

Rupture d'un réservoir de stockage de pétrole

25 octobre 2005

Kallo – Belgique

Rupture
Dépôt de liquides inflammables
Bac de stockage
Pétrole brut
Corrosion
Contrôle périodique
Mesures d'épaisseur

LES INSTALLATIONS CONCERNÉES

Dans le dépôt d'une raffinerie 7 réservoirs sont implantés dans une seule grande cuvette de rétention en terre, des murs intermédiaires moins élevés, en terre, séparant les réservoirs :

- ✓ 4 réservoirs de stockage de pétrole brut : D1, D2, D3 et D4 ;
- ✓ 2 réservoirs pour le stockage multifonctionnel de pétrole brut ou le stockage de mélanges de résidus de pétrole et d'eau de pluie : D10 et D11 ;
- ✓ 1 réservoir de stockage beaucoup plus petit D26 mais qui n'est plus en service.

Le pétrole brut est acheminé par canalisation jusqu'au dépôt depuis le port de Rotterdam. Il est ensuite pompé vers la raffinerie sur l'autre rive de l'Escaut où il est traité.

Le dépôt pétrolier est autorisé par décision du Comité Permanent de la Province de l'est des Flandres pour une durée de 20 ans, du 7 février 1991 au 6 février 2011 pour le stockage de 208 000 m³ de pétrole brut et relève de l'application de la directive SEVESO.

Du personnel est présent sur le dépôt le jour pendant les heures de travail. Le soir et la nuit, des rondes sont réalisées par une entreprise de surveillance. Le contrôle permanent du dépôt (à l'aide de caméras) et le remplissage ou la vidange des réservoirs de stockage sont entièrement pilotés à partir de la salle de contrôle de la raffinerie.

L'ACCIDENT, SON DÉROULEMENT, SES EFFETS ET SES CONSÉQUENCES

L'accident :

Le 25 octobre 2005 vers 18h15, dans la salle de contrôle de la raffinerie, les opérateurs constatent que le contenu du réservoir de stockage D2 s'est déversé : l'indicateur de niveau affiche subitement le niveau le plus bas et une alarme se déclenche. Le réservoir contenait environ 37.000 m³ de pétrole brut. Des données provenant du système informatique de la salle de contrôle de la raffinerie démontrent que, après une courte période de débit de fuite croissant, la quasi-totalité du contenu total du réservoir s'est libéré en 15 minutes à peine.

Le 12 septembre 2005, une fuite s'était également produite sur le fond du réservoir D3 et les travaux de nettoyage venaient de débiter afin de déterminer les causes de cet incident.

Les conséquences :

Conséquences sur les installations

La libération du contenu du réservoir provoque un effet de vague qui submerge les murs en terre de la cuvette de rétention, hauts de plusieurs mètres à cet endroit ; 3 m³ de pétrole seulement se déversent à l'extérieur. Le pétrole libéré

recouvrir la totalité de la surface de la cuvette (environ 4 ha) sur une hauteur allant jusqu'à 1 m. Le réservoir est incliné et ses fondations sont partiellement emportées.

Conséquences sur l'environnement

- ✓ *Pollution de l'air* : Le pétrole brut déversé dans la cuvette de rétention dégage une forte odeur qui se répand sur une large zone autour du dépôt. Du fait du fort vent en direction nord-ouest, elle sera ressentie le soir de l'accident à proximité de la frontière avec les Pays-Bas. Malgré les mesures prises par l'exploitant pour réduire les nuisances olfactives (déversement de mousse et de sable sur la cuvette), des plaintes seront encore reçues plusieurs jours après l'accident. Une autre série de plaintes sera enregistrée 2 semaines plus tard jusqu'au 11 novembre, date à laquelle le toit flottant du bac s'effondre, le joint n'étant plus opérationnel.

Figure 1. Photo de la situation dans la cuvette de rétention le matin suivant l'accident.

