spécifier l'intervalle d'inspection à partir de la durée de vie résiduelle. Les valeurs du risque et l'intervalle d'inspection sont exploités pour mettre en place des mesures de réduction des risques et des moyens de planification des inspections.

La hiérarchisation des risques peut se faire sur la base des probabilités, des conséquences ou de la criticité (i.e. le risque lui-même). Ce classement peut tenir compte des coûts, des bénéfices, du système de management de la sécurité, des aspects politiques et médiatiques, et de la valeur de l'entreprise.

La cohérence des méthodes est apportée par des référentiels applicatifs et un retour d'expérience important dans l'industrie sur leur application.

### **3.3 AU-DELÀ DE LA MÉTHODE RBI, L'APPROCHE FFS**

Le principe de la méthode « Fitness For Service-FFS » est d'évaluer l'intégrité de la structure d'un équipement pour un service ultérieur (souvent jusqu'à un prochain arrêt ou une prochaine inspection), en tenant compte des dégradations et de ses déviations par rapport à des conditions de conception.

On y a recours lorsque des doutes apparaissent sur le maintien de l'équipement à une échéance donnée. C'est, par exemple, le cas lorsque, compte-tenu de la vitesse de corrosion, on calcule que l'épaisseur minimale requise (aucune surépaisseur de corrosion) est atteinte. Une tolérance est alors déterminée pour tenir compte des marges prises sur la conception des équipements et des codes de construction utilisés.

Cette méthode est également mise en œuvre lorsque des modes de dégradation ne sont pas traités par la méthode RBI (ex : fissuration brutale) ou lorsque des combinaisons complexes de modes de dégradation surviennent.

### **3.4 RAPPEL SUR LA PÉRIODICITÉ DES INSPECTIONS PÉRIODIQUES**

L'inspection périodique a pour objet de vérifier que l'état de l'équipement sous pression soumis aux dispositions de l'arrêté du 15 mars 2000 relatif à l'exploitation des équipements sous pression lui permet d'être maintenu en service avec un niveau de sécurité compatible avec les conditions d'exploitation prévisibles. Cette inspection est réalisée sous la responsabilité de l'exploitant.

Elle comprend une vérification extérieure, un examen des accessoires de sécurité et des investigations complémentaires en tant que de besoin.

L'inspection périodique doit être faite par une personne compétente apte à reconnaître les défauts susceptibles d'être rencontrés et à en apprécier la gravité.

L'inspection périodique a lieu aussi souvent que nécessaire, l'intervalle entre deux inspections périodiques ne pouvant dépasser les délais définis dans l'arrêté du 15 mars 2000, soit 40 mois maximum.

Toutefois, pour les équipements sous pression surveillés par un SIR, la nature et la périodicité des inspections périodiques sont définies dans des plans d'inspection qui détaillent les modalités de surveillance en exploitation d'un ESP. Les guides professionnels, type DT 84, permettent par exemple de retenir des périodicités d'inspection jusqu'à 72 mois.

## **4 EXPLOITATION DES DONNÉES DES VISITES DE SIR**

Les données issues des visites ont été synthétisées en annexe A.

Dans ce chapitre, l'INERIS présente un traitement de ces données, pour chaque étape de la méthode RBI. Des focus sont réalisés sur les points spécifiques identifiés lors des échanges en amont avec l'administration.

### **4.1 PRÉALABLE À LA MÉTHODE : STRATÉGIES D'ARRÊT, ORGANISATION ET OUTILS RENCONTRÉS**

#### **4.1.1 STRATÉGIE D'ARRÊT ET RBI**

La stratégie des arrêts est fortement liée au procédé mis en œuvre et aux coûts inhérents à l'indisponibilité du procédé. Historiquement, les industriels pour lesquels ces arrêts sont les plus coûteux ont développé ou intégré plus tôt des méthodes de type RBI destinées à optimiser les inspections en construisant notamment le REX nécessaire à cette méthode et les statistiques nécessaires à la quantification des risques. Ces méthodes sont donc logiquement plus avancées dans ces secteurs.

A ce jour, au-delà de l'ancienneté dans la méthode, la stratégie RBI et le niveau de la méthode associée sont justifiés par :

- Le nombre et la variabilité des équipements ;
- La complexité et multiplicité des procédés ;
- La politique d'arrêt ;
- La politique économique d'inspection/maintenance du groupe ;
- Le REX disponible et l'expertise groupe.

En effet, des sites fonctionnant avec des procédés stables et peu de fluides différents auront une stratégie d'inspection simplifiée portée par une approche semi-quantitative standardisée alors qu'un site fonctionnant avec de nombreux procédés moins stables et des quantités de fluides différents importantes aura une stratégie d'optimisation maximale avec une approche plus quantitative et plus discriminante, évitant ainsi des classements et actions similaires pour de nombreux équipements.

Plus les sites s'arrêtent fréquemment, moins il est nécessaire d'optimiser chaque arrêt. et plus des périodes fixes pour les contrôles spécifiques sont alors justifiées. Pour des arrêts plus éloignés, une optimisation des contrôles en marche et des contrôles réalisés durant l'arrêt est nécessaire pour assurer le maintien en service entre deux arrêts des équipements à risque.

La politique économique d'inspection et de maintenance joue nécessairement un rôle sur la stratégie RBI puisque la disponibilité des moyens, les choix de maintien en service et les inspections ont des coûts importants. Plus on tend vers une approche de maintenance « préventive » régulière, moins la méthode RBI nécessite d'être développée.

Enfin, une méthode quantitative nécessite un REX et une expertise forte dans tous les cas. Pour mettre en œuvre ces méthodes, il est nécessaire d'avoir accumulé des données statistiques importantes et d'avoir développé de nombreux modèles mécaniques et probabilistes.

#### **4.1.2 ORGANISATION ET OUTILS**

L'organisation des SIR est très similaire d'un site à un autre. On retrouve principalement des variabilités justifiées par la complexité des méthodes mises en œuvre et la quantité d'équipements à surveiller. A noter qu'il est essentiel qu'il y ait une communication et un partage de connaissance entre les ingénieurs méthode et les ingénieurs terrain pour une mise en œuvre efficace de la méthode.

Le développement d'outils, en interne ou en externe, basé sur une méthode RBI établie par l'industriel a pour effet de dissiper l'effet « boîte noire » d'un logiciel complet externe basé sur la déclinaison d'un code ou d'un standard. La problématique tient plutôt à la maîtrise du logiciel par le SIR qu'au logiciel lui-même, censé être une transcription de la méthode. A noter qu'un industriel est plus dépendant du logiciel commercial mais envisage un retour à un outil interne pour intégrer au fur et à mesure ses modifications dans la méthode. Il s'agit donc dans ce cas d'une appropriation de méthode par le biais d'un logiciel contrairement à l'ensemble des industriels rencontrés qui ont développé la méthode avant le logiciel. Cela est rendu possible par un développement très important de ces méthodes et une standardisation de l'approche dans la branche concernée.

#### **4.2 LA SÉLECTION DES ÉQUIPEMENTS**

La méthode intègre les équipements soumis à l'arrêté du 15 mars 2000, et peut s'étendre à certains équipements suivis volontairement, aux équipements soumis au Plan de Modernisation des Installations Industrielles, voire couvrir la totalité des équipements du site. Pour certains sites la quasi-totalité des équipements est traité par la méthode, impliquant des approches de niveau variables allant du passage en suivi type maintenance jusqu'à suivi très spécifique type FFS. Certaines méthodes introduisent des facteurs spécifiques pour le traitement des tuyauteries, notamment lorsque des scénarios de rupture franche ont été écartés dans les études de dangers.

#### **4.3 LA SÉLECTION DES MODES DE DÉGRADATION**

L'approche est identique pour tous les sites : la sélection des modes de dégradation est issue d'une analyse par les experts groupes, définissant l'ensemble des modes de dégradation avérés et potentiels, puis complétée par d'éventuelles spécificité/observations locales.

La déclinaison au niveau du site des guides « dégradation » entraîne la sélection des modes de dégradation potentiels et avérés, affinés localement en tenant compte des spécificités du site en termes de fluides et de conditions opératoires.

Ces guides intègrent en amont la prise en compte du REX. Chaque secteur d'activité retient le REX pertinent pour son procédé et domaine d'activité, certaines activités spécifiques se reposant de ce fait presque uniquement sur leur REX interne.

La sélection des modes de dégradation, tant dans sa réflexion que dans les éléments pris en compte, apparaît pertinente et consolidée. Elle reste cependant très dépendante d'un suivi très important des conditions d'exploitation.

La définition des COCL, réalisée en parallèle de la sélection des modes de dégradation, fait partie intégrante de la méthode RBI. Elle est en effet essentielle à la gestion de l'apparition de modes de dégradation non attendus en mode de fonctionnement normal (dans les fenêtres opératoires prédéfinies, sans pollution des fluides véhiculés, etc...). Leur suivi est systématique, et les potentielles dérives remontées quotidiennement au SIR par le biais du service procédé ou d'outils de suivi dédiés. Un dépassement de COCL fait l'objet d'une analyse dédiée individuelle et des actions spécifiques de contrôles sont ensuite mises en œuvre si nécessaire.

Il peut arriver que les COCL soient gérés indirectement par le déclenchement des organes de sécurité (ex : soupapes) ou la mise à l'arrêt des installations (automatiquement par le suivi de critères opératoires). En effet si le procédé est bien maîtrisé et que l'apparition de modes de dégradation potentiels est liée à un fonctionnement au-delà des capacités de conception des équipements (ou des conditions d'exploitation acceptables des équipements au-delà desquelles les installations sont mises à l'arrêt), la prise en compte des COCL vient pondérer le calcul de la probabilité de défaillance en intégrant les déclenchements des organes de sécurité ou les mises à l'arrêt des installations par dépassement de ces valeurs.

Concernant la mise en œuvre d'équipements nouveaux (nouveaux matériaux), les industriels rencontrés ne sont pas concernés, en tout cas à moyen terme. En revanche, la mise en œuvre d'une méthode RBI dans le cadre d'un procédé innovant (en termes de procédé ou de matériau mis en œuvre) paraît prématurée du fait de la nécessité de se reposer sur un REX solide.

#### 4.4 DÉTERMINATION DE LA CATÉGORIE DE PROBABILITÉ DE DÉFAILLANCE

Les points communs principaux à l'ensemble des méthodes pour la détermination de la catégorie de probabilité de défaillance sont les suivants :

- Prise en compte des modes de dégradation **potentiels et avérés** ;
- Calcul de probabilités de défaillance **individualisés pour chaque équipement**.

Au-delà de ces deux points, chaque méthode à ses spécificités. Sans traiter l'ensemble des spécificités de chaque méthode, l'étude des différentes approches permet les constats suivants :

- Approche semi-quantitative : elles sont caractérisées par des pondérations bien définies de même niveau rendant simple l'évaluation du poids de chacun des facteurs. Elles aboutissent à un résultat de probabilités hiérarchisées, dissocié de valeur de probabilités physiques de rupture mais néanmoins représentative d'une probabilité d'apparition relative d'une défaillance chez un groupe industriel voire une industrie de même procédé. Ces approches ne permettent pas à elles seules de déterminer une limite de risque acceptable au sens d'une fréquence d'apparition d'une conséquence.
- Approche quantitative : des approches très poussées quantifiables (propagation d'incertitudes, valeur statistiques ...) qui tendent vers des probabilités physiques d'apparition et donc des fréquences de la défaillance. Elles sont généralement spécifiques à chaque mode de dégradation et n'autorisent pas d'évaluation simple des facteurs d'importance.

D'un point de vue scientifique, ce sont les approches les plus représentatives de la réalité. Elles peuvent être utilisées pour comparaison hiérarchique mais également pour déterminer l'influence des actions sur le risque de défaillance. Ces valeurs permettraient également de positionner la probabilité de défaillance dans un cadre industriel plus large et, associé à un calcul de conséquence quantitatif, de déterminer un risque acceptable. Cette approche rend possible une comparaison des méthodes pour des équipements strictement similaires.

Afin de répondre aux questions soulevées par l'administration, plusieurs points spécifiques ont été extraits des données de visites. L'analyse de ces éléments est donnée ci-dessous.

- Aspect endommagement

L'endommagement d'un équipement est exprimé selon des facteurs dommage et état. Ils présentent, comme indiqué en annexe A, une méthode de détermination assez variable en complexité. Selon les méthodes ils peuvent représenter des facteurs individuels de détermination de la probabilité de défaillance, ou être une probabilité de défaillance qui sera pondérée par l'ensemble des sous facteurs.

Ceci peut s'expliquer par le nombre d'équipements du site qui implique une discrétisation plus ou moins importante de la probabilité de défaillance, afin d'avoir in fine une hiérarchisation des équipements critiques permettant de prioriser les actions d'inspection à mener.

- Connaissance de la conception

Le facteur Fabrication peut, dans certaines méthodes, ne pas être considéré. Cela est justifié par le REX groupe très important et le fait que tous les équipements sont construits selon les standards du groupe.

Lorsqu'il est pris en compte, la connaissance de la fabrication et de la maintenance d'un équipement est fondamentale pour la bonne détermination des modes de dégradation d'un équipement. Un facteur de pondération peut être retenu lorsque cette connaissance n'est pas complète pour tous les équipements, mais il semble prioritaire de corriger cette mauvaise connaissance pour réduire l'influence de ce facteur. C'est la stratégie adoptée par l'ensemble des industriels rencontrés.

- Qualité de contrôle

La qualité des contrôles peut être intégrée soit dans le facteur inspection soit directement par le biais de l'évaluation de la probabilité de défaillance (incertitude du dommage).

Les contrôles mis en œuvre sont sélectionnés, pour l'ensemble des méthodes, en utilisant le DT75 (purement, ou complété par l'expertise de l'inspecteur et le REX pour affiner quand le DT75 laisse une marge d'appréciation – ou l'API 581, proche du DT75).

