

Rapport d'enquête

Sur la fuite de produit survenue
au sein du site industriel
TotalEnergies Raffinage France
situé à Donges (44) le 21
décembre 2022

Bordereau documentaire

Organisme auteur : Bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels (BEA-RI)

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur la fuite de produit survenue au sein du site exploité par TotalEnergies Raffinage France de Donges (44) le 21 décembre 2022

N° : MTE-BEARI-2023-008

Date du rapport : 06 décembre 2023

Proposition de mots-clés : fuite de produit, essence, agitateur, hélicomélangeur, stockage de liquides inflammables, maintenance préventive, cuvette de rétention

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 501-1 à L. 501-19 du Code de l'Environnement.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents. Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

Au titre de ce rapport on entend par :

- Cause de l'accident : toute action ou événement de nature technique ou organisationnelle, volontaire ou involontaire, active ou passive, ayant conduit à la survenance de l'accident. Elle peut être établie par les éléments collectés lors de l'enquête, ou supposée de manière indirecte. Dans ce cas le rapport d'enquête le précise explicitement.

- Facteur contributif : élément qui, sans être déterminant, a pu jouer un rôle dans la survenance ou dans l'aggravation de l'accident.

- Enseignement de sécurité : élément de retour d'expérience tiré de l'analyse de l'évènement. Il peut s'agir de pratiques à développer car de nature à éviter ou limiter les conséquences d'un accident, ou à éviter car pouvant favoriser la survenance de l'accident ou aggraver ses conséquences.

- Recommandation de sécurité : proposition d'amélioration de la sécurité formulée par le BEA-RI, sur la base des informations rassemblées dans le cadre de l'enquête de sécurité, en vue de prévenir des accidents ou des incidents. Cette recommandation est adressée, au moment de la parution du rapport définitif, à une personne physique ou morale qui dispose de deux mois à réception, pour faire part au BEA des suites qu'elle entend y donner. La réponse est publiée sur le site du BEARI.

Synthèse

Le 21 décembre 2022 à 19h20, au sein du site TotalEnergies Raffinage France de Donges (44), une fuite importante d'essence au niveau d'un agitateur équipant un bac contenant 30.000 m³ de produit est détectée. Le lendemain matin elle sera fortement réduite par une intervention des mécaniciens du site.

Depuis la veille, le bac était en cours de vidange dans un navire présent au niveau de l'apportement. Les opérations de dépotage ne seront pas stoppées par l'évènement pour permettre l'abaissement du niveau du bac au-dessous du niveau de l'agitateur.

En parallèle des opérations destinées à vider le bac et à limiter le débit de fuite, il est mis en place un tapis de mousse pour couvrir, dans la cuvette de rétention, le produit épandu. Ce tapis sera maintenu en position jusqu'à vidange de la cuvette avec pour double objectif d'éviter un départ de feu dans la rétention et de limiter, du fait de la volatilité du produit, son évaporation.

La fuite a été causée par des desserrages et une rupture mécanique au sein d'un agitateur dont le sens de rotation de l'hélice n'était pas conforme à la conception de l'appareil. L'indisponibilité d'un capteur d'hydrocarbure a retardé la détection de la fuite.

Les principaux facteurs contributifs de cet évènement sont :

- Les conditions de réalisation de la maintenance des équipements ;
- Le contrôle des équipements ;
- L'étanchéité/état de surface de la cuvette de rétention ;
- L'isolement des eaux d'extinction ;
- La dimension de la cuvette.

Les principaux enseignements de sécurité sont l'importance de la qualité et du suivi de la maintenance des équipements critiques ou susceptibles d'être à l'origine d'une fuite importante, et la définition des périodicités de visites des réservoirs et de leurs accessoires. Enfin le dimensionnement des cuvettes de rétention doit faire l'objet des études technico-économiques ad-hoc.

Le BEA-RI formule à l'attention de l'exploitant les recommandations suivantes :

- **Prévoir les circuits permettant en cas de fuite alimentée de transférer le contenu d'un bac vers un autre mode de stockage (autre bac, capacité mobile ou tout autre mode de stockage). Ces circuits peuvent être pérennes ou doivent pouvoir être mis en place dans des délais compatibles avec les processus de vidange des cuvettes en cas d'épandage de produits ;**
- **Prévoir, notamment dans son POI, les circuits de récupération des eaux issues des cuvettes lors de tout évènement (incendie, déversement, ...) permettant leur isolement non seulement du milieu naturel mais également d'autres eaux (process, pluviales, ...);**
- **S'assurer que l'utilité d'un accessoire soit bien évaluée au regard des risques qu'il peut occasionner ;**
- **Prendre en compte les différents accessoires dont la maintenance ne peut être réalisée qu'hors exploitation, dans les études permettant d'identifier le niveau de criticité du réservoir et de prolonger l'intervalle entre deux visites hors exploitation ;**

- Intégrer des contrôles de l'état de ces accessoires lors des visites externes détaillées (par exemple contrôle par démontage du couvercle des hélicomélangeurs);
- S'assurer qu'il dispose bien d'une étude technico-économique validée par les services d'inspection justifiant de la taille des cuvettes, de leur constitution et de leur entretien de manière à garantir l'adéquation entre ces critères et les objectifs de protection et d'intervention fixés par l'arrêté du 3 octobre 2010;
- Renforcer les contrôles lors de la réception de travaux de maintenance effectués hors site;
- Procéder au contrôle des équipements similaires (agitateurs) sur le site pour s'assurer de leur bon état;
- La défaillance du premier hélicomélangeur aurait pu alerter l'exploitant sur la fragilité et la criticité de ce type d'équipement et l'amener a minima à revoir la périodicité de visite et à s'interroger sur la prise de risque liée à son maintien sur site. **Le BEA-RI invite l'exploitant à formaliser le retour d'expérience qui peut être tiré des défaillances subies par les hélicomélangeurs équipant le site et particulièrement sur les deux équipant le bac. A minima seront menées une analyse du programme de maintenance et son adaptation en conséquence.**

Le BEA-RI recommande également à la Direction générale de la prévention des risques de veiller à ce que l'évaluation du niveau de criticité du réservoir intègre bien la prise en compte des échéances propres aux accessoires de réservoirs. L'article 29-4 de l'arrêté du 3 octobre 2010 pourrait par exemple être complété ainsi : « cette échéance doit également être compatible avec les échéances de maintenance des accessoires présents sur le bac ».

Enfin, afin que la modification proposée pour l'article 29-4 de l'arrêté du 3 octobre 2010, soit pleinement prise en compte, le BEA-RI recommande aux organisations professionnelles d'étudier la possibilité et la nécessité de compléter le guide d'inspection et de maintenance des réservoirs aériens cylindriques verticaux (DT 94) pour les mettre en cohérence avec l'évolution réglementaire envisagée.

