

## Accidentologie associée au vieillissement des installations industrielles

Le vieillissement des installations industrielles est un phénomène normal, dont les mécanismes sont souvent bien connus. Il peut cependant s'accélérer du fait de défauts de conception, de dimensionnement ou encore de construction, mais aussi sous l'effet de contraintes sous-estimées en cas de surveillance ou d'entretien insuffisants.

Un site contenant des équipements âgés, ou dont le vieillissement n'est pas correctement géré, est plus sujet aux accidents. Même s'il ne constitue pas la cause première d'un accident, un équipement détérioré peut conduire à une amplification significative des conséquences de l'événement. L'anticipation et la gestion du vieillissement des installations sont donc des éléments clés pour la prévention des risques !

### Les manifestations du vieillissement

En fonction du type d'équipement et de son contexte d'utilisation, le vieillissement peut apparaître de multiples manières.

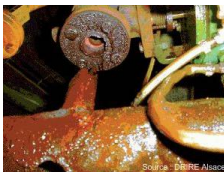
- Le témoin le plus fréquemment observé de l'atteinte du temps est la **dégradation des matériaux**, qui peut entraîner :
  - la perforation d'un équipement, susceptible d'occasionner des fuites vers l'environnement ou au contraire l'introduction accidentelle de substances perturbatrices du procédé
  - la fragilisation d'éléments structurels critiques, tels que les ancrages ou supportages
  - l'ouverture brutale de bacs
  - la chute de pièces et éléments de structure
  - l'effondrement de grands équipements, tels que des silos ou fours
- Un autre symptôme fréquent du vieillissement est le **dysfonctionnement** d'installations électriques, d'équipements de procédé (de traitement, de protection ou d'intervention).

En France, **plus de 700 accidents survenus depuis la création de la base ARIA (1992) ont été répertoriés comme impliquant le vieillissement** :

- Plus de 500 dans des installations classées (ICPE)
- Environ 100 impliquant des conduites (substances dangereuses, gaz, vapeur...)
- Environ 30 impliquant le transport de matières dangereuses par route, rail, mer...

Dans plus de 90% des cas, les accidents entraînent le rejet de substances dangereuses ou polluantes vers l'environnement.

Le présent document met l'accent sur les deux principaux mécanismes de vieillissement : la corrosion et la fatigue.



DR

### La corrosion : première cause des accidents associés au vieillissement

Les mécanismes de corrosion sont déterminés par l'environnement, les conditions d'exploitation et l'agencement des installations :

- Les environnements maritimes, humides ou acides sont particulièrement sujets à ce phénomène.
- Le changement de revêtement ou de milieu, les points singuliers, le contact entre métaux différents favorisent la corrosion.

Les **secteurs industriels les plus concernés** par ces accidents sont :

- Chimie
- Transport de matières dangereuses
- Raffinage
- Agro-alimentaire
- Stockage de liquides inflammables
- Fabrication de gaz

Les accidents impliquent fréquemment de grandes plateformes chimiques ou pétrolières ou des canalisations de transport.

Parmi les 200 accidents liés à la corrosion survenus en France au cours des 10 dernières années, **plus de la moitié concerne des tuyauteries et canalisations**.

La probabilité d'occurrence de ces accidents est augmentée par :

- de fréquentes **difficultés d'accès aux tuyauteries pour en contrôler l'état** (tuyauteries enterrées ou en fourreau, tuyauteries en hauteur sur des racks, tuyauteries calorifugées...)
- par leur **longueur importante** (sur les sites ou entre sites) qui en rend le suivi difficile.



### Exemple d'accident impliquant la corrosion d'une canalisation ARIA 34351 – 13/03/2008 – 44 – DONGES

Lors du chargement de 31 000 m<sup>3</sup> de fioul de soute dans un navire, une fuite sur une canalisation de transfert d'une raffinerie occasionne un important épandage dans l'estuaire de la Loire. Plus de 750 personnes sont mobilisées pendant 3,5 mois pour le nettoyage de 90 km de berges souillées.

