Description de l'accident et enseignements

Sujet traité : Accident du 19 novembre 2013	**Raffinerie TOTAL à Anvers**	**Date** : Le 18 mars 2014

Le 19 novembre 2013, une explosion de vapeur s'est produite à la Raffinerie TOTAL à Anvers, en Belgique. Cette explosion a causé la mort de deux techniciens de la société TEAM. Les techniciens étaient en train de travailler sur une bride 16'' fuyarde (connexion coiffe (« bonnet ») - corps de vanne), au moment où les boulons de la bride (20 pièces 1½'', tiges de type ASTM A193 B7) fixant la coiffe se sont rompus. De ce fait, la coiffe (avec le moteur) s'est violemment détachée de la vanne. L'énergie liée à la libération soudaine d'eau de chaudière a ensuite conduit à une explosion de vapeur.

Le fluide était de l'eau de chaudière, à une pression de 70 bar et une température de 290°C. La vanne était une vanne à opercule (« gate valve ») 16'', #900, équipée d'un joint d'étanchéité octogonal de type RTJ (Ring Type Joint) entre la coiffe et le corps. La vanne se trouvait en position ouverte.

Les techniciens étaient occupés à effectuer une réinjection au niveau d'une boîte (carcan) d'étanchéité qui avait été installée en mars 2011 autour de la connexion entre la coiffe et le corps de la vanne. L'accident a eu lieu pratiquement directement après le début des travaux.

Configuration coiffe - moteur identique

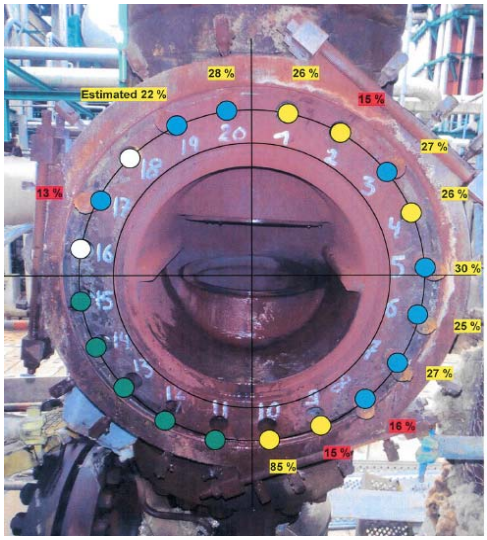
Boîte d'étanchéité identique autour de la bride de connexion entre la coiffe et le corps de la vanne