Sommaire

I.	Rappel sur l'enquête de sécurité.....	8
II.	Constats immédiats et engagement de l'enquête	8
	II.1 Les circonstances de l'accident.....	8
	II.2 Le bilan de l'accident.....	9
	II.3 Les mesures prises après l'accident.....	9
	II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête	9
III.	Contextualisation.....	9
	III.1 La raffinerie de Donges.....	9
	III.2 L'installation.....	10
	III.2.1 Fonctionnement.....	10
	III.2.2 Équipement	10
IV.	Compte-rendu des investigations menées.....	15
	IV.1 Reconnaissance de terrain	15
V.	Déroulement de l'évènement.....	16
	V.1 Déclenchement de l'évènement.....	16
	V.2 L'intervention des secours publics.....	17
VI.	Conclusions sur le scénario de l'évènement.....	17
	VI.1 Scénario.....	17
	VI.2 Facteurs contributifs.....	20
	VI.2.1 Maintenance.....	20
	VI.2.2 Contrôle des équipements.....	20
	VI.2.3 Étanchéité / état de surface de la cuvette.....	21
	VI.2.4 Isolement des eaux d'extinction.....	21
	VI.2.5 Dimension de la cuvette.....	22
VII.	Enseignements de sécurité.....	23
	VII.1 Définition des périodicités de visite des réservoirs.....	23
	VII.2 Gestion de la maintenance	23
	VII.3 Limitation de la dimension des cuvettes.....	23
VIII.	Recommandations de sécurité.....	25
	VIII.1 À destination de l'exploitant.....	25
	VIII.1.1 Mise en place de circuit de vidange des bacs en cas de problème	25
	VIII.1.2 Gestion des eaux issues des cuvettes.....	25
	VIII.1.3 Prise en compte du risque de fuite sur les équipements de réservoirs.....	25
	VIII.1.4 Justification de la taille des cuvettes et de leur nature	25
	VIII.1.5 Procédure de maintenance.....	26
	VIII.1.6 Contrôle des équipements similaires	26
	VIII.1.7 Retour d'expérience interne.....	26
	VIII.2 À destination de la DGPR.....	26
	VIII.2.1 Prise en compte des équipements dans les délais d'inspection.....	26

VIII.3 À destination des organisations professionnelles.....	27
IX. Annexe.....	28
Annexe 1 Compte rendu d'expertise de l'hélicomélangeur.....	29

II.2 Le bilan de l'accident

La fuite de produit est estimée à 770 m³. La mise en place des mesures de protection généreront environ 3000 m³ d'effluents à traiter ainsi qu'un important volume de terre polluée issu du nettoyage de la cuvette.

Malgré la mise en place du tapis de mousse, des émanations seront perçues dans l'atmosphère à proximité du site et notamment dans la commune de Donges. Les moyens de mesure de l'exploitant ainsi que de ceux d'Air Pays de Loire seront mobilisés.

II.3 Les mesures prises après l'accident

À la suite de l'accident, l'installation a été consignée et mise en sécurité dans l'attente notamment d'inspections ultérieures. Avec l'accord du BEA-RI et des autorités compétentes, les deux agitateurs équipant le bac ont été démontés pour expertise et remplacés par des tampons.

II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête

Au vu des circonstances et du contexte de l'accident, le directeur du bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels (BEA-RI) a décidé l'ouverture d'une enquête après en avoir informé le directeur général de la prévention des risques.

La décision d'ouverture d'enquête a été communiquée au préfet de département ainsi qu'au procureur de la république conformément aux dispositions de l'article L. 501-7 du Code de l'Environnement.

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur le site de la raffinerie le vendredi 13 janvier 2023. Ils ont rencontré les représentants de TotalEnergies raffinage France ainsi que de la DREAL des Pays de Loire. Ils se sont également rendus à Saint-Nazaire le 1^{er} février 2023 pour assister à l'expertise de l'hélicomélangeur à l'origine de la fuite.

Ils ont recueilli les témoignages ou déclarations écrites des acteurs impliqués dans l'évènement et dans sa gestion. Ils ont eu, consécutivement à ces entretiens et aux réunions techniques organisées par la suite, communication des pièces et documents nécessaires à leur enquête.

III. Contextualisation

III.1 La raffinerie de Donges

En service depuis 1930, la raffinerie de Donges, exploitée par TotalEnergies Raffinage France, a une capacité de raffinage de 11 millions de tonnes de pétrole brut par an. Ses installations permettent d'obtenir par diverses opérations à partir du pétrole brut reçu par voie maritime, des carburants, combustibles et bitumes.

La plate-forme s'étend sur 350 hectares en bord de Loire et emploie 650 collaborateurs.

Les produits pétroliers et les gaz produits sont stockés dans des réservoirs à pression atmosphérique ou sous pression et dans un stockage souterrain de propane. Les produits sont réceptionnés et expédiés par voies maritime, ferroviaire et routière ainsi que par canalisations de transport.

La fuite de produit survenue le 21 décembre 2022 est l'objet de la troisième enquête du BEA-RI sur le site de la raffinerie de Donges. Les deux rapports précédents faisaient suite à une fuite sur une

canalisation de transport et à une perte d'alimentation électrique suite au sectionnement d'un câble d'alimentation sont disponibles sur le site internet du BEA-RI.

III.2 L'installation

III.2.1 Fonctionnement

L'évènement est survenu sur un bac de stockage de produits finis avant expédition. Ce réservoir permet de stocker de l'essence avec une teneur en soufre supérieure aux spécifications européennes (>200 ppm pour une limite à 10 ppm) destinée à un marché hors Europe.

Cette essence est obtenue par assemblage. Le mélange est réalisé en amont du stockage dans une installation dédiée. L'essence ainsi obtenue est stockée pour expédition dans un bac puis reprise par pompage pour être chargée dans des bateaux (15 000 m³ par bateau). Le chargement s'effectue à des débits supérieurs à 1200 m³/h. La raffinerie produit environ 400kt par an de ce type d'essence.

III.2.2 Équipement

Le bac

Le réservoir de stockage atmosphérique au niveau duquel est survenu l'accident est un bac en acier d'une capacité de 53 553 m³. Il est muni d'un toit flottant permettant de limiter l'évaporation du produit. Il a été construit en 1966 et était destiné initialement au stockage de pétrole brut.

Il est situé à l'ouest de la raffinerie et au sud du marais du Liberge, sur le territoire de la commune de Donges dont le centre-ville est situé à environ 800 mètres au nord-est du réservoir.



Figure n°1 : localisation du réservoir (crédit TotalEnergies Raffinage France)

Le bac est équipé de divers éléments :

- Un toit flottant ;
- Des vannes de pieds de bac, permettant le remplissage et la vidange du bac ;

- Des robinets de prise d'échantillon ;
- Des capteurs, permettant de connaître la hauteur de produit dans le bac ;
- Deux agitateurs en partie basse, permettent d'homogénéiser le produit (leur fonctionnement sera décrit ci-après) ;
- Des couronnes permettant de réaliser, lors d'un incendie, la protection et/ou l'extinction par arrosage à l'eau ou à l'eau dopée avec un émulseur.

L'entretien de ce type de bac est réglementé par l'arrêté ministériel du 3 octobre 2010, relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables, exploités au sein d'une installation classée pour la protection de l'environnement soumise à autorisation. Cet arrêté précise dans son article 29 les dispositions minimales en matière de surveillance de bac, des tuyauteries et des accessoires associés. L'arrêté distingue :

- Les visites de routine de périodicité annuelle ;
- Les inspections externes détaillées de périodicité cinq ans ;
- Les inspections internes détaillées de périodicité dix ans.

L'arrêté prévoit la possibilité de reporter l'inspection interne détaillée à condition que « *les résultats des dernières inspections permettent d'évaluer la criticité du réservoir à un niveau permettant de reporter l'échéance dans des conditions prévues par un guide professionnel reconnu par le ministère chargé du développement durable. Ce report ne saurait excéder dix ans et ne pourra en aucun cas être renouvelé.* »

Le bac objet de la fuite a fait l'objet de ce type de report, les résultats des inspections précédentes ne relevant pas d'écart en matière de criticité.

La cuvette de rétention

La cuvette de rétention du bac a été mise en œuvre concomitamment à la mise en service du bac. Sa superficie est d'environ 8300m². Sa surface est constituée d'une couche de matériaux meubles. La cuvette est ceinturée par des merlons constitués du même type de matériaux meubles.