L'examen de la canalisation montre une **brèche longitudinale provoquée par une corrosion localisée sous calorifuge dont l'origine est liée à une fuite d'eau sur une tuyauterie située à la verticale**. L'eau s'est infiltrée sous le calorifuge et a provoqué la corrosion puis la perforation de la canalisation de fioul. **Malgré plusieurs anomalies décelées dans les mois précédents sur ce même rack, l'exploitant n'a pas revu son programme de contrôle pour prendre en compte les risques spécifiques présentés par cette ligne en regard de sa proximité avec les berges du fleuve.**

Plusieurs actions et mesures complémentaires sont demandées à l'exploitant dont:

- L'extension des contrôles à d'autres canalisations du site avec mesures d'épaisseur au niveau des points sensibles (supports, piquages,..) ;
- Le déplacement du tracé de la ligne d'eau de service pour éviter tout aplomb avec une tuyauterie calorifugée ;
- Une surveillance permanente avec système de détection de fuite et report d'alarme en salle de contrôle pour les canalisations situées à proximité du fleuve ;
- La modification du terrain sous le rack afin de drainer tout écoulement accidentel vers un réseau de collecte adapté ;
- L'installation d'un dispositif comptabilisant les quantités de produits sortant d'un bac et celles réceptionnées en bout de la canalisation de transfert correspondante.

Dans l'exemple ci-dessus, la cause de la corrosion de la canalisation est externe (égouttures depuis une autre conduite). D'autres exemples de dégradation d'**origine externe** incluent : la corrosion sur des éléments de la conduite (brides, vannes...), la corrosion par défaut de protection passive dans le cas de conduites enterrées, la corrosion due à des contraintes liées à un mauvais supportage...

Mais la corrosion d'une conduite peut aussi être d'**origine interne**, notamment en cas d'absence ou de défaut du revêtement protecteur, de phénomène d'érosion au niveau d'un coude, de dépôt en partie basse...

Hormis les conduites, une part importante des accidents liés à la corrosion impliquent des **bacs et cuves**.

- La cause la plus couramment identifiée est la **corrosion interne par défaut ou absence de revêtement interne**
- Les défaillances sur les bacs concernent le plus souvent des stockages de **pétrole brut** et de **gazole**.
- Sur les sites chimiques, les bacs concernés sont surtout des **bacs d'acide**.

### Exemple d'accident impliquant la corrosion d'un bac de stockage

ARIA 42401 - 05/07/2012 - 33 - BIGANOS

Un bac de liqueur noire de 5 000 m<sup>3</sup> en phase de remplissage se rompt à 14h30 dans une papeterie située à 5 km à l'est du bassin d'Arcachon. [...]

Le bac présentait des signes de vétusté et de corrosion. L'exploitant avait planifié des contrôles complémentaires sur ce bac fin juillet 2012 pour s'assurer de son aptitude à être maintenu en service. [...]

Les pertes de production sont supérieures à 10 millions d'euros et les coûts des travaux de dépollution sont évalués à plus d'un million d'euros. Les dommages matériels dans l'établissement sont estimés entre 2 et 10 millions d'euros.



#### Défaillances courantes conduisant à la corrosion des équipements

##### Choix techniques inappropriés :

- Absence de revêtement protecteur
- Incompatibilité produits / matériaux
- Ergonomie inadaptée (équipements inaccessibles pour contrôle)
- Design potentiellement dangereux (conduite d'eau située au-dessus d'une conduite calorifugée)

##### Maintenance inadaptée :

- Insuffisance des interventions
- Contrôles non-destructifs inadéquats

##### Erreurs humaines :

- Assemblage défectueux d'un calorifuge
- Choc entraînant l'endommagement d'un revêtement de protection

#### Exemples d'actions correctives pour lutter contre la corrosion

##### Amélioration des opérations de suivi

- Mise à jour des réseaux de conduites, inventaire des points sensibles
- Trappes de visite pour l'inspection des conduites calorifugées