Globalement la pondération de ce facteur sera, pour l'ensemble des méthodes, basée sur la nature des contrôles sélectionnés sur la base du DT75, c'est-à-dire la pertinence du contrôle mis en œuvre pour un mode de dégradation donné. En ce sens les approches sont structurées et logiques.

La représentativité des contrôles (quantité, localisation) est parfois définie par l'expérience et la compétence de l'inspecteur SIR, ce qui est fondamental mais qui nécessite un degré élevé d'expertise des inspecteurs sur la méthode et l'inspection.

Pour les méthodes quantitatives, une pondération par un facteur plus ou moins complexe est intégrée pour caractériser l'incertitude de la mesure. C'est une approche cohérente avec une évaluation de probabilité.

- Intégration du procédé

Le facteur Procédé est plutôt standardisé dans sa caractérisation. Il peut ne pas être intégré dans le calcul de la probabilité de défaillance du fait de l'utilisation d'un procédé simple, stable, disposant de beaucoup de REX et considéré comme maîtrisé. Les paramètres pris en compte sont similaires entre les méthodes et logiques. Le procédé est déterminant dans la sélection des modes de dégradation et la caractérisation de l'endommagement.

- Intégration de l'aspect organisationnel

Dans les méthodes rencontrées, seules les méthodes quantitatives intègrent un facteur spécifique lié à l'organisation générale du site. Ce facteur tient compte de la probabilité qu'un dommage, menant potentiellement à une perte de confinement, sera détecté à temps. Il consiste en une évaluation du système de management de l'entreprise, sous la forme d'un questionnaire à points, venant pondérer la probabilité de défaillance. Cela a en effet de sens que lorsqu'une probabilité « réelle » est évaluée puisque dans le cas d'une hiérarchisation, c'est un facteur uniforme sans intérêt.

#### 4.5 DÉTERMINATION DE LA CATÉGORIE DE CONSÉQUENCE DE DÉFAILLANCE

Les points communs principaux à l'ensemble des méthodes pour la détermination de la catégorie de conséquence sont les suivants :

- Prise en compte du **fluide susceptible d'être libéré** ;
- Prise en compte des **caractéristiques de dangerosité du fluide** (toxicité, inflammabilité/explosivité...).

Au-delà de ces deux points, chaque méthode a ses spécificités. Sans traiter l'ensemble des spécificités de chaque méthode, l'étude des différentes approches permet les constats suivants.

- Les méthodes semi-quantitatives : elles sont très similaires dans leur construction et dans la détermination des facteurs intervenant dans la détermination de la catégorie de conséquences. Quelques variations peuvent apparaître, liées à l'adaptation de la méthode au procédé de l'industriel (différenciation de certains facteurs, poids attribué). Si les catégories obtenues ne permettent pas de quantifier la gravité, elles permettent cependant de hiérarchiser l'importance des conséquences.

- Les méthodes quantitatives : elles sont variables en fonction des industriels. Elles peuvent être basées sur des valeurs génériques (issues de calculs préalables), sur des formules génériques (type API) ou encore complétées par des modélisations fines. Les différentes approches peuvent également coexister sur certains sites. Ainsi, les valeurs intermédiaires des calculs de conséquence peuvent effectivement permettre une quantification des zones impactées, néanmoins, les pondérations réalisées par la suite (par probabilités, facteurs aggravants...) ne permettent plus cette estimation en valeur finale. Les catégories obtenues in fine permettent donc uniquement de hiérarchiser l'importance des conséquences, comme pour les méthodes semi-quantitatives, mais avec une discrétisation possiblement plus fine. Il est complexe de déterminer si les hiérarchisations seront identiques d'une méthode à une autre tant les approches et la prise en compte des facteurs diffèrent.

Dans l'ensemble, les résultats de calcul de gravité sont principalement dépendants des conditions de procédé et des fluides considérés. Certaines spécificités sont justifiées par un besoin de discrétiser des scénarios proches du fait d'un procédé peu variant.

Afin de répondre aux questions soulevées par l'administration, plusieurs points spécifiques ont été extraits des données de visites. L'analyse de ces éléments est donnée ci-dessous.

- La quantité de fluide

L'un des facteurs prépondérants sur le niveau de conséquence est la quantité de fluide relâché. Or, on retrouve des approches variables selon le type de méthode. En particulier, la quantité retenue ne semble pas toujours justifiée lorsqu'elle est égale à la capacité de l'équipement considéré. En effet, elle peut alors sous-estimer les conséquences dans le cas d'une rupture brutale, du fait de l'interconnexion non isolée avec d'autres équipements.

- La toxicité

La prise en compte de la toxicité se fait de façon variable d'une méthode à l'autre, selon le niveau de détail de la méthode. Elle peut faire l'objet de scénarios de fuite dédiés, ou être prise en compte qualitativement par le biais des mentions de dangers des substances concernées.

- La probabilité d'ignition

Une pondération par la probabilité d'ignition est intégrée dans certaines méthodes. Cette intégration est faite de façon très variable par des approches complexes (par exemple, par statistique et par zone) ou des approches simples (par exemple, basée sur les caractéristiques du fluide uniquement). Sans être un facteur prépondérant, cette différence peut entraîner des disparités sur le niveau de conséquence.

- L'impact sur les personnes

Concernant la prise en compte de l'impact sur les personnes, les approches sont également très variables :

- Prise en compte uniquement du personnel, par le biais d'un taux de présence ;
- Prise en compte du personnel et de la population ;
- Estimation indirecte par le biais de la quantité de substance libérable et de sa dangerosité, c'est-à-dire avec une répartition uniforme des personnes sur site ;
- Introduite par le biais d'un facteur aggravant du calcul de conséquences par zone.

Ces différentes approches peuvent entraîner des disparités notables entre les sites pour un phénomène donné.

- L'impact environnemental

Seul un tiers des méthodes intègre directement l'impact environnemental dans la détermination de la catégorie de conséquences. L'accent est mis sur l'impact du personnel, donnant ainsi rapidement une gravité forte.

- La prise en compte des scénarios de l'étude de dangers

L'utilisation des données de l'étude de dangers est quasiment exclue des méthodes. En effet l'étude de dangers se concentre sur les scénarios d'accident majeurs, ayant des conséquences au-delà des limites de l'établissement, quand les conséquences d'une défaillance de la plupart des équipements suivis par le SIR sont bien souvent limitées à l'intérieur du site. Cependant pour certaines méthodes, en interaction avec les services HSE, les conséquences des défaillances des équipements à fort potentiel (inventaire important, conditions opératoires élevées, etc...) sont comparées avec les scénarios de l'étude de dangers afin de s'assurer d'une cohérence des ordres de grandeurs obtenus.

#### **4.6 DÉTERMINATION DE LA CRITICITÉ ET DES SEUILS**

Les approches diffèrent dans l'évaluation des conséquences et des probabilités mais elles sont toutes ramenées à des classes de probabilité-conséquence ensuite positionnées dans une matrice.

Cette représentation par matrice est adaptée à une approche semi-quantitative, même si de fait, elle masque une partie de la hiérarchisation dans ces catégories.

Pour les méthodes quantitatives, le retour à une matrice est une limite à la méthode qui est imposée par la conformité au DT84. Cette représentation est incohérente avec l'objectif même de ces méthodes qui est d'avoir une évaluation dans le temps de l'évolution de la criticité. La matrice donne donc dans ce cas une photo ponctuelle des criticités avec un tracé des limites acceptables ou des projections à des temps prédéfinis.

Le nombre de seuils de criticité, s'il est similaire pour tous, n'est par ailleurs pas toujours représentatif du nombre de traitement puisque parfois plusieurs seuils ont le même traitement. Les approches semi-quantitatives sont limitées en termes de variation des actions du fait de ne pas avoir d'autre moyen de discrétisation que la matrice.

## 4.7 DÉTERMINATION D'UN PLAN D'INSPECTION

Les stratégies d'exploitation de la criticité sont variables et dépendent fortement du niveau de détail de mise en œuvre de la méthode et de la stratégie de l'industriel.

Pour les méthodes les plus qualitatives, la criticité engendre directement une série d'actions d'inspection (quantité et qualité) prédéfinie. Ces actions, si elles sont réalisées, ne modifient pas directement l'évaluation de la criticité. Par contre, les résultats produits par l'inspection peuvent amener à modifier la probabilité de défaillance et donc la criticité (état dégradé, accélération de l'endommagement etc...).

Pour les méthodes plus quantitatives, intégrant un lien direct entre inspection et criticité, des actions d'inspection par équipement et mode de dégradation sont définies avec pour objectif :

- Soit de maintenir la criticité acceptable à horizon fixe (« X ans ») d'exploitation (définition des dates d'intervention, correspondant aux périodes déterminées de changement de catégorie de probabilité de défaillance) ;
- Soit de diminuer la criticité en valorisant la qualité et la quantité de contrôles effectués et la connaissance de l'état réel de l'équipement, qui influent sur la réévaluation de la probabilité de défaillance.

Les deux grands axes d'exploitation, selon le type de méthode, sont :

- Priorisation simple et contrôles « systématiques » ;
- Optimisation élevée des contrôles et des coûts.

Ces deux axes se justifient par la grande différence existant entre les sites. Le besoin d'optimiser les contrôles est en effet beaucoup moindre sur un site à procédé stable, avec peu d'incertitude et avec des arrêts réguliers en comparaison avec des procédés pouvant varier sur des sites à fortes incertitudes et forts enjeux d'arrêt.

D'une manière générale, pour l'ensemble des méthodes, l'exploitation de criticité par équipement et mode de dégradation permet d'augmenter la pertinence des périodes d'inspections et de réduire les contrôles non pertinents. L'influence de la criticité sur l'échantillonnage et la qualité des CND mis en œuvre constituent des exploitations complémentaires a priori bénéfiques puisqu'elles concentrent les actions sur les points les plus critiques de chaque équipement.

- La périodicité

Les différentes approches de détermination des périodes d'inspection identifiées sont les suivantes :

- La criticité détermine une période d'inspection fixe, quel que soit le mode de dégradation. Les périodes sont choisies par rapport aux délais entre les arrêts et entre les IP/RP. Dans ce cas, le type d'inspection est généralement prédéterminé à un niveau suffisant pour s'assurer que la dégradation n'évolue pas plus vite que prévu ;
- La criticité détermine un facteur de sécurité, pondéré par un facteur de confiance, traduisant la confiance accordée dans les inspections, qui est appliqué à la durée de vie pour déterminer la prochaine période maximum d'inspection. Cette date est ensuite optimisée avec les dates réglementaires d'inspection et/ou les arrêts ;

- Selon le positionnement et la qualité de la future inspection on peut obtenir différentes criticités avec une projection dans le temps. Le plan d'inspection est défini par optimisation entre les contrôles mis en œuvre et la criticité obtenue à une date donnée, généralement cohérente avec des arrêts de l'installation.

L'approche de périodes maximales est associée à un niveau d'acceptabilité faible de dégradation observée à chaque contrôle puisqu'il n'y a pas de modulation directe de la période par la durée de vie des équipements. Ainsi, des dégradations inattendues sont alors généralement traitées hors RBI, par maintenance ou suivi spécifique (experts externes).

Les approches de modulation des périodes en fonction de la durée de vie par facteur de sécurité sont adaptées pour traiter des dégradations temporelles, néanmoins elles ne sont pas adaptées aux dégradations rapides sans cinétique maîtrisés qui sont généralement traités en amont par suivi des COCL ou conception.

Enfin l'approche quantitative donnant des probabilités de défaillance dans le temps permet des périodes d'inspections affinées y compris pour les modes de dégradation non temporels (définis par probabilité d'apparition).

- Les contrôles

En ce qui concerne la modulation des contrôles en fonction de la criticité, sa mise en œuvre nécessite une forte expertise de chaque équipement et mode de dégradation. On notera que cette modulation est très variable puisqu'elle peut concerner le type de CND, la localisation des CND, le pourcentage de points contrôlés sur un équipement ou encore l'échantillonnage réalisé entre différents équipements similaires.

Ainsi, des différences notables peuvent certainement apparaître dans le contenu des contrôles, chacun ayant une pratique experte de l'inspection dédiée à un mode de dégradation qu'il adapte en fonction de la criticité calculée. Cela peut expliquer d'avoir par exemple sur un équipement, une fréquence plus faible de contrôle mais avec un contenu plus qualitatif par rapport à un contrôle plus régulier et moins poussé.

Pour l'INERIS, le principe d'augmentation de la qualité et nombre de points de contrôle avec la criticité est bénéfique, d'autant plus que l'approche constitue un cadre technique basé sur une analyse de risque pour les choix réalisés par les inspecteurs. Néanmoins, il est très complexe de déterminer dans quelle mesure la probabilité de défaillance est affectée par cette modulation et si cela est justifié ou non. Les approches probabilistes, (par exemple : bayésienne, par apprentissage...) semblent pertinentes mais elles nécessitent un haut niveau d'expertise et une analyse conséquente du REX des inspections et de l'évolution de la dégradation.

#### **4.8 EVALUATION DE L'ENDOMMAGEMENT**

Lorsque les périodes d'inspections sont fixées, une limite complémentaire à cette période est la durée de vie calculée sur les données des dernières inspections ou sur la base d'une cinétique de dégradation théorique. Les périodes, lorsqu'elles ne sont pas prédéfinies, peuvent être déterminées en fonction de la durée de vie résiduelle d'un équipement et sa criticité.