Photo DR



- ✓ *Pollution des eaux superficielles* : Une très légère pollution des eaux superficielles est constatée. Les 3 m³ de pétrole brut déversés à l'extérieur ont provoqué une pollution restreinte d'un fossé du polder situé à l'extérieur du terminal pétrolier.
- ✓ *Pollution des sols* : La strate supérieure de la cuvette de rétention est constituée d'une couche de 50 cm de sable, située au dessus d'une strate d'argile d' 1,20 m d'épaisseur elle-même recouvrant une strate de sable de 3 m d'épaisseur. Des échantillons du sol prélevés montrent que l'argile a stoppé la pollution. Les sols au dessus de l'argile sont pollués sur toute la surface de la cuvette de rétention.

Des échantillons de sol sont aussi prélevés de l'autre côté de la route proche du dépôt dans une zone naturelle. Après la rupture, une zone d'herbe est recouverte d'une "brume" de pétrole brut. Une analyse démontrera l'absence de pollution des sols dans cette zone.
- ✓ *Pollution des eaux souterraines* : Des analyses montreront que l'accident n'a pas eu d'impact sur les eaux souterraines. Des augmentations de concentration en benzène ont d'abord été mesurées près du bac D2 mais la situation est revenue à la normale après excavation des terres polluées.

Conséquences humaines : L'accident n'a eu aucune conséquence humaine.

Echelle européenne des accidents industriels :

En utilisant les règles de cotation des 18 paramètres de l'échelle officialisée en février 1994 par le Comité des Autorités Compétentes des Etats membres pour l'application de la directive 'SEVESO', l'accident peut être caractérisé par les 4 indices suivants, compte tenu des informations disponibles.

Matières dangereuses relâchées		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conséquences humaines et sociales		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conséquences environnementales		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conséquences économiques		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Les paramètres composant ces indices et le mode de cotation correspondant sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.aria.ecologie.gouv.fr>.

Le niveau de l'indice "Matières dangereuses relâchées" est de 4 du fait des 30.000 t environ de pétrole brut déversées (paramètre Q1).

Le niveau 3 atteint par les conséquences environnementales est justifié par les 4 ha de sols pollués (paramètre Env 13).

L'indice relatif aux conséquences économiques est de 5 du fait du coût élevé des mesures de dépollution (paramètre € 18).

Aucune conséquence humaine et sociale n'a été recensée.

L'ORIGINE, LES CAUSES ET LES CIRCONSTANCES DE L'ACCIDENT

Données relatives à la construction et historique du réservoir de stockage D2 :

Le réservoir D2 est un bac de stockage atmosphérique de 54,5 m de diamètre et 17 m de haut, doté d'un toit flottant externe et d'un fond légèrement cônique (« cone-up »). De ce fait, l'eau présente dans le pétrole brut ruisselle vers les parois du réservoir et s'écoule par un système de drainage. Le bac est également équipé de 2 mélangeurs destinés à mettre en suspension une partie des dépôts présents dans le pétrole brut.

Les fondations sont constituées d'un anneau de pierres dont la taille varie entre 5 et 15 cm. D'une hauteur de 1,20 m, dont une partie située en dessous du niveau du sol, l'anneau est large de 3,40 m à la base et de 1 m en partie supérieure. La paroi du réservoir est située à peu près au milieu de la largeur de l'anneau de pierre. Le volume intérieur de l'anneau en pierre est rempli de sable compacté recouvert d'une couche de 5 cm de sable huileux, pour éviter la corrosion externe du fond. La figure 2 donne une représentation schématique des fondations du réservoir.