La cuvette a fait l'objet en 2012 d'une étude de perméabilité, pour estimer le rapport entre la hauteur de la couche de matériaux et la vitesse de pénétration des hydrocarbures. Cette étude a conclu à une trop forte perméabilité, mais les conditions de réalisation de l'étude ont conduit l'exploitant à faire réaliser une seconde étude qui semblerait remettre en cause les résultats de la première mais qui n'a pas, au jour de l'accident, été communiquée aux services de contrôle. Elle sera remise à l'inspection des installations classées le 15 mars 2023.

S'agissant des dimensions de la cuvette, l'étude technico-économique visant à justifier son dépassement du seuil de 6 000 m²¹ n'a pas pu être communiquée au BEA-RI.

¹ Article 22 de l'arrêté du 3 octobre 2010

L'agitateur

Le bac était muni de deux hélicomélangeurs de même technologie. Ils étaient situés de manière diamétralement opposée en partie basse du réservoir (en deçà du niveau des pieds de support du toit flottant).



Figure n°2 : photographie de l'hélicomélangeur n°2 après sa dépose suite à la fuite survenue sur l'hélicomélangeur n°1

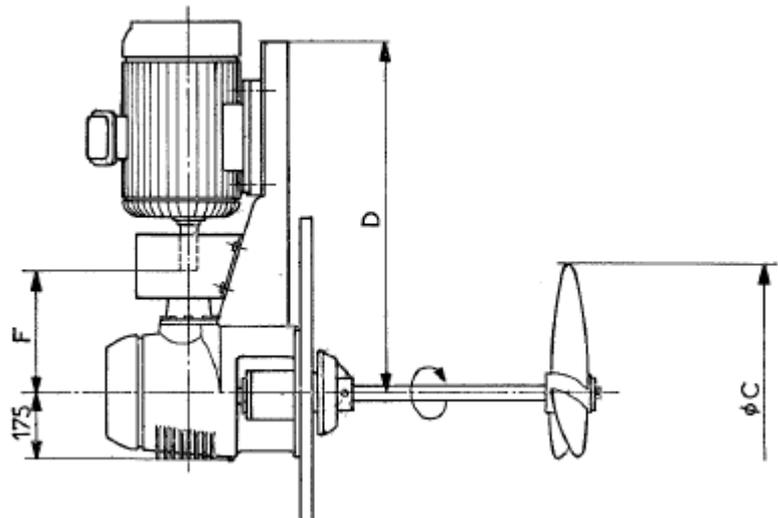


Figure n°3 : schéma de l'hélicomélangeur (crédit TotalEnergies raffinage France)

L'hélicomélangeur est composé d'une hélice située à l'extrémité d'un axe qui traverse la paroi du réservoir. L'agitateur est entraîné par un moteur électrique dont l'arbre de sortie est relié à un réducteur à pignons coniques. L'arbre de sortie du réducteur est également l'arbre d'entraînement de l'hélice.

Le sens de rotation du moteur est défini de telle manière que le fluide soit envoyé vers le centre du bac. Ainsi, la réaction mécanique du fluide sur l'arbre s'exerce vers l'extérieur du bac. Dans ce cas, cet effort axial sur l'arbre est repris par le cône de l'extrémité extérieure et ainsi transmis au carter via les deux roulements à rouleau conique. À l'inverse, en cas de mise en rotation en sens inverse l'effort axial est repris par les deux vis M8 qui fixent la rondelle sur l'arbre.

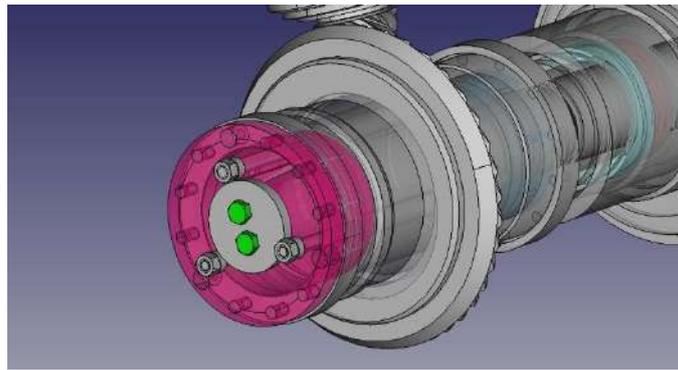


Figure n°4 : représentation des deux vis qui fixent la rondelle sur l'arbre

L'étanchéité du dispositif et donc du bac est assurée par une garniture mécanique. Cette garniture est constituée d'une partie fixe sur le carter du réducteur et d'une partie mobile solidaire de l'arbre du réducteur. La partie mobile est pressée sur la partie fixe par le biais de ressorts qui assurent une pression constante. Ce type de garniture est très couramment utilisé dans le secteur de la chimie et de la pétrochimie. Ces garnitures sont des pièces d'usures dont il convient d'assurer la maintenance préventive et le suivi en service.

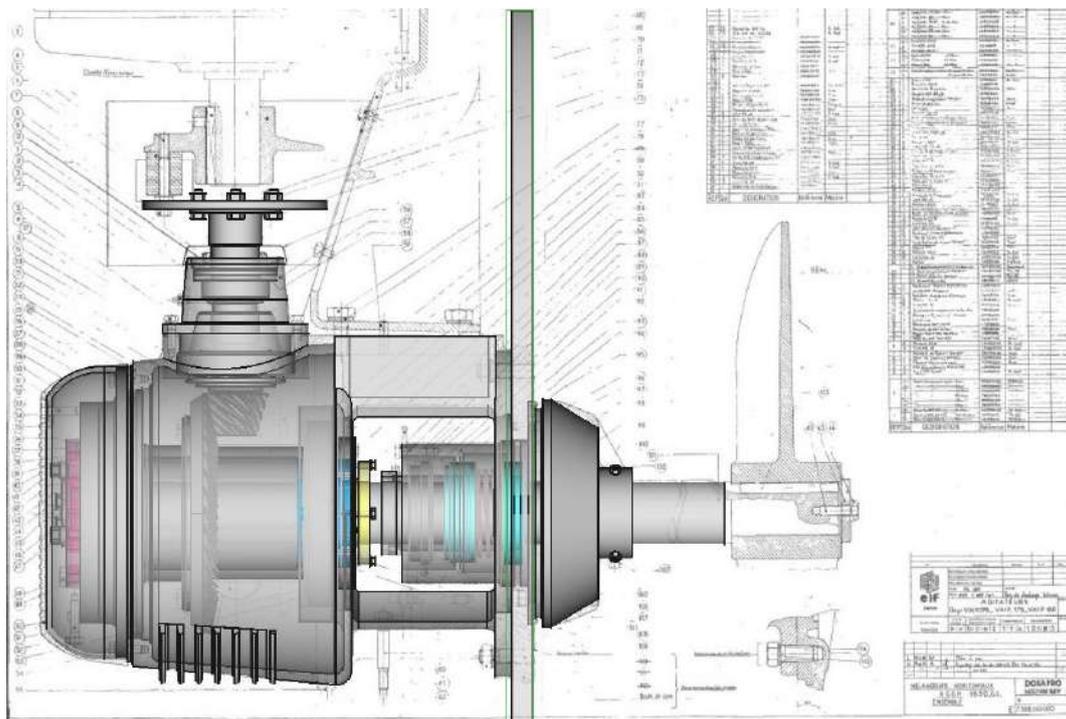


Figure n°5 : représentation 3D de l'hélicomélangeur

En cas de dysfonctionnement de la garniture (usure, endommagement, etc.) ou simplement de l'équipement, un mécanisme est prévu pour assurer l'étanchéité du bac. Par déplacement axial de l'axe de l'agitateur, une cloche fixée sur l'axe de l'agitateur côté intérieur du bac vient en appui sur un joint

Les émulseurs

Dans le cadre de la gestion de la fuite, de l'émulseur a été utilisé pour limiter le risque d'inflammation du produit présent dans la rétention et limiter son évaporation. 88 m³ d'émulseur ont été utilisés, la quantité d'eau utilisée en mélange avec l'émulseur représentant 2700 m³.