De manière générale, une nouvelle estimation de la durée de vie résiduelle ou de la cinétique de dégradation est réalisée après chaque inspection d'un équipement. Les résultats issus de l'inspection sont analysés, et une mise à jour du plan d'inspection est réalisée. Cette réévaluation de l'endommagement post-inspection entraîne une mise à jour de la probabilité de défaillance de l'équipement, et potentiellement une modification (à la hausse ou à la baisse) de la criticité résultante. Le cas échéant, cela aura un impact sur la périodicité de la prochaine inspection. Pour les méthodes quantitatives, le calcul de criticité est évalué à horizon de plusieurs arrêts, en considérant différents scénarios possibles d'inspection.

Ainsi l'évaluation réalisée à l'issue d'une inspection peut intervenir sur la date de la prochaine inspection :

- Par approche directe et évaluation d'une période basée sur une durée de vie et un facteur de confiance issu du niveau de criticité ;
- Par approche inverse et intégration de la durée de vie dans la probabilité de défaillance évaluée pour une période future, et vérification du niveau de criticité dans le temps. Dans ce cas la date d'inspection est choisie pour ne pas dépasser un seuil donné de criticité.

Au-delà de la date de la prochaine inspection, l'endommagement peut intervenir de plusieurs façons dans l'évaluation des risques :

- Directement par un calcul de durée de vie réalisé avec les résultats de la dernière inspection, qui influence le facteur dommage et donc la probabilité de défaillance ;
- Par le biais d'une mise à jour, après chaque inspection, des vitesses de dégradation réelles qui impactent le facteur dommage et donc la probabilité de défaillance (hausse ou baisse en fonction des résultats de l'inspection) ;
- Par le biais d'un facteur de confiance accordé aux inspections en fonction des vitesses de dégradation attendues et observées pour les différents modes de dégradation. Cela peut être réalisé par expertise et tabulé dans des guides ou par évaluation d'une probabilité de détection (inspection réalisée pour mesurer l'épaisseur à un état donné), et une probabilité d'occurrence de cet état (probabilité que l'épaisseur mesurée corresponde bien à l'épaisseur réelle).

Il est important de rappeler que lorsque les durées de vie résiduelles ne sont pas applicables (fissurations etc...), il peut y avoir une pondération pour pénaliser le calcul de probabilité de défaillance final associé à des périodes fixes d'inspection en fonction du niveau de criticité, ou alors ces problématiques sont traitées hors méthodologie RBI.

## **5 SYNTHÈSE ET ANALYSE SUR LES MÉTHODES RBI**

Dans ce chapitre, l'INERIS présente tout d'abord une comparaison globale des méthodologies rencontrées puis les facteurs d'influence de chaque étape de la méthode sont discutés. Dans un second temps, l'INERIS présente les besoins minimums de la méthode identifiés d'après les échanges avec les SIR, les bonnes pratiques rencontrées et quelques pistes d'évolution possible du cadre méthodologique actuel.

### **5.1 LES DIFFÉRENTES APPROCHES DE MÉTHODE RBI – COMPARAISONS**

Il existe probablement autant de méthodes RBI que de groupes industriels, néanmoins au travers des analyses présentées précédemment, les différentes approches méthodologiques peuvent être catégorisées, par exemple selon le niveau de quantification dans la méthode.

<p>Secteur Raffinage Secteur Chimie et stockage souterrain Secteur Énergie</p>	<p><u>Qualitative :</u> Hiérarchisation simple des risques et actions standardisées</p>	<p><u>Semi-quantitative :</u> Hiérarchisation simple des risques et modulation standardisée des actions</p>	<p><u>Quantitative :</u> Hiérarchisation détaillée et quantitative des risques permettant une optimisation complète possible des actions</p>
<p>Stratégie associée</p>	<p>Stratégie basée sur des fréquences fixes d'inspection et des standardisations fortes des contrôles</p>	<p>Stratégie basée sur des fréquences fixes d'inspection avec modulation de la qualité des inspections</p>	<p>Stratégie basée sur des fréquences dépendantes de la durée de vie ou durée avant apparition de la dégradation avec modulation forte de la qualité des inspections</p>
<p>Évaluation des modes de dégradation</p>	<p>Standardisation très détaillée des modes de dégradation issu d'un REX approfondi et d'expertise Pas nécessairement de calcul explicite de la durée de vie Importance fondamentale du jugement d'expert au départ de la méthode</p>	<p>Standardisation très détaillée des modes de dégradation issu d'un REX approfondi et d'expertise Approche pouvant être statistique de la dégradation Calcul explicite de la durée de vie sur la base de modèles simples</p>	<p>Standardisation des modes de dégradation et association à des modèles physique de calcul de durée de vie ou des modèles probabiliste d'apparition issus d'un REX approfondi et d'expertise Calcul explicite de la probabilité de défaillance lié à une dégradation en fonction du temps</p>
<p>Évaluation des probabilités et conséquences</p>	<p>Modes de défaillances identifiées par expertise Évaluation des probabilités basées sur le niveau d'endommagement observé et « l'âge » (au sens large) Évaluation des conséquences basées sur des indicateurs standardisés</p>	<p>Identification des modes de défaillance sur la base de standards et du retour d'expérience Évaluation des probabilités (potentiellement indépendamment de l'état physique de l'équipement) pouvant être qualitative ou quantitative Évaluation quantitative des conséquences possibles mais plus généralement standardisée</p>	<p>Calcul de probabilité de défaillance basée sur des modèles de comportement mécanique et la propagation des incertitudes avec une quantification des incertitudes d'état et d'inspection Mode de défaillance (type de fuite) identifiés par expertise, standards, retour d'expérience associé à des modèles physiques de calcul de conséquences</p>
<p>Traitement de la criticité</p>	<p>Pas d'analyse de risque Critères qualitatifs pour déterminer la nécessité de mesures de surveillance complémentaires</p>	<p>Analyse de risque basée sur des matrices Actions prédéterminées (fréquence et contenu) par niveau de criticité, pas de niveau de criticité réduit par les actions</p>	<p>Analyse de risque quantitative Niveau d'acceptabilité quantitatif dépendant notamment de l'état physique et du niveau d'inspection entraînant la nécessité d'actions pour amener la criticité à un niveau acceptable.</p>
<p>Application</p>	<p>Standardisation forte des analyses d'inspection : classement en comportement normal / comportement anormal Modulation des fréquences d'inspection sans lien direct avec la durée de vie Recours régulier à l'expertise pour les situations déviantes n'ayant pas de REX</p>	<p>Priorisation et optimisation de l'inspection/maintenance en mettant l'effort sur les équipements les plus critiques Modulation des fréquences d'inspection pouvant être en lien direct avec la durée de vie Évaluation complète des coûts généralement non réalisée (parfois coûts informatifs pour les conséquences) Recours ponctuel à l'expertise pour les situations déviantes n'ayant pas de REX</p>	<p>Méthode et fréquence d'inspection variable en fonction du risque associé à l'équipement et de sa durée de vie Optimisation des plans d'inspection et de maintenance basée sur le risque et les coûts Recours plus rare à l'expertise pour les situations déviantes n'ayant pas de REX</p>

### Les méthodes semi-quantitatives :

Une évaluation empirique de la probabilité de défaillance et des conséquences permet de classer l'équipement dans la matrice de criticité (ces évaluations sont propres à des systèmes et des conditions bien spécifiques). Elle a l'avantage d'avoir une formulation codifiée, permettant son application sans prérequis important et sans modélisation préalable du système étudié. L'approche semi-quantitative décrit de façon globale la procédure à suivre pour la gestion des risques. La matrice de criticité est employée avec des interprétations plutôt qualitatives des différents niveaux de probabilité et de conséquences.

Alors que la méthode est assez bien cadrée pour le calcul des probabilités et des conséquences, elle demeure souvent limitée par l'absence de modèle quantitatif. Elle est donc réservée aux éléments critiques peu dégradés et ne permet pas une optimisation complète des coûts de l'inspection. Elle va donc de pair avec des politiques de maîtrise du procédé, d'inspection et de maintenance plus strictes, entraînant une surveillance accrue du procédé, une standardisation des inspections avec un fort échantillonnage et un renouvellement plus fréquent des équipements.

**La limite majeure de ces méthodes est l'absence d'évaluation d'une probabilité physique ou statistique rendant obligatoire la détermination des périodes d'inspection basées sur des valeurs prédéfinies. Ces périodes sont aujourd'hui cadrées par les périodes réglementaires.**

Ces méthodes sont donc adaptées aux industries ayant des procédés stables, un nombre limité d'équipements, une bonne maîtrise des incertitudes et une flexibilité des arrêts. Elles nécessitent un cadre d'application quant aux périodes d'inspection maximales.

**L'intérêt majeur de ces méthodes est la priorisation des actions d'inspection avec une relative simplicité d'application et la clarté de communication sous forme de hiérarchisation des risques.**

### Les méthodes quantitatives :

Dans ces méthodes, les conséquences et la probabilité de défaillance sont obtenues par des approches physiques ou statistiques. Les incertitudes liées aux phénomènes de dégradation et la fiabilité des inspections sont prises en compte pour l'évaluation du risque, pour le calcul de la durée de vie résiduelle et pour la planification des interventions. Ces méthodes sont semi-probabilistes et nécessitent l'existence d'une base de données importante sur les taux de défaillances et la connaissance des paramètres d'environnement pouvant influencer l'évolution de l'état des équipements. La qualité des données et l'effort d'évaluation sont des paramètres déterminants dans l'application pratique de cette méthode.

La formulation du risque dans le temps, associée à l'évaluation du coût des conséquences et des actions de suivi/maintenance, permet l'optimisation du plan d'inspection et de maintenance, sous des contraintes de budget et de risque acceptable. Elles permettent une discrétisation optimale des priorités et favorisent la décision. A ce jour, l'optimisation de ces méthodes est tronquée par les périodes réglementaires fixes d'inspection.

**La limite majeure de ces méthodes correspond à la capacité de l'industriel à définir une probabilité de défaillance représentative de la réalité intégrant l'ensemble des facteurs influents. Cela nécessite une expertise multidisciplinaire forte, un traitement statistique de REX conséquent et des modèles mécaniques fiables.**

Plusieurs méthodes existent et semblent pertinentes, mais il est actuellement très complexe d'évaluer la fiabilité de chacune d'entre elles.

Ces méthodes sont adaptées aux industries ayant des procédés complexes, un nombre d'équipements similaires important et un besoin d'optimisation important des arrêts.

**L'intérêt majeur de ces méthodes est l'optimisation des coûts d'inspection et de maintenance basée sur l'acceptabilité, voire la minimisation des risques.**

## **5.2 JUSTIFICATION DES TYPES DE MÉTHODOLOGIES**

Le choix du type de méthode est justifié par :

- **Le REX disponible et l'expertise du groupe** : cela est déterminant pour la standardisation des approches, notamment la connaissance des modes de dégradation, la maîtrise des incertitudes sur l'état et les résultats d'inspection. Par ailleurs, plus le groupe possède de l'ancienneté dans la méthode plus il peut être amené à mettre en œuvre une méthode quantitative à partir des données du REX ;
- **Le nombre d'équipements, la complexité et multiplicité des procédés** : plus les équipements sont nombreux et le procédé complexe, plus la maîtrise des incertitudes est complexe et plus la hiérarchisation fine et la modulation détaillée des actions est nécessaire. La méthode quantitative est donc logiquement privilégiée pour les industries ayant le plus d'équipements et le plus de procédés différents ;
- **La politique d'arrêt** : plus les contraintes sont fortes sur les arrêts, plus la méthode quantitative est privilégiée afin d'ajuster au mieux les périodes d'inspection, de valoriser les contrôles en marche et réduire au maximum les périodes d'arrêt ;
- **La politique économique du groupe** : la politique économique du groupe est particulièrement influente sur le choix des actions, notamment entre remplacement systématique, maintenance corrective et inspection renforcée. Plus les enjeux économiques sont forts, plus le choix d'une méthode quantitative est privilégié pour sa meilleure discrétisation des résultats et la possibilité de réaliser des optimisations.

Les éléments ayant la plus forte influence sur le choix de méthode sont donnés ci-dessous :

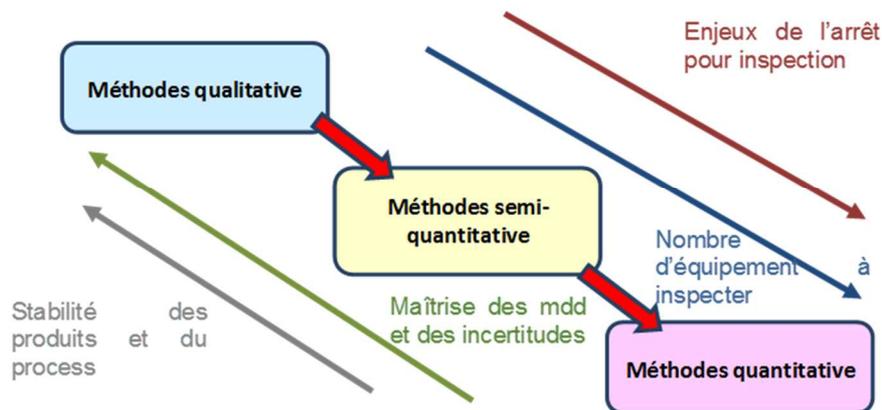


Figure 2 : Principe de choix de niveau de méthode en fonction des principaux facteurs

Le tableau suivant récapitule les constats réalisés lors des visites pour chaque type de méthode et chaque étape (détaillés dans les analyses du chapitre précédent).