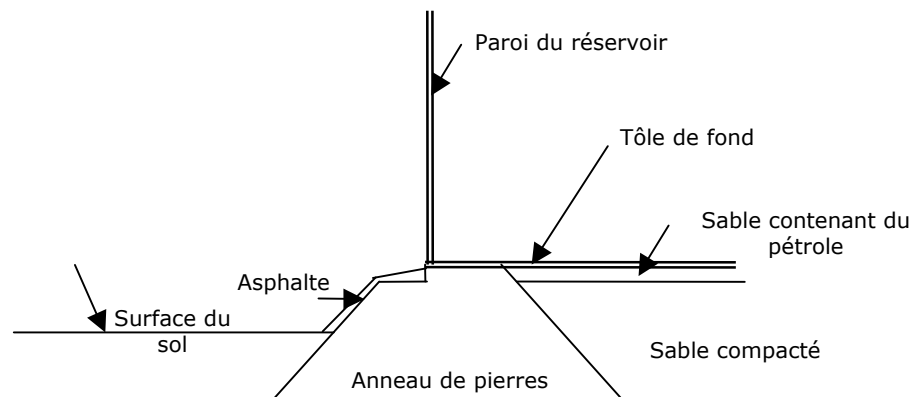


Figure 2: Représentation schématique des fondations du réservoir

Les tôles de bordure annulaire (tôles de fond sur lesquelles repose la paroi du réservoir), ont une épaisseur d'origine de 12,7 mm, contre 6,35 mm pour les autres tôles de fond.

Le réservoir de stockage a été construit en 1971 suivant la norme de construction API 650 et le dépôt était exploité par une société indépendante de la raffinerie. En 1990, il a été vendu à la raffinerie et tous les réservoirs ont été inspectés et réparés si nécessaire. Après inspection, le bac D2 a été remis en service en 1991.

Depuis 1994, une inspection externe du bac était réalisée tous les 3 ans, la prochaine était prévue en 2006, après achèvement de celle du bac similaire D1. Les rapports d'inspections ne contiennent pratiquement pas de remarques. Des mesures d' "affaissement" des réservoirs étaient également réalisées tous les 3 ans. Les dernières mesures réalisées en 2004 ne montraient aucun affaissement anormal.

Constatations après la rupture du réservoir :

L'enquête approfondie réalisée après l'accident révélera une corrosion interne uniforme des tôles de fond à 1,5 m de la paroi, sur une bande de 35 m de long sur 20 cm de large où s'était formée une rigole. Au niveau de cette bande, l'épaisseur des tôles était presque nulle (figure 3).

Les tôles de fond n'ont montré, dans cette zone, aucun signe de corrosion externe.

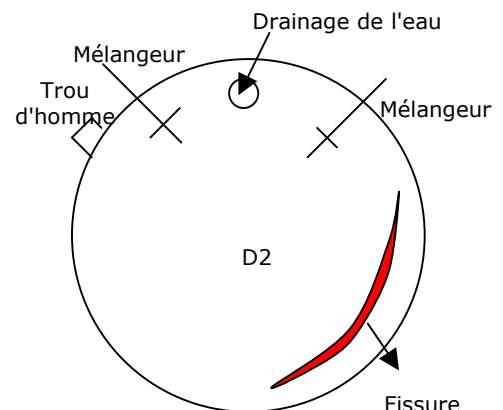


Figure 3: Représentation schématique du fond du réservoir de stockage D2

Causes directes :

Pendant son exploitation, une cavité en forme de sillon s'est formée dans le fond du réservoir D2 à environ 1,5 m de la paroi du réservoir. Localement, l'eau ne pouvait donc plus ruisseler vers le système de drain. La longue rigole étroite s'est alors corrodée entraînant à cet endroit une perte importante d'épaisseur des tôles.

Une petite fuite de pétrole brut a saturé le sable compacté sous le fond du réservoir conduisant à la formation d'une sorte de lit fluidisé de pétrole et de sable. Cette fuite n'a pu être détectée visuellement car l'anneau de fondation en pierre contenait de nombreuses cavités qui se sont d'abord remplies de pétrole. Dans une deuxième phase, la fluidification du sable et la pression du pétrole sur le fond du réservoir ont contribué à diminuer localement la résistance des fondations sous le réservoir qui s'est alors déchiré sur la longueur du sillon. L'écoulement du produit sortant est devenu suffisamment important pour entraîner avec lui une partie des fondations du réservoir et du sol en dessous.