Les mousses anti-incendie sont des produits chimiques utilisés pour éteindre les incendies en créant une barrière entre le combustible et l'oxygène. Mais, elles peuvent contenir des perfluoroalkyls et polyfluoroalkyls (PFAS), qui sont des composés organiques fluorés préoccupants car très persistants dans l'environnement, ce qui signifie qu'ils ne se dégradent pas facilement et peuvent rester dans l'environnement pendant des décennies. De plus, ils ont été associés à des effets néfastes sur la santé humaine. En raison de leur toxicité et de leur persistance dans l'environnement, de nombreux pays ont pris des mesures pour réglementer ou interdire l'utilisation des PFAS dans les mousses anti-incendie.

Au niveau européen, la directive européenne 2006/122/CE limite la mise sur le marché et l'emploi des dérivés du PFOS (acide perfluorooctanesulfonique).

En France, les éléments de cette directive sont repris à travers le décret n° 2007-1496 du 18 octobre 2007 dans le code de l'environnement aux articles R.521-42-1 à 6. Ce texte vise à interdire la mise sur le marché et l'utilisation du PFOS et ses dérivés en tant que substances ou comme constituants de préparations à des concentrations égales ou supérieures à 0,005 % en masse (50 ppm). Depuis juin 2011, leur vente et leur utilisation sont interdites par le règlement 757/2010.

En juin 2017, la Commission européenne a conclu une procédure de restriction similaire à l'encontre du PFOA (acide perfluorooctanoïque) et ses dérivés. Toute substance apparentée ne peut être ni fabriquée ni mise sur le marché à partir du 4 juillet 2020. Elle ne peut être utilisée dans la production d'une autre substance en tant que constituant ou mélange dans une concentration de 25 ppb de PFOA ou ses sels ou 1000 ppb (1 ppm) au total de substances apparentées au PFOA.

Par dérogation, le règlement 2020/784 autorise l'utilisation de PFOA et ses dérivés jusqu'au 4 juillet 2025, dans les émulseurs destinés à la suppression des vapeurs de combustibles liquides et à la lutte contre les feux de combustibles liquides (feux de classe B) sous réserve des conditions suivantes :

- Aucune utilisation en formation ;
- Aucune utilisation pour des essais, sauf si tous les rejets sont contenus ;
- L'utilisation de mousses anti-incendie contenant ou pouvant contenir du PFOA ou ses dérivés n'est autorisée que sur les sites où il est possible de contenir tous les rejets à partir du 1er janvier 2023.

En effet, des émulseurs sans fluor ont été développés récemment et peu d'entre eux sont homologués pour des feux d'hydrocarbures. Les propriétés physiques différentes de ces émulseurs, en particulier leur viscosité, ne permettent pas systématiquement un remplacement en lieu et place.

Le PFOA, ses sels ou ses dérivés seront totalement interdits à compter du 4 juillet 2025. TotalEnergies Raffinage France dispose d'un plan de substitution de ces émulseurs.

IV. Compte-rendu des investigations menées

IV.1 Reconnaissance de terrain

Les inspecteurs du BEA-RI se sont déplacés sur site le 13 janvier 2023. Ils ont procédé aux premiers constats en présence des personnels de TotalEnergies Raffinage France et d'un représentant de la DREAL

des Pays de la Loire. Ils se sont ensuite rendus à Saint-Nazaire le 1^{er} février pour assister au démontage et à l'expertise de l'hélicomélangeur en atelier.

V. Déroulement de l'évènement

V.1 Déclenchement de l'évènement

Dans la nuit précédant l'évènement, à **0h24**, un des deux capteurs de présence d'hydrocarbure dans la cuvette de rétention se déclenche. La reconnaissance effectuée en réponse à ce déclenchement ne note aucune présence d'hydrocarbure dans la cuvette, mais ne sera pas enregistrée et ne fera l'objet d'aucune traçabilité.

La raffinerie procède au chargement d'un navire avec le produit contenu dans le bac qui sera concerné par la fuite.

Le jour même, à **17h**, une prise d'échantillon est réalisée par un opérateur sur le bac, qui ne constate pas de fuite visible, sur le bac ou sur l'hélicomélangeur.

Vers **18h**, le cadre de permanence (CMS) est contacté par des personnels quittant le site qui signalent de fortes odeurs d'essence sur la route qui mène à Donges. Ces odeurs seront confirmées par une ronde du service de sécurité. Le CMS demande alors une diminution du débit de chargement du navire pour limiter les rejets de vapeurs d'essence.

À **18h20**, un nouveau signalement d'odeur est fait au CMS via l'astreinte de direction. En réaction, le CMS demande une nouvelle réduction du débit de chargement et déclenche plusieurs rondes. Un opérateur repère la fuite au niveau de l'hélicomélangeur vers **19h20**.

À **19h58**, le POI est déclenché. La demi-cuvette est recouverte d'une fine couche d'essence. À **20h07**, un tapis de mousse est mis en place pour éviter notamment l'inflammation mais également l'évaporation trop importante de la flaque d'hydrocarbure. En parallèle, la vitesse de chargement est augmentée de manière significative et l'alimentation vers le bac est stoppée.

Le vent relativement soutenu (environ 40 km/h) génère des envols de mousse et rend nécessaire de nouvelles injections pour maintenir le tapis.

À **22h10**, une première tentative pour endiguer la fuite est menée par deux opérateurs, appuyés par les sapeurs-pompiers de l'usine. Les conditions sont difficiles (opération de nuit avec une fuite importante) et l'opération échoue.

Une seconde tentative sera entreprise et couronnée de succès le jeudi 22 décembre 2022 à **7h25**. L'opération a consisté pour les opérateurs à récupérer l'axe de l'hélicomélangeur et à ramener la cloche en position fermée. Le débit de fuite est alors largement diminué.

Le tapis de mousse continue à être entretenu.

À **12h30**, le chargement du bateau en cours s'achève et le bateau est déconnecté. Un second bateau est disponible et les opérations de chargement de ce deuxième bateau sont entreprises à **17h30**. Vers **3h** du matin le vendredi 23 décembre, le toit flottant du bac atteint sa position basse. Le bac atteindra son niveau bas dans la journée du 24 décembre.

En parallèle de la vidange du bac, l'exploitant a dû gérer le maintien d'un tapis de mousse dans des conditions peu favorables (vent et précipitations) pour la prévention, d'une part, du risque d'incendie et pour limiter l'évaporation du produit. L'évaporation du produit a généré à certains moments des concentrations mesurables en benzène dans l'environnement.

L'exploitant a ensuite entamé l'évacuation du mélange produit-émulseur présent dans la cuvette. Les premiers scénarios sont établis dans la journée du 23 décembre. La nécessité de confiner les produits sur le site à cause de la présence de PFAS n'a pas permis la mise en œuvre des scénarios préétablis. L'exploitant a alors fait face à de nombreuses difficultés, notamment du fait que les débits de pompage ne permettaient pas de compenser les apports de liquides liés au maintien du tapis de mousse. La décision d'arrêter les pompes par camions hydrocureurs et de transférer le liquide dans un bac vide via une collecte par un point bas du circuit d'évacuation des eaux pluviales a été prise le 24 décembre.