Pour illustration, le niveau de quantification de la méthode RBI des secteurs d'activité rencontrés peut être justifié de la manière suivante :

Secteur d'activité	Exploitation du REX	Equipements / Procédé	Stratégie d'arrêt	Type de méthode RBI mis en œuvre
Raffinage	Très important	Equipements très nombreux / Procédés complexes et variés	Grand arrêt complet des installations	Tend vers le quantitatif
Chimie	Important par secteur	Equipements nombreux / Procédés stables	Possibilité d'arrêts partiels	Semi-quantitatif
Stockage et énergie	Important	Equipements nombreux / Procédé simple	Arrêt plus flexibles	Semi-quantitatif

Tableau 1 : Justification du niveau de quantification des méthodes RBI par secteur d'activité

**En somme, les niveaux de méthodes utilisés dans les différents secteurs semblent adaptés aux besoins et enjeux des différents secteurs d'activité.**

### 5.3 FACTEURS D'INFLUENCE

L'objectif de ce paragraphe est de faire ressortir les facteurs d'influence majeurs et communs à l'ensemble des méthodes de la détermination de la criticité des équipements suivis par la méthode RBI rencontrées, sous l'angle de trois parties clés du déroulement de la méthode :

- Sélection des modes de dégradation ;
- Détermination de la catégorie de probabilité de défaillance ;
- Détermination de la catégorie de conséquences.

La détermination de ces facteurs d'influence a été faite par rapport à la notation attribuée dans les analyses semi-quantitative rencontrées et au retour d'expérience des inspecteurs SIR pour les méthodes quantitatives. En effet, dans ces méthodes, il n'est pas possible de déterminer simplement les facteurs d'influence de par la complexité des approches.

Une comparaison des différents facteurs des méthodes semi-quantitatives est fournie à titre indicatif, tant pour la détermination de la catégorie de probabilité de défaillance que pour la détermination de la catégorie de conséquences. Cette comparaison n'est en revanche pas possible pour les méthodes quantitatives, notamment de par la complexité des méthodes mises en œuvre.

### 5.3.1 SÉLECTION DES MODES DE DÉGRADATION

Les caractéristiques principales considérées sont :

- Matériau,
- Fluide,
- Température,
- Impuretés,
- Conditions externes,
- Revêtement externe.

Les approches retenues dans cette étape et les facteurs d'importance évoqués par l'ensemble des industriels sont cohérents.

### 5.3.2 DÉTERMINATION DE LA CATÉGORIE DE PROBABILITÉ DE DÉFAILLANCE

Les facteurs d'influence principaux de la détermination de la catégorie de probabilité de défaillance sont :

- La sélection des modes de dégradation, incluant les fluides véhiculés et les conditions procédé ;
- La connaissance de l'état de l'équipement via l'historique des inspections précédentes ;
- La qualité de l'inspection.

Illustration du poids des facteurs attribués (informatif) pour 3 méthodes semi-quantitatives rencontrées :

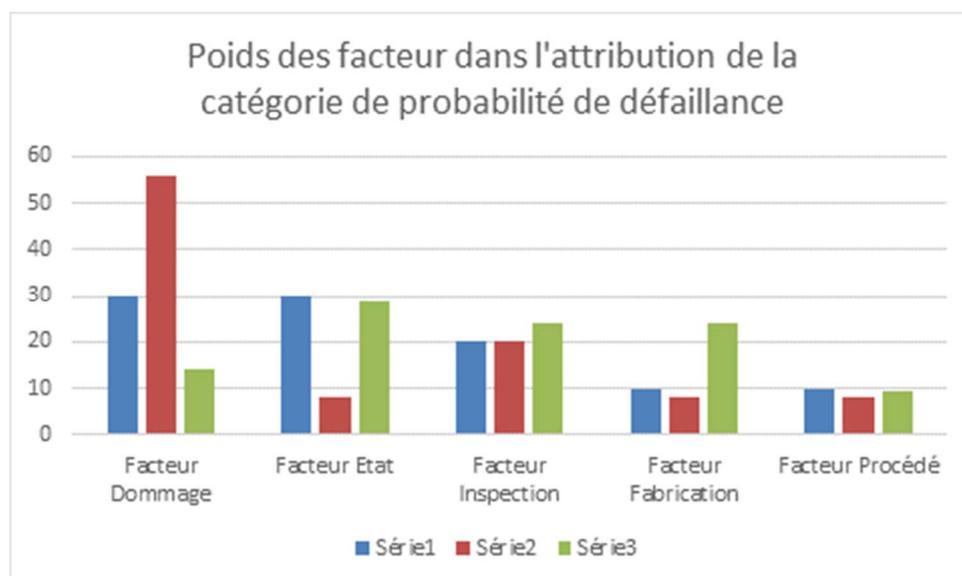


Figure 3 : Illustration du poids des facteurs dans l'attribution de la catégorie de probabilité de défaillance pour les méthodes semi-quantitatives

La série 2 présente un écart expliqué par le fait que le facteur dommage inclut la connaissance de l'équipement, c'est-à-dire le REX qui lui est associé en termes d'inspections précédentes. On peut remarquer que pour les 3 séries, la combinaison des facteurs dommage et état sont du même ordre de grandeur.

In fine l'importance des facteurs pris en compte semble similaire pour les méthodes semi-quantitatives évaluées. Pour les méthodes quantitatives, les poids respectifs n'ont pas été déterminés.

### 5.3.3 DÉTERMINATION DE LA CATÉGORIE DE CONSÉQUENCES

Les facteurs qui entrent en jeu dans la détermination de la catégorie de conséquence de défaillance sont principalement :

- Les conditions opératoires,
- La phase du fluide,
- Les caractéristiques physico-chimiques du fluide,
- La quantité de fluide.

Les facteurs venant pondérer le calcul de conséquences sont :

- La probabilité d'ignition (pour les méthodes quantitatives),
- Le taux d'occupation/présence de personnes.

Illustration du poids des facteurs attribués (informatif) pour 3 méthodes semi-quantitatives rencontrées :

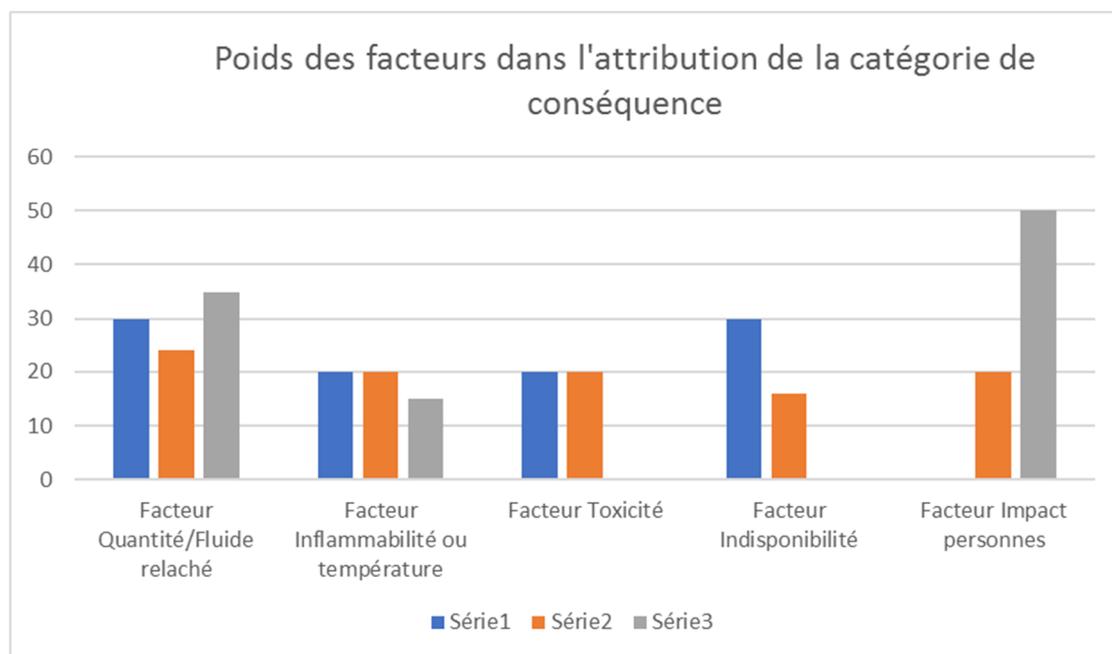


Figure 4 : Illustration du poids des facteurs dans l'attribution de la catégorie de conséquences pour les méthodes semi-quantitatives

Pour la série 1, le facteur d'impact des personnes est considéré inclus dans la quantité de fluide relâché (présence considérée uniforme sur le site), on retrouve alors des facteurs d'importance similaire entre 1 et 2 à cela près que l'indisponibilité est plus importante pour la série 1. Pour la série 3, l'indisponibilité est ignorée et l'accent est porté sur la présence de personnel. L'absence de facteur toxique s'explique par la nature des produits mis en œuvre.

In fine l'importance des facteurs pris en compte semble moins uniforme pour les conséquences que pour les probabilités. Cela s'explique principalement par le poids attribué à l'indisponibilité et aux conséquences humaines.

### **5.3.4 SYNTHÈSE**

Dans tous les cas, au-delà de l'expertise et du REX nécessaire à la mise en œuvre d'une méthodologie, les paramètres clés d'application des méthodes sont principalement les conditions de procédé, le matériau de l'équipement, la quantité de fluide considéré pour les conséquences et la présence des personnes.

### **5.4 BESOINS MINIMUMS DE MISE EN ŒUVRE**

Les critères minimaux à prendre en compte pour la mise en œuvre d'une méthode RBI sont les suivants :

- Une organisation structurée du management du suivi des équipements (information au SIR des dépassements de COCL, travaux, maintenance...);
- Un besoin évident de personnel qualifié multidisciplinaire pour collecter et analyser les nombreuses données. Ce personnel doit combiner une bonne connaissance du fonctionnement de l'équipement, des méthodes d'analyse de risque et des méthodes de mitigation (inspection, maintenance, limites des conditions opératoires...);
- Des données de retour d'expérience de qualité et une expertise des modes de dégradation et de leur caractérisation ;
- Des guides de référence par secteur d'activité et par équipement pour :
  - La sélection des modes de dégradation,
  - L'application de l'analyse de risque,
  - La sélection et la localisation des contrôles,
  - La périodicité des contrôles (méthodes semi-quantitatives).
- Des critères d'acceptabilité quantitatifs des défauts ou de la cinétique de dégradation ;
- Un processus de révision du REX, des modes de dégradation et de la méthode.

Ces besoins semblent remplis par les Services d'Inspection Reconnus rencontrés lors des visites.

### **5.5 BONNES PRATIQUES DE LA MÉTHODE**

Les bonnes pratiques de mise en œuvre des méthodes RBI rencontrées sont synthétisées ci-dessous :

- La possibilité d'utiliser des approches semi-quantitatives ou quantitatives en fonction du contexte, du procédé et des objectifs ;
- La sélection des modes de dégradation, étape primordiale, est réalisée de façon cohérente et par la même approche : utilisation du REX, de l'expertise et intégration des spécificités de procédé et de fluides ;
- Les modes de dégradation non avérés sont suivis de la même façon que les autres avec une modulation des probabilités de défaillance et mise en place de COCL permettant de détecter leur apparition ;
- Réalisation de guides internes synthétisant les modes de dégradation, les zones sensibles et les méthodes de contrôles à mettre en œuvre ;
- Détermination de la probabilité de défaillance réalisée par équipement et par mode de dégradation ;
- Une évaluation de la probabilité et de la conséquence des scénarios permettant une connaissance de la criticité des équipements et des éléments d'aide à la décision ;

- Pas ou peu de besoin de modélisation fine des systèmes ;
- La sélection des contrôles d'inspection à mettre en œuvre est issue d'un guide commun pour l'ensemble des méthodes et de guides internes basés sur le REX ;
- L'intégration des résultats d'inspection dans l'évaluation du risque permet une optimisation des choix de qualité et de fréquence d'inspection en fonction du risque ;
- La méthode permet de concentrer les efforts d'inspection sur les éléments les plus à risque ;
- L'évaluation de probabilité et de conséquence d'une défaillance permet une bonne communication autour des méthodes ;
- Analyse de la criticité réalisée par équipement et par mode de dégradation ;
- Influence de la criticité sur l'échantillonnage d'un équipement et la fréquence des contrôles.