Causes indirectes :

La rigole s'était sans doute déjà formée lors du premier test hydrostatique du réservoir de stockage. En effet, lors d'une première charge, le lit de sable se compacte davantage, et une partie du sable s'infiltre dans les cavités entre les pierres de la fondation, provoquant la formation d'un sillon creux dans le lit de sable. Avec le poids du produit contenu dans le bac, la tôle de fond s'est déformée suivant ce sillon en constituant une cavité en forme de rigole. Sur la base des données relatives aux fondations du réservoir combinées avec les caractéristiques du sous-sol et du bac, la formation de la rigole peut être démontrée mathématiquement par la méthode des éléments finis.

Cette rigole n'a pas été découverte lors du contrôle interne réalisé en 1990-1991, probablement en raison, d'une part de la technique d'inspection utilisée et, d'autre part du fait que le bac était vide. En effet, la déformation élastique des tôles peut alors l'avoir partiellement dissimulée. Lors de cette inspection interne, l'absence de corrosion par piquage avait été vérifiée pour toutes les tôles de fond. Leur épaisseur a également été mesurée à des points déterminés du fond du réservoir selon la méthode des "mesures en croix" : mesures sur 2 axes perpendiculaires sur le diamètre complet du bac. Les points de piquages détectés avaient fait l'objet de réparations. Les mesures d'épaisseur sur les tôles de fond avaient donné des résultats satisfaisants.

L'eau présente dans le pétrole ne pouvant plus être complètement évacuée vers le système de drainage, elle a accéléré la corrosion dans la rigole.

LES SUITES DONNÉES

Mesures d'urgence :

Les services de secours sont intervenus en nombre et ont, dans un premier temps, essayé de recouvrir la surface de la cuvette de rétention avec de la mousse. Cette opération n'a pas pu être réalisée complètement en raison de l'étendue de la rétention et du vent soutenu qui a propagé les odeurs de pétrole dans un large voisinage mais a néanmoins permis de réduire les risques d'explosion et d'inflammation. La rupture du réservoir a été très médiatisée au niveau national.

Le pétrole brut des autres bacs a été pompé le plus rapidement possible vers la raffinerie et le contenu de la cuvette de rétention a été transféré dans les réservoirs D10, D11 et D4 en utilisant le système de pompe présent pour l'évacuation des eaux. La mise en sécurité du dépôt a également été engagée pour permettre le nettoyage du site.

Dans l'après-midi du 27 octobre, la cuvette était pratiquement vide. Une couche de sable a été répandue pour remédier définitivement aux nuisances olfactives. Cette opération a duré environ 2 semaines.

La stabilité de tous les bacs a été périodiquement mesurée. Au niveau des fondations endommagées du réservoir D2, la stabilité a été assurée en soutenant le bac à l'aide de quatre grandes grues (figure 4).



Figure 4: Grandes grues utilisées pour stabiliser le réservoir D2
Photo DR

Le 18 novembre, l'intervention est terminée, les stockages du terminal étant vides.

Mesures prises par l'entreprise :

Après cet accident, l'exploitant a inspecté tous les autres réservoirs du dépôt. Plusieurs autres bacs présentait des défauts similaires à ceux du stockage D2 (rigole et corrosion à 1,5 m de la paroi). Pour certains, la longueur du sillon n'était que de quelques mètres, alors que pour d'autres, elle était du même ordre de grandeur que pour D2. La perception à l'oeil nu de la rigole différait aussi fortement d'un bac à un autre. Les mesures réalisées ont démontré que l'épaisseur du fond avait été réduite localement à cet endroit. Pour quelques réservoirs, de petites perforations de la tôle de fond ont également été constatées, alors que pour le réservoir de stockage D1, l'épaisseur du fond au niveau de la rigole était encore de plus de 4 mm.

Les premiers relevés d'épaisseur réalisée sur le bac D1 n'ont pas permis de repérer de variation d'épaisseur. C'est seulement après qu'un géomètre ait cartographié la surface totale du fond, que la présence de la rigole et une réduction locale de l'épaisseur des plaques de fond atteignant 4 mm ont pu être détectées.