##### Amélioration des procédures de contrôle

- Mesures d'épaisseur régulières sur les points critiques
- Epreuves hydrauliques
- Intensification des programmes d'inspection

##### Modification des installations

- Utilisation d'alliages plus résistants (hastelloy, inox)
- Modification des matériaux des revêtements de protection
- Suppression des piquages à risque
- Asservissement du fonctionnement des équipements aux mesures de sécurité

##### Modification des procédés

- Changements des paramètres de température, pH, débit...
- Réduction de la pression de service des équipements

## Une autre cause récurrente d'accidents : le vieillissement par fatigue

Environ 30 accidents associés à des **phénomènes de fatigue (le plus souvent des vibrations excessives)** ont été recensés en France au cours des 10 dernières années. Ci-dessous, les principaux équipements concernés et quelques exemples de défaillances rencontrés :

- **réservoirs**
  - fissuration par fatigue sur un bac d'acide sulfurique (sans lien avec la corrosion)
  - fatigue d'un réservoir suite à des cycles de remplissage / vidange successifs entraînant sa fissuration
  - rupture différée (par fatigue statique) d'un réservoir par fragilisation de l'acier sous l'effet de l'hydrogène
- **tuyauteries :**
  - rupture d'un piquage par vibration suite au non renforcement de la soudure sur une ligne de refoulement de pompe
  - rupture d'un piquage 1" sur un ballon de refoulement de compresseur par fissuration progressive suite aux vibrations
  - fissuration légère par fatigue en bordure d'un cordon de soudure dans une zone de concentrations de contraintes (présence notamment de vibrations)
- **dispositifs de sécurité :**
  - ouverture anticipée (avant l'atteinte de la pression d'ouverture) de disques de rupture sur des réacteurs en raison de leur vieillissement par fatigue
  - rupture d'une goupille de sécurité sur des groupes électrogènes

### Exemple d'accident impliquant la fatigue d'une tuyauterie

**ARIA 32611 - 28/10/2006 - 76 - GONFREVILLE-L'ORCHER**



Dans une usine de fabrication de matières plastiques, la rupture d'un piquage 1" sur le ballon de refoulement d'un compresseur de gaz propylène provoque l'émission d'un nuage de gaz. L'examen du piquage rompu permet d'identifier qu'il s'agit d'une rupture par fatigue mécanique, c'est-à-dire par fissuration progressive. Il y a eu une première phase de fissuration il y a plusieurs années. Puis la fissuration progressive s'est poursuivie jusqu'à aboutir à la rupture totale du piquage. La tuyauterie de purge générait une vibration mécanique permanente, le bossage de l'équipement ayant joué le rôle d'un encastrement créant une zone de sollicitation locale. **La conception de la tuyauterie était inadaptée pour une exposition importante aux vibrations.** L'inspection mise en place sur la tuyauterie n'était pas appropriée : les plans d'inspection ne prenaient pas en compte le type de fissuration par fatigue en fond de filet, spécifique d'un montage vissé. La vérification des fonds de filet n'avait pas été effectuée.

A la suite de cet incident, le piquage vissé est remplacé par un montage emmanché-soudé. Tous les piquages soumis à vibrations sont identifiés ; les montages vissés sont remplacés dans la mesure du possible par un montage de type emmanché-soudé. Les montages installés sur les équipements soumis au plan de modernisation sont suivis dans les plans d'inspection, les autres équipements sont suivis dans les plans de maintenance. Par ailleurs, l'exploitant prévoit sur ce compresseur, et sur un compresseur voisin, de renforcer cet assemblage par un cordon de soudure supplémentaire sur le ballon, et de le raccorder au réseau torche par des liaisons flexibles isolées par vannes côté compresseur et côté réseau torche, de façon à supprimer un point fixe préjudiciable dans un environnement soumis à vibrations.