La cuvette sera déclarée vidangée le 28 décembre à **5h30** et le POI levé à **17h**. Les opérations de nettoyage et de dépollution ont ensuite débuté.

V.2 L'intervention des secours publics

Le site de Donges est pourvu des moyens tant humains que matériels pour faire face à la plupart des événements. Le traitement des actions internes a été réalisé par les services de sécurité de la raffinerie.

En coordination avec les services de l'usine, les sapeurs-pompiers ont participé à l'établissement d'un réseau de mesures à l'extérieur du site de manière à vérifier notamment en matière d'émission de polluants l'efficacité du tapis de mousse mis en place.

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement

VI.1 Scénario

À une date que le BEA-RI n'a pas été en mesure de déterminer avec certitude, mais probablement lors de la révision d'avril 2005, l'hélice du mélangeur a été remontée dans le sens inverse. Cette inversion a causé un effort axial sur l'arbre de sortie du mélangeur dirigé vers le centre du bac.

De plus, la tôle de frein des deux vis de fixation de la rondelle sur l'arbre de sortie n'a pas été pliée, rendant possible le desserrage progressif des deux vis de fixation de la rondelle d'arrêt sur l'arbre de sortie. L'arbre, au fur et à mesure du desserrage, s'est décalé vers l'intérieur du bac jusqu'à mettre en contact la garniture et le palier.



Figure n°7 : tôle de frein des deux vis

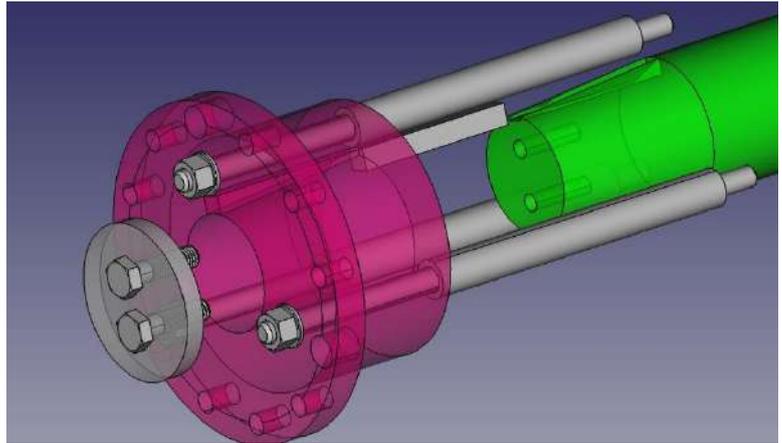


Figure n°7 bis: système desserré

Vraisemblablement, dans le cadre des mêmes travaux de maintenance, la coupole de sécurité a été remontée avec des vis non adaptées (vis normales et non pointeaux).



Figure n°8 : vis de fixation de la coupole

Sans que l'on ne puisse préciser à quel moment ces trois vis ont glissé de leur logement, la coupole a donc pu se déplacer axialement, entraînant la perte des deux demi-coquilles assurant, lors de la fermeture de la coupole, le maintien en position de cette dernière par rapport à l'axe.

Avec le temps, l'assemblage a continué à se dégrader, d'une part avec la poursuite du desserrage des deux vis et d'autre part, par le glissement de la garniture sur l'arbre de sortie. Puis, les deux vis sont tombées dans le carter.

À partir de ce moment-là, l'ensemble de l'effort est alors repris par le frottement entre la garniture et le palier. L'état de corrosion des vis semble indiquer que leur desserrage complet est intervenu bien avant l'accident.



Figure n°9 : vis de fixation de la rondelle

Dans la nuit précédant l'accident, le 21 décembre à 0h24, un des deux capteurs de présence d'hydrocarbure présents dans la cuvette du bac se déclenche. La reconnaissance effectuée à l'issue de ce déclenchement ne note aucune présence particulière d'hydrocarbure dans la cuvette. Le capteur ne sera pas réarmé avant le déclenchement de la fuite. La traçabilité du dysfonctionnement du capteur ne sera pas retrouvée.

Alors que l'agitateur est en fonctionnement, le palier rompt. Au niveau de l'agitateur, plus rien n'étant susceptible d'arrêter l'effort axial en translation, l'arbre de sortie se déplace vers l'intérieur du bac. La clavette finit par échapper à son logement, désolidarisant en rotation l'arbre de sortie. La rotation résiduelle et l'arc-boutement de la clavette endommagent une des colonnes et entraînent la casse de la garniture.

La fuite est créée. À partir de la quantité totale de produit émise et des durées de fuite, le débit de fuite initial est estimé à une quarantaine de m³ par heure.

Après la détection de la fuite par reconnaissance visuelle, le capteur de la sous-cuvette étant non fonctionnel depuis la veille, et la mobilisation du personnel susceptible d'intervenir sur l'équipement réalisée, une première tentative de limiter la fuite par fermeture de la cloche est tentée. Néanmoins, du fait des conditions d'intervention (de nuit, produit en cause, débit de fuite) et surtout du mouvement important de l'axe vers l'intérieur du bac, l'opération ne pourra être réalisée.

En parallèle, les opérations de vidange du bac sont accélérées par la présence d'un bateau en cours de chargement, les autres méthodes de vidange n'étant, après étude, pas envisageables. Un tapis de mousse est établi dans la sous-cuvette pour prévenir le risque d'incendie et limiter l'évaporation du produit.

Le lendemain, de jour, la récupération de l'axe par l'intermédiaire des filetages d'extrémité d'axe est réalisée et la cloche remise en position, ce qui permet de réduire fortement la fuite sans toutefois l'arrêter complètement du fait de l'absence des coupelles.

La présence d'un deuxième bateau disponible permettra de vider suffisamment le bac pour que le niveau passe en-dessous du niveau de l'hélicomélangeur le 24 décembre dans la journée.

Concernant la vidange de la cuvette, les scénarios prévus dans le POI ont été écartés du fait du risque de mélange des eaux collectées dans la cuvette avec des eaux de process et surtout les scénarios du POI ne permettaient pas de garantir un correct traitement de ces eaux avant leur retour dans le milieu et vis-à-vis de l'environnement. Les solutions alternatives prévues dans un premier temps, pompage par aspiration et transfert dans des réservoirs tampons (les « bakers »), se sont révélées inefficaces du fait de la mousse générée par la présence d'émulseur dans les eaux à traiter mais également de la faible épaisseur de la lame d'eau à pomper. La mise en place d'un mécanisme de pompage dans un point de collecte gravitaire et l'envoi dans un bac de stockage a permis de vider la cuvette le 28 décembre, soit une semaine après la survenue de l'évènement.

Un autre point important de la gestion de crise du 21 au 28 décembre, a été la difficulté à maintenir le tapis de mousse dans la cuvette. En effet, outre la taille importante de la cuvette, deux autres facteurs ont été problématiques :

- Le premier est lié aux conditions climatiques rencontrées (vent et pluie) défavorables mais pas anormales pour le lieu et la saison, qui ont perturbé le correct établissement de la couche de mousse, générant une forte consommation d'émulseur ;
- Le second est l'état de surface de la cuvette, constitué de terre recouverte de végétation, qui rend difficile le maintien d'une couche uniforme.