## 5.6 PISTES D'ÉVOLUTION DU CADRE MÉTHODOLOGIQUE

Au cours de l'analyse des données du benchmark et au regard des guides méthodologiques existants, quelques pistes d'évolution pouvant s'appliquer au cadre des méthodes ont été identifiées. Elles sont présentées ci-dessous :

- Un élément fondamental de la méthode est la sélection des modes de dégradation. Dans l'ensemble, les approches rencontrées semblent pertinentes et la formalisation des connaissances dans des guides internes de dégradation est un gage de fiabilité pour la méthode. **Il pourrait être bénéfique pour la sécurité qu'un guide commun sur les dégradations soit proposé par les industriels.** Par ailleurs, les périodes de révision rencontrées pour les guides internes sont relativement variables et pourraient être définies plus explicitement.
- L'évaluation des probabilités de défaillance des différentes méthodes reste très disparate et cela est justifiable par les différences industrielles évoquées précédemment. Il semble peu pertinent de fixer un cadre plus strict pour l'évaluation des probabilités tant les approches sont variables entre les secteurs. Le guide DT84 tel qu'il existe semble notamment pertinent **pour les méthodes semi-quantitatives** puisqu'il donne un cadre à l'évaluation de risques hiérarchisés. Pour celles-ci, **des évaluations croisées de hiérarchisation des paramètres par secteur seraient intéressantes.** **Concernant les méthodes quantitatives,** l'approche de cadrage méthodologique ne peut être réalisée que par secteur et au prix d'une mutualisation conséquente des REX comme cela est par exemple le cas avec les API580/581. Dans l'état actuel des méthodologies, il semble complexe de développer une méthodologie commune aux différentes industries, ainsi il pourrait être pertinent de **développer une procédure d'évaluation de la pertinence des probabilités de défaillance calculées par des méthodes de ce type.**

- L'évaluation des conséquences des différentes méthodes reste très disparate et cela est justifiable par les différences industrielles évoquées précédemment. Pour les méthodes semi-quantitatives, l'approche proposée par le DT84 semble pertinente dans une optique de hiérarchisation des risques. **Il pourrait néanmoins être intégré de façon plus homogène le risque environnemental. Pour les méthodes quantitatives, il pourrait être envisagé d'harmoniser en partie l'évaluation des conséquences humaines et environnementales.** Cette harmonisation pourrait être réalisée par une définition commune plus précise des méthodes d'évaluation des conséquences tout en conservant des échelles distinctes d'exploitation de ces conséquences d'un industriel à un autre. Cette amélioration permettrait notamment aux services de l'état d'avoir un cadre commun d'évaluation pouvant être utile dans une optique d'extension des limites réglementaires d'inspection au profit de niveau d'acceptabilité du risque.
- L'acceptabilité du risque ne peut être définie que pour des méthodes quantitatives et semblent incomparables d'un industriel à un autre à l'heure actuelle. **Le niveau d'acceptabilité du risque humain et environnemental devrait donc être déterminé en cohérence avec la réglementation** (i.e. : échelle de gravité européenne).
- En ce qui concerne les méthodes de contrôle, l'existence d'un guide commun de bonne pratique dans le choix des types de contrôle est bénéfique. Il est néanmoins limité à l'intérêt de chaque méthode pour détecter chaque dégradation. **Des guides d'aide au choix de l'étendue et de la localisation des zones représentatives pourraient être pertinents** (partage des pratiques et de l'expertise).
- Dans une optique de généralisation de ces méthodes, il devrait être envisagé de **définir des prérequis forts concernant les équipements neufs, de nouvelle conception ou matériaux.** En effet, la fiabilité de la méthode RBI est directement basée sur le REX existant en termes d'endommagement et d'inspection d'un équipement. Ainsi, un minimum de données devrait exister et des approches génériques conservatives de détermination des modes de dégradation, d'évaluation des risques et d'inspection devraient être bien définies pour l'intégration de ces équipements dans les méthodes existantes.

## 6 CONCLUSIONS

### 6.1 AVIS SUR LES MÉTHODES

Les méthodes basées sur le risque offrent un cadre cohérent pour l'élaboration de plan d'inspection des équipements. Il est toutefois important de rappeler que les objectifs ainsi que les résultats et leur exploitation doivent être cohérents avec le niveau d'approfondissement de la méthode. Ainsi, la stratégie d'inspection doit être adaptée au niveau d'approfondissement de la méthode et à la stratégie de maintenance du site, graduée entre les deux approches suivantes :

- Priorisation simple et contrôles « systématiques » ;
- Optimisation élevée des contrôles et des coûts.

Dans les deux cas, l'intérêt majeur des méthodes RBI est de focaliser les inspections sur les équipements et les zones les plus critiques. Il s'agit donc bien d'une méthode de priorisation des actions ne déterminant pas à elle seule un niveau de risque associé aux dégradations des installations. En particulier, le risque inhérent à la dégradation des équipements est également très dépendant de la connaissance des installations et des modes de dégradation, de la maîtrise du procédé, de la quantité et de la qualité des inspections, de l'interprétation des résultats de contrôle et de la qualité de la maintenance.

Quelle que soit la méthode, l'étape fondamentale du RBI est la sélection des modes de dégradation. La confiance dans cette étape est basée sur une exploitation exhaustive du retour d'expérience, l'expertise de l'industriel et la formalisation de cette expertise dans des documents adaptés à chaque site.

Egalement la maîtrise des conditions opératoires critiques limites est nécessaire afin de se prémunir de l'apparition de certains modes de dégradation non attendus en situation d'exploitation normale.

Pour l'évaluation des risques, les points d'attention divergent en fonction des approches.

#### Les méthodes semi-quantitatives :

La confiance pouvant être accordée aux méthodes semi-quantitative est basée sur la quantité et la qualité des actions de surveillance qui sont mises en œuvre. En effet les résultats de ces méthodes ne font pas intervenir de valeurs de risques réels mais une hiérarchisation des risques intégralement relative. Pour être efficaces, les méthodes doivent être couplées à une justification des périodes d'inspection et de leur contenu, cette justification provenant du retour d'expérience sur la dégradation, la défaillance et l'inspection des équipements.

### Les méthodes quantitatives :

La confiance pouvant être accordée aux méthodes quantitatives est principalement basée sur la confiance attribuée à l'analyse de risque et aux données utilisées. Qu'elles soient basées sur des valeurs déterministes, statistiques ou fiabilistes, les évaluations de la probabilité et de la conséquence déterminent le niveau de risque associé à un équipement en fonction de l'inspection réalisée. Pour être efficaces, les probabilités de défaillances doivent être représentatives de la fréquence d'occurrence d'une défaillance en intégrant l'endommagement physique, les conséquences doivent représenter au plus près les effets réels de la défaillance et un niveau de risque acceptable doit être clairement défini.

Ainsi une méthode semi-quantitative associée à une quantité d'inspection systématique et une faible acceptabilité de la dégradation peut amener à un risque résiduel comparable à une méthode quantitative fiabilisée avec un niveau d'acceptabilité du risque adapté et une quantité d'inspection optimisée. La comparaison du niveau de risque résiduel entre des sites pratiquant des méthodes aussi éloignées n'est pas possible.

## **6.2 PREMIERS ÉLÉMENTS EN CAS D'UN CHANGEMENT RÉGLEMENTAIRE DES IP/RP**

Cette étude étant réalisée dans le cadre d'évolutions réglementaires visant à terme à étendre les périodes d'inspection, l'INERIS prend le parti d'envisager l'impact d'un tel changement sur les méthodes utilisées actuellement.

### Méthodes semi quantitatives :

La plupart des méthodes ont été bâties en tenant compte des périodicités d'inspection maximales fixes (6 ans par exemple). Une augmentation de cette périodicité, voire une suppression complète, amènerait obligatoirement à une révision de la méthode dans la définition de la périodicité des actions de surveillance. Par ailleurs, ces méthodes sont souvent appliquées en considérant les IP/RP comme acquises et la méthode ne sert qu'à moduler les inspections complémentaires.

Chaque méthode nécessitera donc une adaptation et en particulier une quantification des périodes maximales possibles différentes de celles prévue aujourd'hui. En effet, l'évaluation du risque dans ces méthodes n'ayant pas de sens physique, il n'est pas possible de se baser sur un risque acceptable pour déterminer les périodes fixes.

### Méthodes Quantitatives :

Ces méthodes permettent déjà de déterminer des périodes d'inspection en fonction de leur contenu et d'un risque acceptable. Ainsi, une extension des limites pourra être rapidement intégré et la méthode pourra être appliquée intégralement. L'évaluation des risques devient alors prépondérante pour la détermination des périodes et la nécessité de critères communs de risques acceptables (aujourd'hui sous-jacent au travers des périodes limites entre IP/RP) semble alors fondamentale.

### **6.3 CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

L'étude réalisée par l'INERIS permet d'apporter un éclairage sur la variabilité des méthodes RBI de suivi des équipements sous pression. Après un traitement des données collectés lors des visites de SIR (§ 4), l'INERIS a proposé des éléments de comparaison des différentes méthodes (§ 5.1).

Les approches rencontrées fournissent un cadre pertinent au suivi des équipements et correspondent à la philosophie générale de méthodes basées sur le risque. Les méthodes présentent néanmoins des divergences notables d'approche qui se justifient principalement par la variabilité des industries dans lesquelles elles sont mises en œuvre (§ 5.2). Dans l'ensemble, les principaux facteurs d'influence se retrouvent d'une méthode à une autre (§ 5.3). Les besoins minimums de ces méthodes semblent garantis par l'organisation des SIR (§ 5.4) et plusieurs bonnes pratiques ont pu être mises en lumière (§ 5.5).

Dans un cadre réglementaire en évolution, notamment sur les périodes d'inspection réglementaires, il peut sembler nécessaire de mieux cadrer les méthodes de façon à en garantir une évaluation équitable sur le territoire par les services de l'Etat. Si une standardisation de ces méthodes dans leur intégralité ne semble pas pertinente, certaines évolutions du cadre applicatif des méthodes peuvent être envisagées (§ 5.6). Parmi ces évolutions, et en perspectives de l'approche réalisée dans cette étude, il pourrait être envisagé de travailler sur des cas concrets, prédéfinis et communs à différents sites avec un regard particulier sur la hiérarchisation des risques pour les méthodes semi-quantitatives et sur les niveaux de risque calculés par les méthodes quantitatives.



## 7 REFERENCES

IMDR	CHATEAUNEUF A., AOUES Y., FADDOU R. - Projet IMdR n°P10-2 : méthodes d'évaluation de la sûreté des structures vieillissantes – panorama et benchmarking” - IMdR - 2014 CHATEAUNEUF A., AOUES Y., FADDOU R. - IMdR project n°P10-2 “methods of assessment of the safety of the ageing structures – panorama and benchmarking” IMdR - 2014
API580	API 580 - Recommended Practice for Risk-Based Inspection-API -2009
API581	API 580 - Risk Based Inspection Resource - API - 2008
DT32	DT32 Guide pour l'établissement d'un plan d'inspection des appareils à pression Guide professionnelle Externe. UIC/UFIP
DT84	DT 84 Guide pour l'établissement d'un plan d'inspection permettant de définir la nature et les périodicités d'inspection périodiques et de requalifications périodiques pouvant être supérieures à cinq et dix ans. UIC/UFIP
DT75	UIC et UFIP – DT75 - Guide pour le choix des méthodes de contrôle des matériaux et équipements, Octobre 2011
ASME20	ASME CRTD-20-1, "Risk-Based Inspection - Development of Guidelines: Volume 1," General Document, 1991
IAEA	IAEA, : Ageing Management for Nuclear Power Plants', 'Safety Guide NS-G-2.12. 2009
HSE	Health & Safety Executive. Management of ageing. A framework for nuclear chemical facilities. TWI Limited, Research Report 912, 2012



## 8 LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe A	Synthèse des données de visite des SIR	5



**Annexe A**  
**Synthèse des données de visite des SIR**



## 1 Type de méthodes, organisation et outils rencontrés

De manière générale, les méthodes RBI mises en œuvre sur l'ensemble des sites ont pour objectif de moduler le nombre de contrôles complémentaires aux arrêts réglementaires.

On retrouve régulièrement la notion de stratégie générique correspondant à un suivi classique sur la base du REX et un suivi spécifique, lié à des dégradations étant apparues mais dont l'évolution est maîtrisable.

Systématiquement, chaque site a élaboré un guide « dégradation », un guide « méthode générale » et un guide « contrôle » (parfois regroupé avec le guide « dégradation »). Ces guides sont issus d'une réflexion avec implication de l'expertise au niveau du groupe, décliné ensuite localement sur chaque site.

De manière générale, une importance majeure est accordée au REX (le REX Groupe, fondamental, ainsi que le REX national commun (APITI), voire international).

### 1.1 TYPE DE MÉTHODE

Des différences d'approche existent, notamment liées aux spécificités du site (en termes de procédé, de nombre d'équipements suivis, de stratégie d'arrêt, etc...).

On retrouve 3 groupes de stratégie d'arrêt, intimement liés aux procédés mis en œuvre :

- Les grands arrêts tous les 6 ans, sans arrêt intermédiaire ou rare (raffinage) ;
- Les arrêts partiels ou complets réguliers lorsque le procédé le permet (chimie, énergie) ;
- Les arrêts sectorisés fréquents, lorsque le procédé n'est pas continu sur les unités (stockage souterrain).

Concernant la méthode, on retrouve une variabilité importante (même si le type de méthode est proche dans un même secteur d'activité), avec des méthodes basées sur des guides externes (API581) mais aussi des méthodes internes pures consolidées par des REX importants. Également, entre différents secteurs d'activité, on peut trouver des méthodes plus ou moins approfondies. Les méthodes mises en œuvre sont semi-quantitatives dans la chimie, l'énergie et le stockage souterrain et elles tendent vers du quantitatif dans l'industrie du raffinage.

Toutes les méthodes respectent les principes du DT84 qui donne un cadre global, sans développer la pratique de la méthode.

Certaines méthodes intègrent strictement chaque facteur proposé dans la méthode DT84 quand d'autres regroupent des paramètres et développent une approche spécifique.

Pour les exploitants rencontrés, il existe deux grandes approches pour mettre en place la méthode RBI :

- Pour certains, la méthode consiste à définir la périodicité des inspections spécifiques entre deux inspections réglementaires par hiérarchisation des risques entre les équipements (par mode de dégradation). Le niveau de contrôle à respecter est alors souvent prédéterminé par la méthode pour chaque mode de dégradation et équipement, en fonction du niveau de criticité. On retrouve cette stratégie pour toutes les méthodes semi-quantitatives.
- Pour d'autres, la méthode consiste à optimiser l'ensemble des contrôles de façon à ne jamais dépasser une valeur de risque acceptable durant l'exploitation en intégrant la qualité et la quantité des contrôles spécifiques et réglementaires qui seront réalisés selon le plan d'inspection. Ces approches stratégiques sont couplées avec des analyses fines des coûts associés aux inspections, à l'indisponibilité et à la maintenance. On retrouve cette approche pour les méthodes quantitatives.

## 1.2 ORGANISATION DES SIR

Dans l'organisation interne aux différents sites, les SIR disposent d'une autonomie forte.

En fonction de la taille des sites et des SIR, ils peuvent être rattachés aux directions des sites lorsqu'ils sont importants, ou à des directions centrales sinon (SIR échelon central).

Le SIR se positionne toujours comme prescripteur, puis si des décisions autres sont envisagées, elles sont discutées par la direction générale mais très rarement contre les avis du SIR.