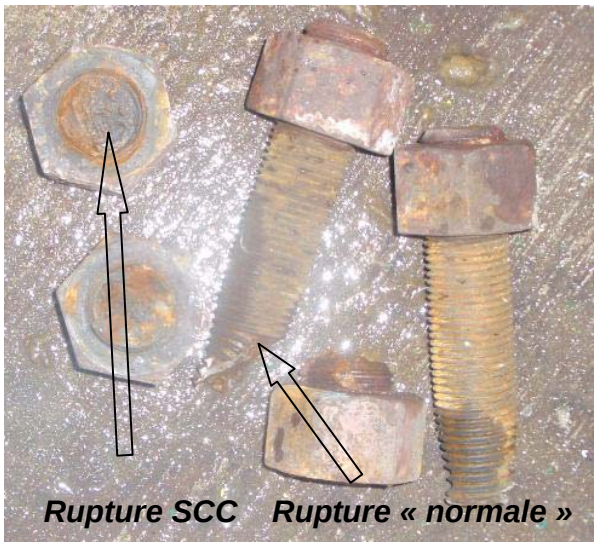
Vanne après le détachement de la coiffe

Coiffe qui s'est détachée

Cause du détachement de la coiffe

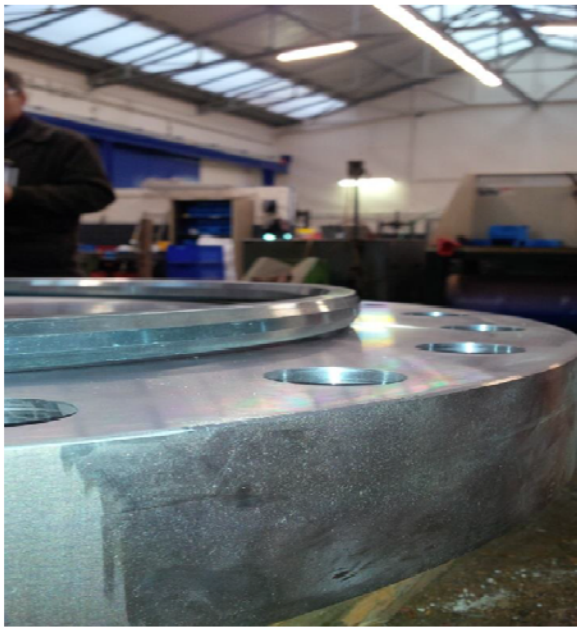
La coiffe s'est détachée en raison de la rupture soudaine des tiges. L'analyse a démontré que quatorze des vingt tiges étaient gravement attaquées par de la corrosion sous tension (sous contrainte) caustique (en anglais, (caustic) Stress Corrosion Cracking, SCC - Voir également page 5). Les tiges présentaient un degré de corrosion compris entre 70 et 87 %. Six tiges (de 11 à 16) ne présentaient pas de symptôme de corrosion sous tension mais bien une rupture « normale ». Les tiges ont rompu lors de l'opération de réinjection effectuée en un point d'injection situé entre les boulons 1 et 2.





L'analyse a mis en avant le scénario suivant qui a conduit à la rupture des tiges :

1. La vanne présente, à la base, une erreur de conception ou de construction. Le diamètre de la gorge du RTJ dans la coiffe est trop petit (de cinq millimètres) - La tolérance ASME admissible s'élève à 0.13 millimètre. Cette erreur engendre le fait que le joint d'étanchéité standard de type RTJ n'est pas correctement placé dans la gorge. L'erreur de conception ou de construction n'était pas connue.



Joint d'étanchéité de type RTJ dans une copie de la bride de la coiffe - Photo de droite : Le RTJ se trouve en-dehors de la gorge - Photo de gauche : Le RTJ se trouve dans la gorge

2. L'erreur de conception ou de construction entraîne, avec un montage et une tension (310 N/mm^2) standards au niveau des tiges, un non-parallélisme au niveau de la bride de connexion. Afin d'obtenir quand même une bride parallèle, plusieurs tiges doivent être soumises à une tension proche de la limite élastique basse. Des mesures au laser ont démontré que la coiffe avait pris la forme d'un parapluie. Cet élément est également le signe d'une tension élevée au niveau des tiges.

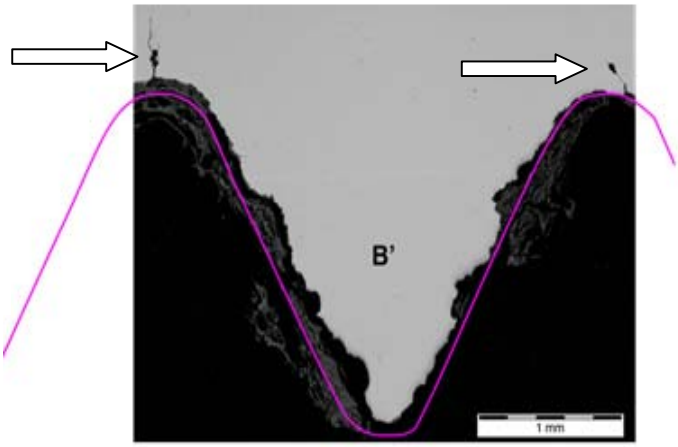
3. Après le « turnaround » de 2009, des fluctuations ont été observées au niveau de la qualité de l'eau de chaudière du système concerné. Ces fluctuations ont entraîné un certain nombre de fuites ainsi que le placement d'un certain nombre de boîtes d'étanchéité au niveau du système d'eau de chaudière mais ne constituent pas en soi une cause de l'accident.

4. En mars 2011, une boîte d'étanchéité a été installée autour de la bride qui a défailli. Cette opération a permis de rendre la bride à nouveau étanche. Le fait que des tiges, au niveau de la bride de connexion, soient soumises à une tension proche de la limite élastique basse (environ 600 N/mm^2 à 300°C) n'était pas connu. Voir également point 2.