### Exemples d'actions correctives pour lutter contre les phénomènes de fatigue

- **Amélioration des procédures de contrôle**
  - Accroissement de la fréquence d'inspection
  - Identification des équipements soumis aux mêmes risques que ceux impliqués dans un accident et mise en œuvre de mesures correctives à grande échelle
  - Modification des plans d'inspection pour prendre en compte la vulnérabilité à la fatigue de certains équipements (par exemple : risque de rupture de fatigue de certains assemblages vissés)
  - Accroissement de la fréquence de remplacement de certains équipements critiques (par exemple : disques de rupture)
- **Modifications des installations et procédés**
  - Changement du design des équipements pour les rendre plus aptes à supporter l'exposition aux vibrations (élimination des points fixes, remplacement des assemblages vissés par des montages emmanchés-soudés)
  - Modification des procédures d'exploitation pour réduire les contraintes (par exemple : modification de la procédure de démarrage d'une chaudière pour limiter les contraintes de dilatation et les montées de pression)
  - Modification des paramètres d'exploitation (valeurs de calibrage...)
- **Formation**
  - Formation des équipes de maintenance sur les précautions à prendre lors de la manipulation d'équipements pour limiter leur fragilisation.

## Enseignements tirés de l'accidentologie

### L'analyse des accidents révèle que :

- Dans de nombreux cas, les **symptômes du vieillissement n'ont pas été détectés à temps** ou anticipés, malgré parfois de nombreuses « alertes »
- Des **contrôles** peuvent aussi être **inappropriés** ou ne pas permettre d'évaluer correctement la progression des altérations par défaut matériel ou erreur d'interprétation.
- La **mise en œuvre** des conclusions issues de constats ou d'inspections est parfois **programmée trop tardivement** ou des **réparations provisoires** mais insuffisantes sont réalisées.
- Les importantes **plateformes restent davantage exposées** au risque en raison du grand nombre d'équipements et de canalisations impliqués.
- Il est nécessaire d'**être conscient de toutes les possibilités de dégradation** et d'identifier les facteurs susceptibles de les accélérer.
- Un certain nombre de **points sensibles** méritent une vigilance particulière : revêtements protecteurs, structures, soudures, supports, joints, fonds de bac, etc.
- Le contrôle et l'entretien des **zones difficilement accessibles ou visibles**, sous calorifuge ou enterrées, milieux propices à une dégradation accélérée, ne doivent pas être négligés du fait de leur complexité ou des contraintes qu'ils imposent.

### La prévention du vieillissement doit s'inscrire dans une approche globale prenant en compte :

- la gestion d'un accident potentiel avec **détection précoce de l'anomalie** (équipements visibles, rondes fréquentes, détecteurs, caméras, alarmes, etc.) et préparation de l'**organisation** à mettre en place en cas de nécessité d'**intervention** ;
- la **limitation des effets potentiels** (rétention, captation des effluents de la totalité de la surface du site, rideaux d'eau, etc.), l'**évaluation des conséquences possibles et la définition de mesures de réparation** ;
- l'**intégration des leçons tirées des événements passés**.



### Les enjeux en quelques mots

- Outre les dommages et pertes d'exploitation générés par un éventuel accident, le **vieillissement représente un coût important pour l'industrie**.
- S'en prémunir permet de **prolonger la durée de vie des installations** et, par-dessus tout, de **limiter l'occurrence des accidents** aux conséquences parfois catastrophiques.
- Alors que le paysage industriel européen vieillit dans certains grands secteurs d'activités, la **prise en compte de la problématique du vieillissement**, aussi ancienne soit-elle, **est aujourd'hui décisive**.

**Pour en savoir plus** : Consultez nos flashs sur le vieillissement <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/flash-aria/>

- Maîtriser le vieillissement des installations : un investissement de long terme pour éviter les accidents !
- Vieillissement et gestion des pièces détachées : un enjeu de taille
- Biogaz et corrosion
- Les boîtes de colmatage : assurément pas un remède au vieillissement !
- D'autres à venir...

### Sources :

- Base de données ARIA et publications BARPI
- INERIS DRA-09-102957-07985C Rapport final « Benchmark international sur les réglementations et pratiques de maîtrise du vieillissement des installations industrielles »