Le fonctionnement du SIR est également variable en fonction de la taille des SIR et des sites : inspecteur multitâche sur les petit sites et inspecteurs dédiés (méthode, plan d'inspection, contrôle) sur les plus importants.

Globalement les effectifs internes des SIR sont assez variables en nombre d'inspecteurs, mais plutôt dans les mêmes ordres de grandeur en termes de nombre d'inspecteurs par équipements suivis (quelques centaines d'équipement par inspecteur en moyenne).

## 1.3 OUTILS UTILISÉS

Concernant les outils utilisés pour mettre en œuvre la méthode au sein d'un SIR, il apparait que chaque industriel rencontré fait développer en externe un outil basé sur sa méthode ou le développe en interne directement.

En pratique, le logiciel adapté est déployé une fois la méthode construite.

Cela est vrai pour l'ensemble des industriels, excepté un pour lequel un logiciel externe est en cours de déploiement. Il est néanmoins envisagé de l'adapter aux besoins du groupe voire de passer à terme à un logiciel propre.

## 2 La sélection des modes de dégradation

Les modes de dégradation sont variables en quantité et typologie selon les industries, en fonction des produits et des équipements (en particulier les aciers utilisés) rencontrés. On rencontre par exemple d'une vingtaine à plus d'une centaine de modes de dégradations répertoriés en fonction des sites.

Quelques grandes tendances sur les modes de dégradation considérés :

- Pour tous, des problématiques de corrosion externe et sous calorifuge, et dégradations métallurgiques (fatigue, rupture fragile) ;
- Beaucoup de corrosions internes généralisées dans le raffinage/pétrochimie ;
- Des problématiques courantes de fluage dans l'énergie ;
- Des problématiques de corrosion par impureté dans la chimie ;
- Des modes de dégradation très spécifiques par secteur d'activité (ex : corrosion sous contrainte dans le cas du NH<sub>3</sub>).

Les fluides traités sont très variables en termes de caractéristiques physico-chimiques et de nombre de fluides par site (gaz naturel, coupes pétrolières, chlore, soude, acide nitrique, ammoniac, vapeur, etc...). Le nombre de modes de dégradation est fortement lié à la variété de fluides présents, ce qui influe sur le niveau de détail de la déclinaison de la méthode mise en œuvre.

La sélection des modes de dégradation est le fruit de réflexions combinant la contribution de l'expertise des modes de dégradation (mécanismes d'apparition, de propagation, cinétiques associées, fenêtres opératoires conditionnant son apparition, etc...), le REX et l'analyse des fluides et des conditions opératoires spécifiques au site. En particulier, on rencontre toujours une première étape à la mise en place du RBI sur un site qui consiste à réaliser un manuel de la dégradation sur le site. Cela peut être réalisé par un expert sur une mission dédiée et/ou réalisé par les inspecteurs par le biais d'un ensemble de référentiels.

On retrouve de façon générale les éléments suivants comme source du choix des modes de dégradation retenus :

- Matériau ;
- Fluide ;
- Température ;
- Impuretés ;
- Conditions externes ;
- Revêtement interne et externe ;
- Historique et retour d'inspection.

La révision globale des modes de dégradation sélectionnés est réalisée au maximum tous les 6 ans.

Les dégradations dont la cinétique n'est pas prévisible (type fissuration...) sont généralement traitées hors RBI, par la conception d'une part, et le suivi de Conditions Opératoires Critiques Limites (COCL) d'autre part. Cependant, quand le risque d'apparition ne peut pas être écarté par les conditions opératoires ou externes, une évaluation de probabilité de défaillance de l'équipement pour ce mode est retenue (comme défaut potentiel). En tout état de cause, en cas d'apparition détectée et de non remplacement immédiat, son évolution n'est plus suivie par la méthode RBI mais par des analyses dédiées de type FFS.

Des COCL peuvent être définies pour surveiller l'apparition de modes de dégradation potentiels liée à des dérives du procédé. La définition de fenêtres opératoires ou de mesure de qualité de fluide peut également permettre de s'apercevoir de l'apparition potentielle de certains modes de dégradations (liés à la présence d'impuretés, à une hausse de température, etc...).

Les COCL interviennent de manière générale dans le facteur Procédé.

Concrètement un dépassement de COCL déclenche une analyse au cas par cas des conséquences potentielles. Il peut entraîner une augmentation des contrôles à mettre en œuvre et entraîner une révision du plan d'inspection avec éventuellement l'ajout de modes de dégradation non retenus initialement. Les cas extrêmes entraînent l'intervention d'un tiers expert (pouvant aboutir à une analyse type FFS).

Dans la plupart des méthodes, la problématique de la prise en compte de nouveaux équipements ne s'est pas posée. Dans certaines méthodes, on peut trouver des arbres génériques de sélection de mode de dégradation en fonction des matériaux sélectionnés qui permettent l'intégration de nouveaux équipements dans le suivi par la méthode RBI.

### **3 Détermination de la catégorie de probabilité de défaillance**

#### **3.1 MÉTHODOLOGIE**

Les calculs sont menés individuellement, pour chaque équipement, par mode de dégradation pour l'ensemble des méthodes.

Cependant dans le cas où les modes de dégradation sont peu nombreux (en fonction du procédé des installations et des fluides véhiculés), l'approche retenue par le SIR consiste à considérer le mode de dégradation le plus pénalisant.

Il peut également y avoir une ségrégation de l'équipement en plusieurs parties (fond de cuve, tête d'équipements, etc...) si les modes de dégradation identifiés sont différents selon les parties de l'équipement.

Trois méthodes de détermination de la probabilité de défaillance ont été identifiées lors des visites :

- L'évaluation qualitative d'une probabilité de défaillance qui consiste en une estimation du dommage global sur la base de règles d'expert. Elle ne fait pas intervenir de facteurs complémentaires tels que par exemple la qualité d'inspection.
- L'évaluation semi-quantitative de la probabilité de défaillance qui consiste en une note issue de la pondération attribuée aux facteurs d'influence de la défaillance avec une hiérarchisation logique et explicite de l'ensemble des facteurs (procédé, fabrication, niveau d'inspection...). L'échelle de notation est découpée en différents paliers qui donnent les catégories de probabilité de défaillance.

- L'évaluation quantitative d'une probabilité de défaillance qui est caractérisée par l'utilisation d'une valeur physique ou statistique représentative de la défaillance. Cette valeur initiale correspond soit à un résultat d'analyse mécano-fiabiliste (par exemple, calculs de Monte Carlo d'une durée de vie en intégrant les incertitudes de matériaux, cinétique, inspection...) ou une fréquence de défaillance (statistique issue directement du REX) ou encore une combinaison des deux. Cette probabilité de défaillance est ensuite corrigée par des facteurs plus ou moins complexes permettant d'intégrer l'influence de paramètres tels que la maîtrise du procédé, le type d'inspection réalisée, des facteurs organisationnels... C'est la seule méthode qui permet une évaluation de l'évolution de la probabilité de défaillance dans le temps.

Dans la suite, les différentes approches sont présentées au travers des facteurs génériques du guide DT84.

## 3.2 FACTEURS CONSIDÉRÉS

### 3.2.1 FACTEUR DOMMAGE

Ce facteur permet d'identifier les modes de dégradation potentiels pouvant affecter l'équipement.

Les paramètres principaux de détermination du facteur dommage sont, pour l'ensemble des méthodes :

- Les modes de dégradation sélectionnés ;
- L'influence des conditions externes.

On peut également trouver d'autres facteurs spécifiques venant moduler le facteur dommage, tels que :

- Historique de l'équipement et REX associé (nombre d'inspections déjà réalisées) ;
- Vitesse des pertes d'épaisseur ;
- Corrosivité du fluide ;
- Chargement en particules solides.

La détermination de ce facteur présente une complexité très variable. Il peut :

- Être qualitatif en considérant les types de dégradations (mode de dégradation apparu en exploitation, non apparu mais retenu par les experts, etc...);
- Être pondéré par des sous-facteurs (modes de dégradation et cinétiques, environnement extérieur, influence des conditions externes, etc...);
- Représenter une valeur statistique d'endommagement ;
- Intégrer des calculs de propagation d'incertitude sur la charge et la résistance des matériaux déterminant des probabilités de défaillance physique par type de dégradation.

En ce qui concerne la cinétique de dégradation, elle peut ne pas intervenir directement dans la méthode ou être un élément prépondérant de la détermination du facteur dommage.

Deux tiers des méthodes rencontrées intègrent en effet directement les cinétiques de dégradation dans les calculs de probabilités de défaillance, en venant pondérer le facteur dommage. Cela peut prendre une forme qualitative en intégrant les vitesses de dégradation attendues, ou alors en intégrant les mesures d'épaisseur réalisées lors des inspections pour refléter l'état réel de l'équipement (dans ce cas, la cinétique de dégradation peut intervenir dans le facteur inspection).

Il est important de noter également les différences d'approches de considération de la cinétique en fonction des modes de dégradation : dégradation linéaire dans le temps pour la corrosion, dégradation par paliers pour la corrosion sous calorifuge, tout ou rien pour les dégradations brutales. Les pondérations de la cinétique sur le facteur dommage interviendront alors de différentes manières selon le mode de dégradation considéré.

Pour les autres méthodes, lorsque la durée de vie résiduelle est différente de celle attendue (aggravation de la cinétique de dégradation), un traitement spécifique est engagé pour déterminer les raisons de cette accélération de la dégradation et des mesures spécifiques sont mises en œuvre.

### 3.2.2 FACTEUR INSPECTION

Ce facteur reflète la pertinence des inspections mises en œuvre.

La prise en compte des inspections précédentes est intégrée dans le facteur dommage pour certaines méthodes. Cela est le cas dans les méthodes quantitatives où l'inspection est alors introduite par facteur tabulé (sur la base de l'expertise) ou par approche bayésienne entraînant une modification de l'évaluation de la probabilité en fonction de la quantité et de la qualité des inspections mises en œuvre. Dans les approches semi-quantitatives, il fait l'objet d'un facteur dédié.

Il caractérise dans tous les cas l'aptitude et la représentativité des contrôles mis en œuvre et le DT75 sert de socle, pour toutes les méthodes, à la sélection des méthodes de contrôles en adéquation avec les dégradations recherchées. En complément, les guides internes fournissent les éléments de représentativité des contrôles en fonction par exemple du nombre de points de mesures.

Ce facteur peut être pondéré par :

- Périodicité des actions d'inspection en comparaison avec l'arrêté du 15 mars 2000 ;
- Contrôle de tous les points singuliers et prise en compte de mesures par sondage.

Dans certaines méthodes, ce facteur est pondéré par la complexité géométrique (facilité d'accès aux zones à contrôler) et intègre les modalités des inspections précédentes.

Pour une méthode rencontrée, le niveau d'inspection (qualité et représentativité) réalisée ne module pas la probabilité de défaillance.

### 3.2.3 FACTEUR FABRICATION

Ce paramètre est pris en compte dans deux tiers des méthodes rencontrées. Il permet de considérer la qualité de fabrication de l'équipement.

Il constitue un facteur dédié dans 3 méthodes et constitue un facteur correctif du facteur dommage dans 1 méthode.

Dans les méthodes où il est pris en compte, ce facteur est déterminé en considérant la qualité de la construction de l'équipement (fabrication suivant un code reconnu).

Il est souvent complété par les éléments additionnels suivants :

- Pertinence des choix de conception ;
- Complexité géométrique ;
- Connaissance du SIR des éléments de fabrication ;
- Contenu du dossier de fabrication.

La prévention des modes de dégradation existants (revêtements interne et externe, revêtement interne, surépaisseur de corrosion, matériaux spécifiques (inox), rien de spécifique, etc...) peut également être intégrée.

### 3.2.4 FACTEUR ÉTAT

Ce facteur peut faire intervenir, de façon variable, le niveau d'endommagement de l'équipement, la gestion des préconisations du SIR, l'efficacité des interventions (qui traduit la complexité de l'intervention à réaliser), la présence d'un dispositif de sécurité, une pondération par le REX ou l'âge de l'équipement.

Pour une des méthodes rencontrées, ce facteur est géré par la réception des travaux de maintenance : une fois réalisés, on considère que l'on repart avec un matériel neuf et réalise à nouveau les points « zéro » des mesures d'épaisseur.

Ce facteur traduit l'état de l'équipement dans son cycle de vie. Deux approches différentes existent, ce facteur pouvant représenter l'état estimé ou l'état réel de l'équipement.

En effet pour certaines méthodes, chaque résultat d'inspection (mesure d'épaisseur calculée) est analysé et une actualisation de la durée de vie résiduelle est faite. Cette dernière influera directement sur l'actualisation du facteur état, qui peut impacter la probabilité de défaillance de l'équipement. Pour les méthodes quantitatives, cet endommagement intervient dans le facteur dommage.

D'autres méthodes, plus qualitatives, caractérisent l'état de l'équipement par rapport à son utilisation, en considérant son âge (nombre d'année en service). Le nombre de démarrages ou d'heures de fonctionnement peuvent également intervenir.

De manière générale, la durée de vie intervient dans l'ensemble des méthodes, mais de différentes manières : impact direct sur la probabilité de défaillance, impact sur les intervalles d'inspection par le biais de facteurs de confiance accordés en fonction des vitesses de dégradation réelles comparées aux vitesses de dégradation attendues, ou comme moyen de vérification que la date de la prochaine inspection est acceptable pour atteindre un niveau de criticité donné au moment de la prochaine inspection. Ces éléments sont détaillés au chapitre **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** traitant d u lien entre la criticité et les calculs d'endommagement.

### 3.2.5 FACTEUR PROCÉDÉ

Ce facteur permet de quantifier les risques propres au procédé.

Excepté pour une méthode, ce facteur fait globalement intervenir :

- Maîtrise et stabilité du procédé ;
- Maîtrise des COCL ;
- Maîtrise du fluide contenu.