5. Après le placement de la boîte d'étanchéité, la tuyauterie dans laquelle est située la vanne est restée hors service pendant cinq mois. Fin 2012, elle a à nouveau été mise hors service pendant six semaines. Pendant la période d'arrêt, une fuite visible est apparue une seule fois et une seule réinjection a été réalisée. La vanne a été maintenue sous pression (70 bar), mais à basse température. Dans cet état (basse température), de l'eau de chaudière a pu parvenir, par contraction, au niveau de la connexion entre la bride et la boîte d'étanchéité. De ce fait, un milieu corrosif, dans lequel un certain nombre de tiges ont été soumises à de la corrosion généralisée, était présent. Ainsi, la couche de protection des tiges (filet enroulé) contre la corrosion sous tension a été complètement corrodée.
   Il est également possible que des microfissures initiales aient déjà été présentes suite à des « atteintes » (la dureté de l'écrou et celle de la tige sont pratiquement identiques) lors de la mise sous tension des tiges.

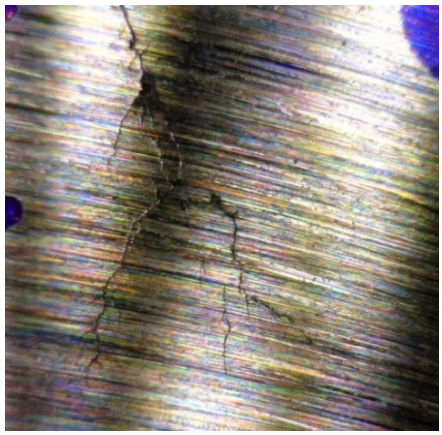
Fissures SCC dans le creux du filet

Pas du filet corrodé par de la corrosion généralisée - En gris clair, la tige - La ligne mauve est la forme du filet (cfr. norme)



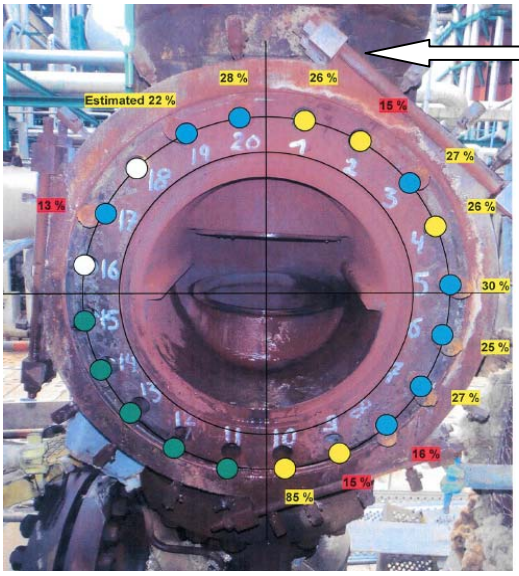
6. Après la remise en service de la tuyauterie (fin 2011), la bride de connexion a encore fui à plusieurs reprises et un certain nombre de réinjections ont été effectuées. À ce moment, une corrosion sous tension (caustic SCC) accélérée se produit au niveau des tiges. L'eau de chaudière qui fuit s'évapore et dépose un résidu caustique sur les tiges déjà corrodées.

Tige avec « ancienne » fissure SCC et fissure restante



Fissure SCC au microscope

7. Le 19 novembre 2013, les techniciens réalisent une réinjection au niveau de la bride de connexion fuyarde, dont les tiges sont gravement attaquées. La tension supplémentaire, produite durant les travaux, est suffisante pour causer la rupture d'une (ou de plusieurs) tiges attaquées. Les tiges attaquées restantes ne peuvent reprendre la force supplémentaire. Une réaction en chaîne se produit, toutes les tiges se rompent et la coiffe (avec le moteur) se détache en une fois, engendrant une explosion de vapeur.