Ces inspections ont démontré que la fuite dans le réservoir D3 décelée le 12 septembre 2005 avait les mêmes causes que celles de la rupture du bac D2. Cependant, la rigole dans D3 était beaucoup plus courte que dans D2. Après un certain temps, la fuite s'est probablement arrêtée grâce à des sédiments du pétrole brut qui ont obstrué les endroits perforés.

Le réservoir D2 a été démantelé. Les parties des tôles de fond des autres bacs dont l'épaisseur et/ou les déformations ne satisfaisaient plus aux conditions de l'API 653 ont été réparées. Les fondations des autres réservoirs ont été examinées pour s'assurer de leur stabilité.

Avant remise en service, les bacs de pétrole brut ont été revêtus d'une couche protectrice pour les prémunir contre la corrosion interne ou d'en arrêter la progression.

L'exploitant a pris plusieurs mesures de nettoyage et de réhabilitation de l'environnement. Sur la base des résultats des prélèvements de sol effectués, les terres polluées ainsi que le sable utilisé pour recouvrir le pétrole dans la cuvette de rétention sont excavés sur une zone de 4 ha et une profondeur de 10 cm à 1 m pour ensuite être traités. Plusieurs points de diffusion d'agents masquants sont installés autour du dépôt pour prévenir toute pollution olfactive durant les opérations de nettoyage. Le pétrole brut déversé, "contaminé" avec 214 t de mousse d'extinction, est pompé dans la cuvette de rétention. Le fossé du polder en dehors du site est nettoyé. Enfin, plusieurs piézomètres sont ajoutés au réseau existant afin de détecter une éventuelle pollution des eaux souterraines et de surveiller la qualité de l'eau.

Pour la remise en service du dépôt, l'exploitant a engagé les mesures de surveillance suivantes :

- ✓ Analyse du caractère corrosif de l'eau évacuée (mesure du pH), l'eau décantée dans le fond des réservoirs étant éliminée à intervalles réguliers.
- ✓ Adaptation du programme d'inspection des réservoirs : entre deux inspections internes successives, des mesures par émissions acoustiques seront réalisées. En fonction des résultats, l'échéance de la prochaine inspection interne sera éventuellement revue. Lors d'une inspection interne des bacs, l'état général du fond sera tout d'abord examiné visuellement. Au moindre doute, la carte de l'épaisseur sera réalisée sur toute la surface du fond. En complément, 5 mesures d'épaisseur ponctuelles seront effectuées pour chaque tôle de fond.
- ✓ Détection ses fuites par mesure des différences de niveau dans les réservoirs de stockage de pétrole brut et installation d'une alarme. De tels systèmes étaient déjà en place sur les bacs de la raffinerie. De plus, une étude sur la faisabilité d'une détection de la présence d'hydrocarbure sous les réservoirs a été lancée.

LES ENSEIGNEMENTS TIRÉS

Détection du problème :

Cet incident illustre les risques inhérents à la présence de phases non miscibles qui décantent. Ces dernières doivent donc être prises en compte dans l'identification des phénomènes possibles de corrosion et analysées pour estimer leur comportement corrosif (composition, pH).

Cet incident révèle en outre que des rigoles peuvent se former dans le fond des réservoirs de stockage et retenir des substances stagnantes générant des phénomènes de corrosion.

La formation potentielle de rigoles est liée à la combinaison des dimensions du bac de stockage, de la compressibilité locale des fondations et du caractère élastique du sous-sol. Les rigoles elles-mêmes ne sont pas toujours visibles à l'oeil nu mais peuvent être décelées par un relevé topographique approfondi à l'aide d'un laser par exemple.

Une corrosion locale ou uniforme est tout aussi complexe à détecter. La diminution locale de l'épaisseur de la tôle de fond peut facilement rester inaperçue si on se limite à des mesures d'épaisseur en croix. Si le risque de corrosion locale par formation de sillon existe, des techniques de contrôle des tôle de fond adaptées doivent être mises en place.