Il peut également intégrer d'autres paramètres permettant de caractériser plus finement le procédé du site, tel que :

- Existence d'un procédé ou passage de gaz ;
- Fréquence des arrêts procédé/gaz ;
- Existence d'un contrôle du procédé (monitoring, alarmes, etc.).

Pour une des méthodes rencontrées, ce paramètre est caractérisé uniquement par la maîtrise des COCL.

### 3.2.6 CLASSES DE PROBABILITÉ RÉULTANTE

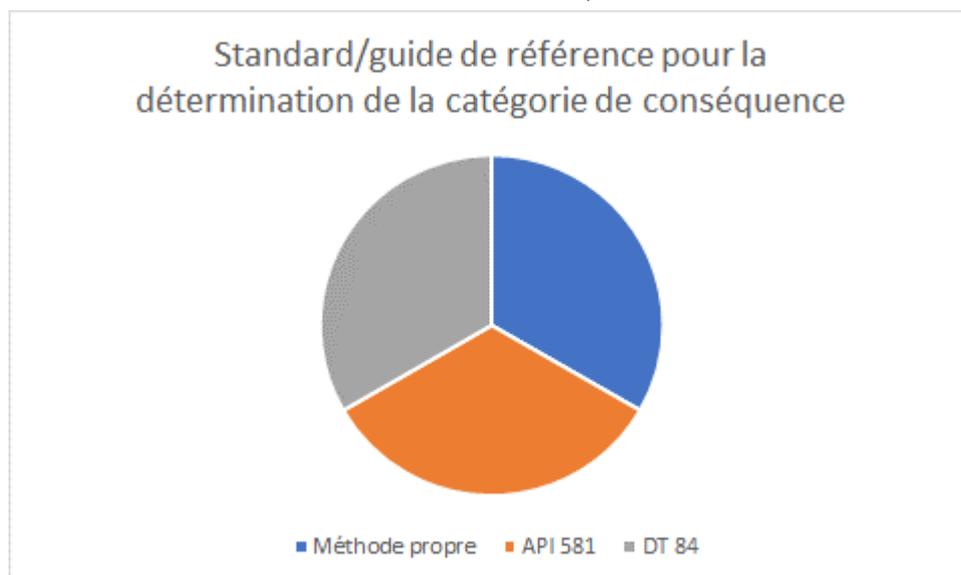
La détermination de la catégorie de probabilité de défaillance peut prendre différentes formes selon le type de méthodes. Les méthodes semi-quantitatives procèdent par un score initial décoté par les différents facteurs, ou une somme des différents facteurs, quand les méthodes quantitatives partent d'un facteur dommage pondéré par les autres facteurs.

In fine, des seuils (de 4, à 5 pour la plupart) sont définis pour catégoriser les probabilités de défaillance.

## 4 Détermination de la catégorie de conséquence de défaillance

### 4.1 MÉTHODOLOGIES

Pour les sites rencontrés, les référentiels de base de la détermination des conséquences sont variables selon les méthodes, comme illustré ci-dessous :



Les méthodes mise en œuvre sont quantitatives ou semi-quantitatives (moitié-moitié). Les approches rencontrées sont de 3 types :

- Calcul de conséquences quantitatif basé sur l'API 581 (pondération de la probabilité des conséquences pour chacune tailles de fuites considérées), pour 1/3 des méthodes.
- Une méthode réalise ses calculs par une méthode interne, qui donne des conséquences quantitatives types par mode de dégradation considéré. Pour chaque équipement, on calcule plusieurs conséquences (en fonction du nombre de modes de dégradation et des différents taux de fuite considérés).
- Une moitié des méthodes propose une approche semi-quantitative (pas de scénarios modélisés, attribution d'une pondération de facteurs basés sur le DT84 ou définition de facteurs « sur mesure » du fait des spécificités du procédé de l'industriel).

À noter que certaines méthodes quantitatives réalisent des calculs de conséquence via des estimations de surface impactées prenant en compte différentes tailles de brèche selon les modes de dégradation considérés, et y intègrent une pondération par les facteurs du DT84.

Les deux grandes familles de méthodes sont présentées dans les chapitres suivants.

#### 4.2 MÉTHODES SEMI-QUANTITATIVES

D'une manière générale, deux façons de faire ont été rencontrées :

- Maximisation des conséquences, pas de pondération en fonction du mode de dégradation ;
- Calcul de gravité par équipement pour chaque mode de dégradation.

Ces méthodes utilisent des facteurs présentés ci-après.

- Facteur Quantité – État du fluide relâché

Ce facteur est évalué en considérant :

- La quantité du fluide susceptible d'être libéré ;
- L'état du fluide dans les conditions de service ;
- L'énergie libérable.

L'inventaire maximum entre vannes d'isolement est considéré, excepté une méthode qui considère uniquement le volume de l'équipement.

La pression intervient dans le calcul d'énergie libérable (avec le volume, ou le diamètre pour les tuyauteries).

Ce facteur est pondéré par l'état du fluide dans les conditions de service (liquide, gaz, gaz liquéfié).

- Facteur Inflammabilité/explosivité

Ce facteur est basé sur les phrases de risque des substances.

- Facteur Toxicité

Ce facteur est basé sur les phrases de risque des substances.

- Facteur Indisponibilité

Ce facteur est pris en compte par l'attribution d'un facteur en fonction du temps d'arrêt estimé, ou du classement d'importance de l'équipement en termes de continuité du procédé en cas de perte (donnée déterminée par les services Procédé et Exploitation). Il peut également être totalement dé-corrélé de l'analyse RBI.

- Facteur Impact sur les personnes et l'environnement

La prise en compte de l'impact sur les personnes diffère selon les sites :

- Utilisation de l'échelle réglementaire d'impact sur les populations (arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation), avec une pondération lorsque les effets sont limités au site ;
- Pas de facteur attribué, car considéré comme déjà pris en compte par le biais des facteurs quantité de fluide, inflammabilité et toxicité ;
- Prise en compte d'une fréquence de présence autour de l'équipement.

De manière générale, l'impact sur l'environnement n'est pas, à ce jour, intégré dans la méthode. Une méthode l'intègre par une pondération de la conséquence de défaillance de manière qualitative, en fonction du niveau de sensibilité du milieu naturel impacté. Cependant une réflexion est menée par certains SIR pour intégrer ce facteur dans la méthodologie de détermination des conséquences d'une défaillance d'équipement.

- Critères spécifiques liés au procédé mis en œuvre

Du fait de la spécificité de son procédé, une des méthodes considère des facteurs spécifiques. En plus de l'énergie libérable ainsi que du taux de présence de personnel autour de l'équipement, deux facteurs spécifiques viennent participer à la détermination de la catégorie de défaillance :

- La température, ce risque étant prépondérant pour l'impact sur le personnel ;
- Le type de brèche associé au mode de dégradation retenu (fuite ou rupture).

- Prise en compte des conséquences économiques

Les conséquences économiques sont prises en compte, par le biais du facteur Indisponibilité, dans 2/3 des méthodes. Il n'y a pas, à proprement parler, d'évaluation de coût, mais plutôt l'intégration d'une estimation du temps d'arrêt ou de l'importance de l'équipement pour la disponibilité des installations qui représentent in fine une conséquence économique.

- Classes de gravité

Au final, des seuils (de 4 à 5) sont définis pour catégoriser les conséquences. Ils n'ont pas de correspondance avec les classes de gravité définies réglementairement (arrêté du 29 septembre 2005).

### 4.3 MÉTHODES QUANTITATIVES

Pour les méthodes quantitatives, la gravité est calculée par le biais de zones d'impact modulée par des facteurs de probabilité, puis par des facteurs aggravant d'impact sur les personnes, les équipements ou l'environnement.

- Surface impactée ou zone d'effet

Les zones d'impact des phénomènes dangereux peuvent être calculées de deux manières :

- Type de méthode 1 : par modélisation des effets des différents phénomènes dangereux. Pour chaque équipement et pour différentes tailles de fuite, la modélisation, considérant l'inventaire et le fluide, donne des surfaces impactées par phénomène dangereux (individualisation des modélisations).
- Type de méthode 2 : par la considération d'un taux de fuite (sans prise en compte de l'inventaire), déterminé par équipement et par mode de dégradation sur la base de l'expertise, auquel est associé des modélisations enveloppes réalisées en amont de la méthode en fonction des propriétés du fluide et de son état (ensemble des résultats tabulés dans des guides groupe).

Les calculs sont réalisés dans les deux cas avec des outils phénoménologiques similaires aux outils utilisés dans les études de dangers ou formulation des guides professionnels (API).

- Modulation par les probabilités

À partir des distances d'effet de chaque scénario, la gravité est modulée par des éléments de probabilité (taille de brèche, inflammabilité...). Cette pondération est également différente pour les méthodes rencontrées :

- Type de méthode 1 : la surface calculée est pondérée par la probabilité statistique des différents scénarios par le biais d'arbre de conséquence en intégrant notamment les probabilités d'ignition. Une surface impactée finale est déterminée en combinant les zones d'effets pour toutes les tailles de fuite.
- Type de méthode 2 : en fonction de la localisation de l'équipement, la probabilité d'ignition et la présence d'équipement critique pondèrent la gravité calculée génériquement.

L'ensemble de ces méthodes intègre donc une prise en compte plus ou moins fine des probabilités d'ignition (immédiate, retardée), soit en tenant compte de probabilités génériques issues de base de données ; soit en tenant compte des distances entre la fuite et les points d'ignition, ainsi que des propriétés des fluides (FP, TAI).

La toxicité peut faire l'objet de scénarios dédiés, auquel cas la gravité la plus pénalisante entre inflammabilité et toxicité est retenue. Elle peut également être combinée avec l'ensemble des scénarios pour formuler une surface impactée globale (combinaison par le pourcentage de produits toxiques).

- Évaluation de la gravité

Ensuite les méthodes divergent pour l'attribution d'une catégorie de conséquence au niveau des méthodes d'affectation de la gravité :

- Méthode de type 1 : traduction de la surface impactée en coût total en fonction de la localisation, incluant le coût de perte de vie humaine, la perte de production, le coût des réparations en fonction des équipements impactés, les coûts environnementaux de dépollution, les coûts de perte d'image de l'industriel, etc...
- Méthode de type 2 : la gravité est pondérée par le taux d'occupation de la zone donnant une conséquence purement HSE. Un calcul parallèle est alors réalisé pour avoir une conséquence économique en intégrant principalement le temps d'indisponibilité de l'équipement et ses conséquences sur la production.

In fine, des seuils (de 4 à 5) sont définis pour catégoriser les conséquences.

## 5 Détermination de la criticité et des seuils

La criticité de l'équipement est déterminée par couplage de la catégorie de probabilité de défaillance et de la catégorie de conséquence de défaillance.

Pour les méthodes quantitatives, cette criticité peut être donnée par une évaluation d'un risque en fonction du temps. En particulier, cette valeur de risque peut être définie par la fonction multipliant la probabilité de défaillance (dépendante du temps) et le coût de la défaillance, ce qui autorise des optimisations économiques de l'inspection.

À ce jour, toutes les méthodes sont néanmoins exploitées par une matrice de criticité de forme similaire, intégrant des seuils d'acceptabilité entraînant différentes actions et priorités, en cohérence avec le guide DT84.

Les tailles des matrices rencontrées sont présentées ci-dessous :

Nombre de méthodes	Nombre de catégories de probabilité de défaillance	Nombre de catégories de conséquences	Nombre de niveaux de criticité	Commentaire
4	5	5	4	
1	5	4		
1	2	4		4 catégories de probabilité de défaillance initiales, regroupées en 2 catégories finales

Tableau 1 : Matrices de criticité rencontrées

La plupart des méthodes permettent un classement en matrice 5x5. Toutes les méthodes donnent 4 niveaux de criticité répartie de façon similaires dans les matrices. Une seule méthode aboutie à un classement des probabilités en deux classes, rendant la conséquence plus discriminante.

Le seuil le plus élevé de criticité est parfois inacceptable. On notera que pour certaines méthodes semi-quantitatives, ce seuil n'est jamais atteint et aucune action d'inspection n'est donc particulièrement prévu pour ce seuil. Dans ce cas, si un équipement venait à se trouver dans cette criticité, des actions de type maintenance, COCL complémentaire ou renouvellement seraient envisagés. Pour d'autres méthodes, un seuil bas de délais d'action est défini pour cette catégorie. Pour les méthodes quantitatives, l'atteinte du dernier niveau de criticité implique une action immédiate, hors plan d'inspection.

Les deux seuils intermédiaires correspondent à des actions renforcées ou des priorités importantes. Le seuil le plus bas peut être synonyme d'absence d'action (pas d'inspection complémentaire aux IP/RP) ou à des priorités faibles d'actions complémentaires.

## 6 Stratégie d'exploitation de la criticité

### 6.1 EXPLOITATION DE LA CRITICITÉ

De manière générale, la criticité influe sur la détermination de la périodicité maximale des contrôles complémentaires. En complément, la criticité peut jouer directement sur l'étendue des contrôles, ou cette appréciation peut être traitée indépendamment par le REX et l'appréciation de l'inspecteur SIR. En effet les zones sensibles et des moyens de contrôles peuvent être définis en amont, par le REX et l'expertise, par type d'équipement et mode de dégradation.

### 6.2 PÉRIODICITÉ D'INSPECTION

La périodicité des actions d'inspection définies peut être :

- Des périodes maximales fixes entre deux inspections, par niveau de criticité, pour la moitié des méthodes (qui peuvent également être complétées par des visites en service complémentaires pour certaines méthodes) ;
- Des périodes variables, dépendantes de la définition des dates de changement de classe de probabilité de défaillance ou de la durée de vie résiduelle, pour l'autre moitié.