Emplacement de la réinjection, à l'endroit des tiges attaquées. La vanne d'injection disparue a été retrouvée au niveau du tuyau de la pompe d'injection

<u>Qu'est-ce que la corrosion sous tension (sous contrainte) - SCC ?</u>

Il s'agit d'une forme de corrosion qui induit des fissures, sous l'influence de l'action simultanée d'un milieu corrosif et de contraintes de traction (élevées). En l'absence de contraintes de traction élevées, le métal ne serait d'ordinaire pas ou à peine attaqué par le même milieu. D'autre part, en l'absence d'un milieu corrosif, les contraintes de traction nécessaires pour faire céder le matériau sont beaucoup plus élevées. L'abréviation SCC (Stress Corrosion Cracking) est souvent utilisée pour désigner la corrosion sous tension (sous contrainte). Dans le cas présent, il s'agit de corrosion sous tension caustique.

<u>Causes de la corrosion sous tension caustique (caustic SCC)</u>

- Milieu corrosif (caustique / électrolyte → eau de chaudière)
- Matériau sensible (tiges de type B7 attaquées par de la corrosion généralisée)
- Contraintes de traction élevées (tiges soumises à une tension proche de la limite élastique afin d'obtenir une bride parallèle)
- Température > 60-70°C (la température du procédé est de 290°C)

<u>Remarque</u> : Les tiges attaquées se sont toutes rompues à l'interface entre l'écrou et la bride. C'est à cet endroit que se produisent les tensions les plus importantes dans les tiges.

Étude complémentaire de connexions similaires

- Aucune des tiges (> 200 pièces) des brides de connexion restantes autour desquelles une boîte d'étanchéité était placée ne présentait de corrosion généralisée et / ou de corrosion sous tension. Toutes ces brides étaient situées dans le même système (même milieu et mêmes conditions)
- Les boîtes d'étanchéité ont été placées pratiquement à la même période. Plusieurs réinjections avaient déjà été réalisées au niveau de toutes ces boîtes d'étanchéité
- Les mêmes types de produits d'étanchéité sont utilisés
- Cette partie du système n'avait pas été mise hors service / n'avait pas été maintenue à basse température

La boîte d'étanchéité n'était pas conçue pour reprendre la force axiale supplémentaire résultant de la rupture des tiges

Un dispositif « strongback » pour reprendre une force axiale supplémentaire au niveau des boulons d'une bride n'était pas une conception standard pour de l'eau de chaudière à haute pression. Ceci fut regardé dans chaque cas sur base du résultat du calcul des boulons de la bride. Lors du calcul, il a été considéré que (1) les tiges sont en bon état et (2) la charge est uniformément répartie.

Résumé

- En raison d'une erreur de conception ou de construction, le joint d'étanchéité de type RTJ n'est pas correctement placé dans la gorge de la coiffe. Les tiges doivent être serrées de façon excessive, ce qui entraîne une tension élevée au niveau des tiges.

- Des fluctuations au niveau de la qualité de l'eau de chaudière ont conduit à des fuites et au placement de boîtes d'étanchéité.

- Suite à un arrêt de cinq mois, à basse température, les tiges ont été attaquées par de la corrosion généralisée et sont ainsi devenues sensibles à la corrosion sous tension.

- Lors de la remise en service de la tuyauterie, toutes les conditions (tension élevée, milieu caustique, tiges sensibles et température suffisamment élevée (> 60-70°C)) étaient réunies pour une attaque rapide par corrosion sous tension.

- Lors de la réinjection, des tensions supplémentaires se sont produites. Elles ont provoqué la rupture des tiges attaquées par de la corrosion sous tension.

- Un dispositif « strongback » n'était pas prévu.

Enseignements

- L'inspection visuelle ne fournit pas de certitude suffisante quant à l'état des tiges ou d'autres éléments pertinents.

- La corrosion sous tension peut se développer très rapidement. Des tiges en bon état peuvent, si les conditions nécessaires sont présentes, se dégrader très rapidement à cause de la corrosion sous tension.

- En cas de réinjections, l'état des boulons est un des éléments qui doit également être évalué lors de l'analyse des risques. Les forces supplémentaires sur les tiges, résultant d'une réinjection, ne posent pas de problème pour des tiges en bon état soumises à une tension normale. Il faut prêter une attention particulière au cas où l'état des tiges et la tension dans les tiges ne sont pas connus. Il faut également être très attentif si des fuites se produisent à maintes reprises. Lors de l'évaporation de l'eau de chaudière, un résidu caustique peut être déposé sur les tiges.