VI.2 Facteurs contributifs

VI.2.1 Maintenance

La défaillance constatée sur l'hélicomélangeur lors de l'évènement est essentiellement liée à une maintenance mal effectuée (notamment lors du remontage de l'équipement) à l'issue d'une révision complète sur cet équipement plusieurs années auparavant. Ont pu être relevés notamment :

- Un montage dans le mauvais sens de l'hélice ;
- L'absence de freinage par plaquette des vis de fixation de la rondelle ;
- Le remplacement des 3 vis pointeaux de maintien de la cloche par des vis inappropriées.

Le détail de ces constats est repris dans le compte-rendu de démontage de l'hélicomélangeur réalisé le 2 février 2023 et figurant en **annexe 1** de ce rapport. Au regard des interventions de maintenance enregistrées, et de l'impossibilité d'intervenir de façon notable sur l'équipement pendant les périodes d'exploitation des bacs, ces défauts remontent vraisemblablement au dernier arrêt du bac en 2005.

La maintenance de ce type d'équipement est réalisée par des prestataires, en atelier. Le contrôle qualité du prestataire et la réception des travaux par l'exploitant auraient pu permettre de détecter ces problèmes.

VI.2.2 Contrôle des équipements

Les hélicomélangeurs, n'étaient pas considérés comme des équipements critiques. La périodicité et les modalités des contrôles dont ils faisaient l'objet étaient donc en cohérence avec ce statut. Pourtant, l'accident objet de cette enquête a montré que la défaillance d'un hélicomélangeur est susceptible de générer une fuite alimentée notable.

En parallèle, les détecteurs d'hydrocarbures présents dans la cuvette de rétention, étaient eux répertoriés comme équipements critiques et de ce fait faisaient l'objet de délais maximum prévus pour

leur réparation, mais l'indisponibilité de l'un d'entre eux depuis moins de 24h, n'a pas permis la détection rapide de la fuite.

VI.2.3 Étanchéité / état de surface de la cuvette



Figures n°10 et n°11 : état de surface de la cuvette de rétention

Au regard de l'arrêté du 3 octobre ², la rétention bénéficie d'une couche d'étanchéité en matériaux meubles. On peut noter dans cette rétention la présence de végétation et d'un état de surface irrégulier qui a retardé la détection des hydrocarbures dans la cuvette et qui ont contribué à la difficulté de maintien d'un tapis de mousse, conduisant de facto à une consommation importante de mélange eau/émulseur.

La présence d'un matériau meuble impose à l'exploitant d'être en capacité de pouvoir évacuer produit et mélange eau-émulseur dans un délai cohérent avec la vitesse d'infiltration dans la couche meuble. Mais dans le cas du présent événement, l'état de surface de la cuvette de rétention a également complexifié l'opération de vidange de la rétention.

VI.2.4 Isolement des eaux d'extinction

Le processus de confinement des eaux recueillies dans les cuvettes de rétention en cas d'accident prévoit tout d'abord de maintenir les eaux dans la cuvette, puis gravitairement de les récolter et en fonction de l'activité du site après potentiellement mélange avec d'autres apports d'eaux en provenance du process, de procéder à leur traitement. Ce circuit présente l'inconvénient d'un mélange des effluents et d'une potentielle dilution des polluants.

Dans le cas du présent événement, les produits issus de la fuite n'ont pas pu être rapidement évacués de la cuvette car il a fallu recréer un circuit de vidange permettant d'isoler les produits. Ce délai a généré des besoins supplémentaires en eau et en émulseur pour maintenir le tapis de mousse le temps de l'évacuation, besoins qui se sont traduits par un volume supplémentaire d'eau et d'émulseur à évacuer.

² Arrêté du 3 octobre 2010 relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables, exploités au sein d'une installation classée pour la protection de l'environnement soumise à autorisation

VI.2.5 Dimension de la cuvette

La dimension de la cuvette a été impactante à plusieurs niveaux dans cet accident. Elle a d'abord contribué à la détection tardive de l'évènement. La grande superficie de la cuvette et le positionnement du seul capteur restant fonctionnel dans la cuvette ont rendu la détection de fuite inopérante par le biais de cet unique capteur. La découverte de la fuite ayant eu lieu avant le déclenchement du capteur.

Une fois la fuite découverte, le maintien d'un tapis de mousse permettant d'éviter une inflammation de la nappe d'hydrocarbure et la limitation de l'émission de COV à l'atmosphère s'est révélé compliqué du fait de la taille de la cuvette, de son état de surface ainsi que des conditions climatiques (vent et précipitations) qui ont nécessité de mettre en œuvre des taux d'application importants.

Enfin, la taille de la cuvette a également contribué à augmenter la durée de vidange de la cuve du fait des quantités d'eau et d'émulseur à évacuer mais également de l'épaisseur relativement faible de liquide dans la cuvette, générant des problèmes de pompage pour pouvoir récupérer sélectivement les hydrocarbures d'un côté et le mélange eau/mousse de l'autre.

Le BEA-RI n'a pu mettre en évidence d'autres éléments technico-économique justifiant la taille de cette cuvette que son antériorité.

VII. Enseignements de sécurité

VII.1 Définition des périodicités de visite des réservoirs

Les périodicités de visite des réservoirs sont réglementées par l'arrêté ministériel du 3 octobre 2010, relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables, exploités au sein d'une installation classée pour la protection de l'environnement soumise à autorisation. Cet arrêté précise dans son article 29 les dispositions minimales en matière de surveillance de bac, des tuyauteries et des accessoires associés. L'arrêté distingue :

- Les visites de routine de périodicité annuelle ;
- Les inspections externes détaillées de périodicité cinq ans;
- Les inspections internes détaillées de périodicité dix ans.

Pour chaque type de visite, l'arrêté précise également la nature générale des contrôles à effectuer. Dans le cas du bac concerné par l'évènement, le contrôle de l'hélicomélangeur relève notamment des inspections hors exploitation détaillées. Or, en application de l'article 29-4, cette visite a été reportée à une périodicité de 20 ans en application du guide TIMMS. Le BEA-RI n'a pas trouvé dans les éléments qui lui ont été fournis concernant cette méthode, ceux portant sur la capacité des accessoires internes à continuer à fonctionner sans défaillance sur une période de 20 ans au lieu de 10.

Il est nécessaire qu'un tel examen ait lieu lors d'un report de visite notamment pour les accessoires qui présentent un risque de fuite alimentée, c'est-à-dire tout accessoire susceptible de traverser la paroi du réservoir et d'un diamètre significatif.

VII.2 Gestion de la maintenance

La gestion de la maintenance est un élément crucial du maintien d'un niveau de sécurité adéquat. Ces activités sont souvent confiées à des prestataires spécialisés lorsqu'il s'agit de maintenance lourde dépassant le cadre habituel de la simple maintenance préventive ou curative.

Dans le cas d'opérations de maintenance par ces prestataires spécialisés, il est important que les procédures de commande et de réception des travaux prévoient explicitement des contrôles sur les points essentiels de sécurité, ces points seront d'autant plus complets que les matériels en maintenance sont difficiles à contrôler en service (lorsque la vidange du bac est nécessaire par exemple).

De même, des contrôles par sondage directement chez les prestataires spécialisés doivent être mis en place de manière à garantir la qualité de la maintenance réalisée notamment dans le cas des équipements critiques.

VII.3 Limitation de la dimension des cuvettes

La mise en évidence du danger relatif aux cuvettes de dimensions importantes a été faite très tôt dans la réglementation notamment en cas de feu de cuvette. L'arrêté du 3 octobre 2010³, qui est lui-même une reprise d'un arrêté ministériel plus ancien, fixe la superficie maximale d'une rétention à 6000 m² ou demande le recouplement en sous-cuvettes d'une taille maximale de 6000 m². L'arrêté permet, pour les

³ Arrêté du 3 octobre 2010 relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables, exploités au sein d'une installation classée pour la protection de l'environnement soumise à autorisation

installations existantes, des dérogations à cette règle sous condition de fournir une étude technico-économique.