Concernant les méthodes semi-quantitatives et les périodes maximales fixes rencontrées pour les contrôles complémentaires aux IP/RP, elles sont illustrées ci-après, en fonction de la criticité :

Criticité	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3
Forte	24 mois	24 mois	Inacceptable
Moyenne-Forte	48 mois	72 mois	Contrôle intermédiaire (en fonction du mode de dégradation et de la technique de contrôle)
Moyenne	96 mois	144 mois	Visite en service complémentaire à 38 mois
Faible	144 mois	144 mois	72 mois

Tableau 2 : Périodicité des inspections en fonction de la criticité

Dans ces approches semi-quantitatives, les dates déterminées concernent les inspections spécifiques dédiées aux modes de dégradation. Il est donc considéré que toutes les inspections périodiques et les requalifications périodiques ont lieu en parallèle. Une étape d'optimisation est ensuite réalisée pour associer autant que possible les contrôles spécifiques aux IP/RP. L'ensemble est fortement affecté par les arrêts prévus dès lors qu'un contrôle ne peut pas être réalisé en marche.

Dans l'approche quantitative, les périodes d'inspections sont définies en lien direct avec la criticité, c'est-à-dire que la modification de la date de la prochaine inspection modifie la valeur de criticité qui sera obtenue à cette même date, et donc la catégorie de criticité et son acceptabilité. Par calcul inverse, une date optimale d'inspection peut ainsi être déterminée. La criticité est donc évaluée dans le temps en considérant les inspections réglementaires, puis des contrôles spécifiques sont déterminés pour compléter ces inspections et maintenir ou réduire le niveau de criticité. La réduction ou le maintien d'un niveau de criticité correspond à la marge de manœuvre d'optimisation de la méthode avec les contraintes du procédé et les contraintes économiques.

En pratique, lorsque le contrôle ne nécessite pas d'arrêt, il est réalisé en marche à la date optimale et un calcul de criticité est réalisé pour chaque mode non inspectable en marche avec une hypothèse de contrôle au prochain arrêt (voire au suivant). En fonction de l'admissibilité de la criticité, la date des contrôles complémentaires peut être révisée.

### 6.3 ÉVALUATION DE LA DURÉE DE VIE

Lorsque les périodes d'inspections sont fixées, une limite complémentaire à cette période est la durée de vie calculée sur les données des dernières inspections ou sur la base d'une cinétique de dégradation théorique. Les périodes, lorsqu'elles ne sont pas prédéfinies, peuvent être déterminées en fonction de la durée de vie résiduelle d'un équipement et sa criticité.

De manière générale, une nouvelle estimation de la durée de vie résiduelle ou de la cinétique de dégradation est réalisée après chaque inspection d'un équipement. Les résultats issus de l'inspection sont analysés, et une mise à jour du plan d'inspection est réalisée. Cette réévaluation de l'endommagement post-inspection entraîne une mise à jour de la probabilité de défaillance de l'équipement, et potentiellement une modification (à la hausse ou à la baisse) de la criticité résultante. Le cas échéant, cela aura un impact sur la périodicité de la prochaine inspection. Pour les méthodes quantitatives, le calcul de criticité est évalué à horizon de plusieurs arrêts, en considérant différents scénarios possibles d'inspection.

Ainsi l'évaluation réalisée à l'issue d'une inspection peut intervenir sur la date de la prochaine inspection :

- Par approche directe et évaluation d'une période basée sur une durée de vie et un facteur de confiance issu du niveau de criticité ;
- Par approche inverse et intégration de la durée de vie dans la probabilité de défaillance évaluée pour une période future, et vérification du niveau de criticité dans le temps. Dans ce cas la date d'inspection est choisie pour ne pas dépasser un seuil donné de criticité.

Au-delà de la date de la prochaine inspection, l'endommagement peut intervenir de plusieurs façons dans l'évaluation des risques :

- Directement par un calcul de durée de vie réalisé avec les résultats de la dernière inspection, qui influence le facteur dommage et donc la probabilité de défaillance ;

- Par le biais d'une mise à jour, après chaque inspection, des vitesses de dégradation réelles qui impactent le facteur dommage et donc la probabilité de défaillance (hausse ou baisse en fonction des résultats de l'inspection) ;
- Par le biais d'un facteur de confiance accordé aux inspections en fonction des vitesses de dégradation attendues et observées pour les différents modes de dégradation. Cela peut être réalisé par expertise et tabulé dans des guides ou par évaluation d'une probabilité de détection (inspection réalisée pour mesurer l'épaisseur à un état donné), et une probabilité d'occurrence de cet état (probabilité que l'épaisseur mesurée corresponde bien à l'épaisseur réelle).

Il est important de rappeler que lorsque les durées de vie résiduelles ne sont pas applicables (fissurations etc...), il peut y avoir une pondération pour pénaliser le calcul de probabilité de défaillance final associé à des périodes fixes d'inspection en fonction du niveau de criticité, ou alors ces problématiques sont traitées hors méthodologie RBI.

## 6.4 QUALITÉ ET RÉSULTAT DES CONTRÔLES

### 6.4.1 MISE EN ŒUVRE

Le degré de liberté du SIR sur la définition des nouveaux contrôles à mettre en œuvre après évaluation de la criticité est variable. En effet, dans les approches semi-quantitatives l'inspection est parfois très cadrée pour obtenir un niveau d'inspection maximal à chaque inspection. Dans les approches les plus quantitatives, la qualité des contrôles (choix de la méthode et nombre de points) influence plus fortement la criticité et est donc un biais d'optimisation plus important.

Les points principaux relatifs à la sélection du contrôle à mettre en œuvre et à l'étendue des contrôles à réaliser sont :

- Le contrôle visuel est systématique et précurseur à toute action d'inspection ;
- Le DT75 est suivi en termes de choix de contrôle adapté mais peut être complété par des approches internes précisées dans des guides internes et faire intervenir l'expertise des inspecteurs RBI ;
- Des divergences d'approche existent, liées au procédé notamment, sur la mise en œuvre de contrôles pouvant être réalisés en marche ou seulement à l'arrêt. Certains cherchent à fortement développer les méthodes en marche, d'autres à optimiser le choix de contrôle pendant les arrêts ;

La principale différence perçue lors des visites est dans l'usage de regroupement d'équipements et/ou le choix d'équipement témoins plus ou moins important selon les industries.

### 6.4.2 LIEN CRITICITÉ / QUALITÉ DES CONTRÔLES

La criticité peut ne pas du tout influencer le contenu des inspections (géré par le REX et les compétences de l'inspecteur SIR), ou alors influencer l'échantillonnage, voire la qualité des CND mis en œuvre.

Pour certaines méthodes, la modulation de la qualité des inspections peut amener à modifier directement la probabilité de défaillance, pour d'autres la criticité implique un certain niveau d'inspection (incluant la qualité d'échantillonnage) défini dans les guides internes. Enfin pour d'autres, la criticité n'a pas d'influence, les contrôles mis en œuvre sont à l'appréciation de l'inspecteur SIR en fonction des objectifs à atteindre.

Pour certains la qualité des contrôles joue sur le facteur Inspection et donc directement sur la probabilité de défaillance, impactant potentiellement la criticité finale, pour d'autre cela est complètement dé-corrélé.

Pour certains, la criticité influence directement l'échantillonnage pour les équipements similaires.

La nature et le nombre d'actions d'inspection à mener sont fonction du mode de dégradation recherché. La localisation également, incluant la sélection des zones sensibles, des zones représentatives et les possibilités techniques de mise en œuvre. Cette appréciation est à la main de l'inspecteur SIR, ou défini dans les guides internes (identification des zones à inspecter, nombre de points de contrôle à réaliser, etc... en fonction du type d'équipement et du mode de dégradation), voire un mélange des deux.

L'influence des résultats sur la criticité peut être directe, la probabilité de défaillance étant basée sur la durée de vie résiduelle ou pas du tout influente sur la criticité (pas de durée de vie résiduelle utilisée directement dans le calcul de probabilité)

Pour certains, chaque résultat est comparé au guide. Si l'on sort du comportement normal, un traitement spécifique (hors méthode) est prévu.

Chaque site définit l'échantillonnage nécessaire pour « corriger » ou prendre en compte sa criticité. Certains sont d'ailleurs indépendants de la criticité retenue.

Les résultats des contrôles impactent la probabilité de défaillance qui est réévaluée après chaque inspection (voir paragraphe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Des contrôles d'une autre nature, ou une extension des contrôles réalisés, peuvent être mis en œuvre si l'impact sur la probabilité de défaillance ne répond pas aux objectifs.

## 7 Synthèse

### 7.1 GÉNÉRALITÉS VALABLES SUR TOUS LES SITES

Les points principaux communs à l'ensemble des méthodes RBI sont présentés ci-dessous.

En termes d'organisation :

- Les SIR disposent d'une autonomie forte ;
- Les effectifs des SIR sont assez variables en nombre d'inspecteurs, mais dans les mêmes ordres de grandeur en termes de nombre d'inspecteurs comparé aux nombres d'équipement suivis ;
- Dans son positionnement interne, le SIR se positionne toujours comme prescripteur, puis si des décisions autres sont envisagées, elles sont discutées par la direction générale mais très rarement à l'encontre du SIR ;
- Les SIR sont informés de l'ensemble des actions pouvant influencer l'état des équipements par des processus internes bien définis.

En termes de méthodes :

- Chaque industriel applique une méthode d'évaluation du risque basé sur une évaluation d'un niveau de probabilité, d'un niveau de conséquence et d'une criticité résultante ;
- Les évaluations intègrent les éléments fondamentaux du procédé, de la connaissance du site, de l'état des équipements et des actions réalisées sur l'équipement ;
- Les méthodes semi-quantitatives ont des approches semblables en termes de facteurs pris en compte.

En termes de stratégie et de périmètre des méthodes RBI :

- De manière générale, la méthode RBI mise en œuvre a pour objectif de moduler le nombre de contrôles complémentaires aux arrêts réglementaires ;
- Globalement les approches type FFS sont assez peu utilisées, sauf sur des équipements critiques ou pour des modes de dégradations à cinétique rapide (type fissuration) ;
- Les modes de dégradation combinés (ex. : fissuration en fatigue et corrosion) sont généralement traités hors RBI ;
- On retrouve régulièrement la notion de stratégie générique correspondant à un suivi classique sur la base de REX et un suivi spécifique, lié à des dégradations étant apparues mais dont l'évolution est maîtrisable.

En termes de contenu et de développement de la méthode :

- Systématiquement, chaque site a élaboré son guide « dégradation », un guide « méthode générale » et un guide « contrôle » (parfois regroupé avec le guide « dégradation »). Ces guides sont issus d'une réflexion avec implication de l'expertise au niveau du groupe, décliné ensuite localement sur chaque site ;
- Une importance majeure est accordée au REX (groupe, national, international) ;
- La sélection des modes de dégradation suit la même philosophie/démarche pour l'ensemble des sites ;
- La sélection des contrôles mis en œuvre en fonction des modes de dégradation retenus et du niveau d'efficacité des contrôles souhaité est communément basé sur le guide DT75 (qui sert de base commune, ensuite l'expertise du SIR peut guider le choix lorsque le DT75 laisse une marge de manœuvre sur les différents contrôles possibles à mettre en œuvre) ;
- Les plans d'inspection sont établis équipement par équipement.

## 7.2 SPÉCIFICITÉS RENCONTRÉES

Certaines différences fortes ont été constatées d'un site à l'autre, les principales sont évoquées ci-après.

En termes d'organisation :

- Le positionnement des SIR peut varier en fonction de la taille des sites et des SIR : rattaché aux directions des sites lorsqu'ils sont importants et des directions centrales sinon (SIR échelon central) ;
- Le fonctionnement du SIR est variable en fonction de la taille des SIR et des sites : inspecteur multitâche sur petit sites et inspecteurs dédié (méthode, plan d'inspection, contrôle) sur les plus importants.

En termes de méthode d'évaluation des risques :

- Concernant la base de la méthode, on retrouve une variabilité importante (principalement entre secteurs d'activité) ;
- Pour les méthodes quantitatives, elle peut parfois être utilisée comme un outil d'optimisation de la stratégie d'équipement intégrant maintenance, fonctionnement, inspection et les coûts associés.

En termes de stratégie des méthodes RBI :

- L'utilisation même de la méthode peut être réalisée au moment d'application, ou par projection jusqu'au prochain arrêt (voire le suivant) ;
- Pour certains, la criticité donne directement un niveau de contrôle à respecter afin de ne pas augmenter la criticité, pour d'autres les contrôles sont définis pour diminuer le niveau de criticité ;
- L'approche peut être réalisée par équipement et par mode de dégradation tout le long de la méthode, ou les modes de dégradation peuvent être fusionnés pour une approche par équipement uniquement ;
- Les contrôles réglementaires peuvent être intégrés comme contrôles dans la méthode ou considérés comme préalables à la méthode ;
- Le regroupement d'équipements similaires soumis aux mêmes modes de dégradation peut être fait sur certains sites (pour la détermination de la probabilité de défaillance), sur d'autres chaque équipement est traité individuellement.

En termes de contenu et de développement de la méthode :

- Les révisions intermédiaires des guides internes « dégradation » sont réalisées à des intervalles variables, allant jusqu'à une fréquence maximale de 6 ans ;
- Le REX mondial est considéré différemment selon l'implantation du groupe et la spécificité du procédé ;
- L'utilisation de logiciels est variable : beaucoup de logiciels « maison » ou adaptés du commerce. Le lien peut être direct ou indirect avec les outils de maintenance.



**INERIS**

*maîtriser le risque  
pour un développement durable*

**Institut national de l'environnement industriel et des risques**

Parc Technologique Aïata  
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : [ineris@ineris.fr](mailto:ineris@ineris.fr) - Internet : <http://www.ineris.fr>