Solutions possibles :

Différentes mesures contribuant à limiter la formation de rigoles et de corrosion sont listées ci-dessous. Selon les situations, il peut être utile de les combiner.

1. Eviter ou limiter la présence de substances corrosives qui peuvent décanter.
2. Mélanger le contenu du réservoir pour diminuer la quantité décantée.
3. Mettre en place une procédure pour éliminer les substances décantées, leur drainage ne garantissant pas l'élimination totale des dépôts hors des éventuelles rigoles.
4. Eviter la formation de rigoles.
Les réservoirs de stockage existants peuvent être soulevés et leurs fondations peuvent être renforcées. Cependant, une analyse des fondations et du sous-sol, complétée si besoin par une modélisation, est souhaitable lors de l'épreuve hydraulique qui va provoquer une consolidation des fondations. Pour les nouveaux bacs, un calcul détaillé des fondations doit être réalisé pendant la phase de conception.
5. Déposer une couche de revêtement protecteur résistant à la corrosion, selon certaines techniques, sur le fond du réservoir et le premier mètre la virole. La norme API 652 détaille les avantages et les inconvénients des différents types de couches de revêtement protecteur.
6. Planifier des inspections internes sur la base de la vitesse de corrosion estimée à partir de l'analyse des produits décantés (par ex. mesure de pH) et de la vitesse générale de corrosion du matériel de construction. L'API 653 « Tank inspection, Repair, Alteration and Reconstruction » prescrit par exemple des épaisseurs minimales de tôles qui doivent être trouvées lors d'une inspection interne. Si des fluctuations peuvent être attendues dans la composition et les propriétés des résidus, ces analyses et le calcul de l'intervalle d'inspection devront être revus périodiquement. Les analyses de produits de décantation peuvent également être utilisées pour détecter d'autres phénomènes locaux (par ex. corrosion bactérienne). En cas de corrosion locale accrue, c'est la vitesse d'évolution de ce phénomène qui sera déterminante pour évaluer l'intervalle d'inspection.
7. Techniques d'inspection interne adaptées.
Les mesures d'épaisseur du fond en croix, donnant une image générale de l'épaisseur de la tôle, peuvent être insuffisantes pour détecter une corrosion locale ou uniforme. L'intégralité du fond doit être scannée. La technique du "floor scan", adaptée pour détecter les changements de volume brusques (par ex. corrosion par piquage), permet aussi de détecter des changements progressifs d'épaisseur sous les principales conditions préalables suivantes (absence d'influence du revêtement protecteur sur les mesures de couche, préparation soignée du bac, ...).

Le signal généré par un appareil de floor scanning peut être en proie à des dérives ce qui n'est pas pénalisant si c'est la corrosion par piquage qui est recherchée car la variation du signal est importante. En revanche, pour détecter des diminutions progressives d'épaisseur, le signal peut être étalonné à partir de quelques mesures d'épaisseur par tôle de fond.
8. Techniques d'inspection externes complémentaires sur les réservoirs en service, ne permettant pas de déterminer quantitativement la vitesse de corrosion, mais recommandées lorsqu'il existe de grandes incertitudes sur le phénomène de corrosion et/ou la vitesse de corrosion :
 - ✓ Mesures d'émission acoustique, réalisées avec des microphones placés sur la paroi du réservoir, permettant de dresser une cartographie des degrés d'activité de la corrosion sur la surface de la tôle dont la connaissance est nécessaire pour réévaluer et ajuster les intervalles d'inspections.
 - ✓ Le « long range ultrasonics » permettant d'obtenir, à l'aide d'ondes dirigées, une image qualitative de l'état des tôles de bordure annulaire mais pas de la totalité du fond.
9. Techniques de détection des fuites sur un réservoir en service :
 - ✓ Mise en place de câbles, régulièrement disposés dans le sol, dont la conductivité change lors du contact avec un produit.
 - ✓ Suivi des déviations anormales du niveau de liquide, pouvant être relié à une alarme, pour détecter des fuites.