Cette limitation permet à la fois de réduire :

- Les difficultés d'établissement d'un tapis de mousse ;
- La surface d'évaporation des liquides issus d'une fuite ;
- Les difficultés de pompage par augmentation de la hauteur de liquide dans la cuvette ;
- Les durées de pompage et par conséquent la quantité d'hydrocarbure qui s'infiltré dans les sols.

Au vue des avantages d'une telle limitation l'étude technico-économique doit être réalisée et montrer les éléments qui permettent de contrebalancer ces avantages.

VIII. Recommandations de sécurité

VIII.1 À destination de l'exploitant

VIII.1.1 Mise en place de circuit de vidange des bacs en cas de problème

L'événement du 21 décembre a mis en évidence la difficulté en cas de fuite alimentée, même après la forte réduction de débit obtenu le lendemain de la découverte de la fuite, de transférer rapidement le produit contenu dans le bac. La présence d'un navire en cours de chargement au moment de la fuite et la possibilité d'en faire venir un second ont permis de vidanger par un circuit déjà établi les quelques 30 000 m³ de produit, mais la disponibilité de deux navires n'est pas acquise à toute période. Le BEA-RI recommande à l'exploitant :

De prévoir les circuits permettant en cas de fuite alimentée de transférer le contenu d'un bac vers un autre mode de stockage (autre bac, capacité mobile ou tout autre mode de stockage). Ces circuits peuvent être pérennes ou doivent pouvoir être mis en place dans des délais compatibles avec les processus de vidange des cuvettes en cas d'épandage de produits.

VIII.1.2 Gestion des eaux issues des cuvettes

La gestion des eaux issues des cuvettes en situation accidentelle doit permettre, outre le confinement lors de l'intervention, leur isolation complète à la fois du milieu naturel mais également d'autres eaux de process avant décision sur les traitements appropriés à leur appliquer et ce, afin d'éviter tout risque de dilution avant analyse.

Le BEA-RI recommande à l'exploitant :

De prévoir, notamment dans son POI, les circuits de récupération des eaux issues des cuvettes lors de tout évènement (incendie, déversement, ...) permettant leur isolement non seulement du milieu naturel mais également d'autres eaux (process, pluviales, ...).

VIII.1.3 Prise en compte du risque de fuite sur les équipements de réservoirs

L'évènement objet du présent rapport montre que la prise en compte du risque de fuite lié aux accessoires traversant la paroi d'un réservoir est incomplète. En conséquence le BEA-RI recommande à l'exploitant :

- **De s'assurer que l'utilité d'un accessoire soit bien évaluée au regard des risques qu'il peut occasionner,**
- **De prendre en compte les différents accessoires dont la maintenance ne peut être réalisée qu'hors exploitation, dans les études permettant d'identifier le niveau de criticité du réservoir et de prolonger l'intervalle entre deux visites hors exploitation.**
- **D'intégrer des contrôles de l'état de ces accessoires lors des visites externes détaillées (par exemple contrôle par démontage du couvercle des hélicomélangeurs).**

VIII.1.4 Justification de la taille des cuvettes et de leur nature

Au regard des difficultés opérationnelles rencontrées par l'exploitant et qui ont entraîné une durée importante d'intervention pour la vidange des cuvettes, le BEA-RI recommande à l'exploitant :

De s'assurer qu'il dispose bien d'une étude technico-économique validée par les services d'inspection justifiant de la taille des cuvettes, de leur constitution et de leur entretien de manière à garantir l'adéquation entre ces critères et les objectifs de protection et d'intervention fixés par l'arrêté du 3 octobre 2010.

VIII.1.5 Procédure de maintenance

Les défauts constatés sur l'hélicomélangeur montrent que les travaux de maintenance n'ont pas été accomplis correctement. Les contrôles menés pendant et à la réception de cet équipement sur site n'ont pas été suffisants. Même si le BEA-RI est conscient que ces défauts datent d'un peu moins de 20 ans, il recommande à l'exploitant :

De renforcer les contrôles lors de la réception de travaux de maintenance effectués hors site.

VIII.1.6 Contrôle des équipements similaires

Le BEA-RI recommande à l'exploitant de procéder au contrôle des équipements similaires sur le site pour s'assurer de leur bon état.

VIII.1.7 Retour d'expérience interne

La défaillance du premier hélicomélangeur aurait pu alerter l'exploitant sur la fragilité et la criticité de ce type d'équipement et l'amener a minima à revoir la périodicité de visite et à s'interroger sur la prise de risque liée à son maintien sur site.

Le BEA-RI invite l'exploitant à formaliser le retour d'expérience qui peut être tiré des défaillances subies par les hélicomélangeurs équipant le site et particulièrement sur les deux équipant le bac. A minima seront menées une analyse du programme de maintenance et son adaptation en conséquence.

VIII.2 À destination de la DGPR

VIII.2.1 Prise en compte des équipements dans les délais d'inspection

L'article 29-4 de l'arrêté du 3 octobre 2010 précise que les inspections hors exploitation détaillées comprennent au moins « *une inspection visuelle interne approfondie du réservoir et des accessoires internes* ». Ce même article introduit la possibilité d'allonger la période de 10 ans entre deux visites si « *les résultats des dernières inspections permettent d'évaluer la criticité du réservoir à un niveau permettant de reporter l'échéance dans des conditions prévues par un guide professionnel reconnu par le ministère chargé du développement durable.* »

Le BEA-RI recommande à la DGPR de veiller à ce que l'évaluation du niveau de criticité du réservoir intègre bien la prise en compte des échéances propres aux accessoires de réservoirs. L'article 29-4 pourrait par exemple être complété ainsi : « cette échéance doit également être compatible avec les échéances de maintenance des accessoires présents sur le bac ».

En effet, si la prise en compte des accessoires est bien mentionnée dans l'arrêté, dans le guide d'inspection et de maintenance des réservoirs aériens cylindriques verticaux (DT94) et dans les

différentes méthodes RBI, en pratique ils peuvent ne pas être pris en compte dans la cotation des différentes méthodes d'évaluation de criticité.

VIII.3 À destination des organisations professionnelles

Afin que la modification proposée pour l'article 29-4 de l'arrêté du 3 octobre 2010, soit pleinement prise en compte, le BEA-RI recommande aux organisations professionnelles d'étudier la possibilité et la nécessité de compléter le guide d'inspection et de maintenance des réservoirs aériens cylindriques verticaux (DT 94) pour les mettre en cohérence avec l'évolution réglementaire envisagée.

Cette évolution du guide pourrait prendre la forme d'une annexe spécifique portant sur les agitateurs, soulignant la nécessité de définir les critères de montage et de contrôles à réception ainsi que les spécifications nécessaires pour pouvoir envisager d'allonger le cas échéant une périodicité de maintenance.

IX. Annexe

Annexe 1	Compte rendu d'expertise de l'hélicomélangeur	29
----------	---	----

Annexe 1 Compte rendu d'expertise de l'hélicomélangeur

L'hélicomélangeur a fait l'objet d'une expertise lors de la journée du 2 février 2023. Il a alors été procédé au démontage complet de l'équipement en présence de représentants de TotalEnergies Raffinage France ainsi que de la société en charge de la maintenance de l'équipement. La présente annexe illustre les principaux constats effectués.