- Une attention supplémentaire est exigée en cas de présence d'un dépôt blanc sur les tiges des brides.

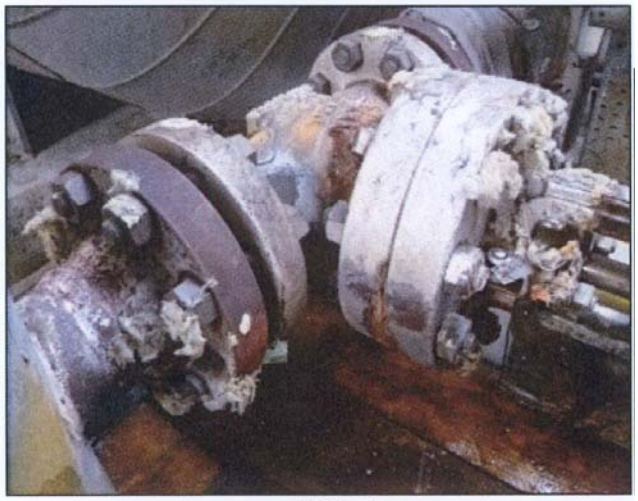


FIG 1

- La corrosion sous tension requiert des contraintes de traction (élevées) dans le matériau **et** un milieu corrosif. Une attention supplémentaire est donc également exigée en présence de milieux corrosifs tels que, mais non limités à :

  - Eau de chaudière
  - Eau d'alimentation de chaudière
  - Caustique

(Suite des Enseignements)

- En ce qui concerne la tension dans les tiges :
  L'historique de brides (fuyardes) exige de l'attention et doit être enregistré (principalement, ce qui s'est produit au niveau des tiges et des brides). Sécuriser de façon incontrôlée (il s'agit souvent de la première action en cas de constatation d'une fuite) est une opération (très) peu recommandée qui doit être évitée. L'utilisation de clés dynamométriques manuelles ou hydrauliques est très fortement conseillée.

- Il faut prêter une attention supplémentaire aux combinaisons de facteurs (tension dans le matériau, milieu corrosif, arrêt (temporaire) des installations, fonctionnement de l'installation en-dehors des conditions opératoires normales, tensions / forces supplémentaires résultant des travaux, …).

- Différentes normes (ASME, RToD) permettent différents calculs. Ceci conduit à différents résultats pour des mêmes situations. C'est pourquoi, en cas de situations à hauts risques comprenant de nombreux facteurs inconnus, un dispositif « strongback » doit être prévu, quel que soit le résultat du calcul.

- Il est recommandé de tenir à jour, pour chaque boîte d'étanchéité installée, un dossier reprenant toutes les informations techniques pertinentes.

- Dans pratiquement tous les cas, la réparation de la fuite ne fera pas disparaître la cause de la fuite (corrosion, érosion, matériau défectueux, …). Les boîtes d'étanchéité doivent, par conséquent, être considérées comme une réparation temporaire et non définitive. Il est recommandé, si l'occasion se présente (par exemple, lors d'un « turnaround » planifié) et si les travaux peuvent être effectués en toute sécurité, d'enlever les boîtes d'étanchéité et d'effectuer une réparation définitive.

Points d'attention complémentaires (ont eu pas ou peu d'influence sur la situation décrite)

- Le risque de fragilisation par l'hydrogène (hydrogen embrittlement) doit être étudié. Les produits pouvant mener à ce phénomène sont notamment :

  - Le fluorure d'hydrogène
  - Les produits contenant du sulfure d'hydrogène (H_2S)

- Les lubrifiants qui sont appliqués au niveau des tiges sont également connus comme possibles sources de corrosion sous tension. Ceci concerne notamment les lubrifiants contenant du disulfure de molybdène.

- En cas de (presqu') accident, peu d'informations sont partagées. Au plus le partage de connaissances à propos d'incidents et d'accidents est important, au moins le nombre d'accidents sera élevé. Efforçons-nous de partager plus d'informations. Ceci aide tout le monde.