Fonctionnement de l'équipement

Le blocage en translation de l'arbre porte-hélice s'effectue différemment en fonction du sens.

Pour éviter un déplacement vers l'extérieur du bac (sens normal de l'effort), le déplacement est bloqué par un accouplement conique entre l'arbre et la douille de centrage. En sens inverse, le déplacement est bloqué par une rondelle qui est maintenue en appui sur la douille de centrage par deux vis, le mouvement de rotation est transmis via une clavette.

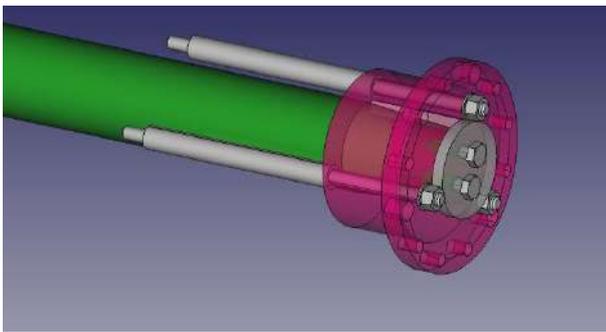


Figure 12 : Montage de l'arbre sur la douille de centrage

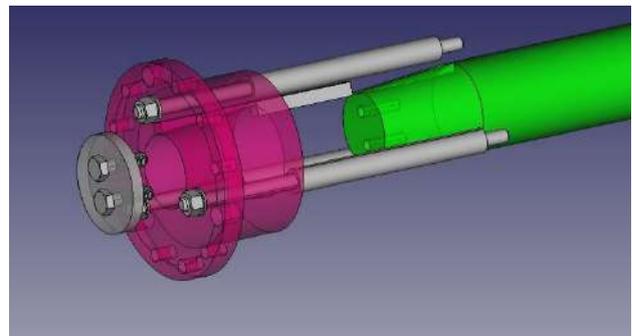


Figure 13 : Montage éclaté de l'arbre sur la douille

La rondelle de fixation, les deux vis et la plaquette freinant ces dernières ont été retrouvées lors de l'intervention pour stopper la fuite sur site, dans le carter. C'est lors de cette intervention que l'arbre a été ramené vers l'extérieur du bac pour assurer du mieux possible l'étanchéité via la cloche.

Constats effectués

Lors de l'expertise, le BEA-RI a pu constater :

- La présence de filets arrachés sur l'une des deux vis ;
- Le fait que la plaquette d'arrêt des deux vis n'avait visiblement pas de marque de repliage.

Ces éléments permettent de supposer que les deux vis, non correctement freinées, se sont dévissées au fil du temps libérant l'axe axialement vers l'intérieur du bac



Figure 14 : vis et plaquette d'arrêt

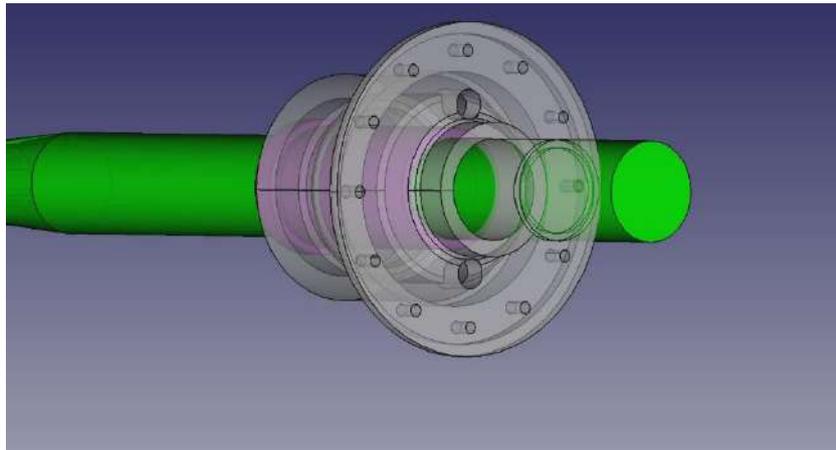
- La déformation d'une des colonnes, cohérente avec un choc avec la clavette lors de l'avancée du bras vers l'intérieur du bac.



Figure 15 : déformation d'une des colonnes

Ces éléments confortent l'hypothèse d'un fort déplacement axial de l'arbre (supérieur à la longueur de la clavette).

- Coté sortie hélice, il a été constaté la rupture de la douille support d'arbre.



Figures 16 et 17 : douille de sortie

La rupture de la douille de sortie montre également le déplacement axial de l'arbre qui n'a pu être possible sans cette rupture, le support de la garniture tournante étant d'un diamètre supérieur à l'arbre.

- Fixation de la cloche : la cloche a été retrouvée en arrière de sa position normale

Elle est en principe fixée sur l'arbre au moyen de demi-coquilles qui transmettent l'effort axial en cas de fermeture et de trois vis pointeaux qui l'empêchent à la fois de tourner sur l'axe et la maintiennent en position axialement.

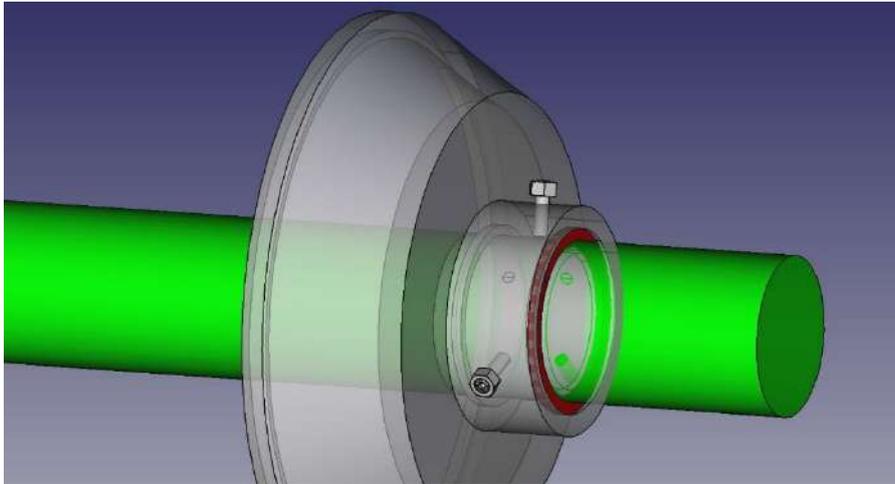


Figure 18 : fixation de la cloche en position normale

Les deux demi-lune n'ont pas été retrouvées. Les vis servant aux montage de la cloche sur l'arbre sont des vis à bout plat et non des vis pointeaux.



Figure 19 : vis à bouts plats

- Sens de rotation de l'hélice.



Figure 20 : arrachement de matière mettant en évidence le sens de rotation de l'hélice

Au regard de l'arrachement de matière constaté sur cet élément, il a été possible de déterminer le sens de rotation de l'hélice, ce sens a été confirmé par les légères traces d'usure des pignons et corroboré par les tests in-situ pratiqués suite à l'expertise. Le sens de rotation ainsi déterminé a mis en évidence que l'hélice créait un courant de circulation du fluide du centre du bac vers la périphérie. Ce sens, non désiré, entraînait en complément un effort axial dirigé vers le centre que la conception de l'hélicomélangeur n'est pas faite pour supporter.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Bureau d'enquêtes et d'Analyses sur les Risques Industriels

MTECT / IGEDD / BEA-RI
Tour Séquoïa
92055 La Défense Cedex

+33 1 40 81 21 22
bea-ri.igedd@developpement-durable.gouv.fr

<https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/bea-ri-r549.html>