



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Conseil général de l'environnement
et du développement durable
Bureau d'enquêtes et d'analyses
sur les risques industriels**

BEARI
Risques industriels

Rapport d'enquête

Sur une fuite de pétrole brut sur
une canalisation desservant la
raffinerie TotalEnergies de Donges
(44) détectée le 2 janvier 2021

Bordereau documentaire

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

Titre du document : Rapport d'enquête sur une fuite de pétrole brut sur une canalisation desservant la raffinerie TotalEnergies de Donges le 2 janvier 2021

N° ISRN : MTE - BEARI - 2021 - 008

Date du rapport : 07/10/2021

Proposition de mots-clés : fuite d'hydrocarbures, canalisation de transport, corrosion externe

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre de l'arrêté du 9 décembre 2020 portant création et organisation du bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels.

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-RI des suites qu'elle entend y donner. La réponse est publiée sur le site du BEA-RI.

Synthèse

Le 2 janvier 2021, TotalEnergies Raffinage France détecte lors d'une ronde de surveillance, des irisations en Loire au niveau de l'apponement n°6 de la raffinerie de Donges (44). Des traces d'hydrocarbures sont également observées sur les enrochements de la berge située à proximité.

Le BEA RI est informé d'une suspicion de fuite sur une canalisation de transport le 5 janvier 2021. La décision d'ouverture d'enquête est prise le 17 janvier 2021, une fois la fuite avérée et l'ouvrage en cause identifié. Dans l'attente de cette identification, les transferts de produits avaient été stoppés pour l'ensemble des canalisations pouvant potentiellement être à l'origine de la fuite.

L'environnement de l'ouvrage rend la localisation du point de fuite complexe. L'analyse du produit récupéré (pétrole brut) a permis d'identifier la canalisation fuyarde parmi les différentes canalisations présentes. Des fouilles sont alors réalisées pour identifier plus précisément la zone de fuite. Une légère mise en pression via le réseau d'eau permettra de confirmer la localisation du point de fuite dans un fourreau sous la rue du Galion à environ 50 m de l'apponement, sur une canalisation d'une longueur de 893 m et de diamètre 900 mm, reliant cet apponement au stockage de pétrole brut de la raffinerie. Cette canalisation, construite en 1972 est autorisée pour une pression maximale de 14 bar.

Une opération de mise à disposition de la canalisation¹ est réalisée le 4 février 2021. Ces travaux se terminent le 9 mars. Le 16 mars les tubes qui étaient sous le fourreau sont extraits mais le point de fuite n'est pas immédiatement identifiable. Il sera identifié le 23 mars après des investigations plus fines et un nettoyage interne à l'eau. Le percement est situé dans le fourreau à proximité de la génératrice inférieure.

Le tronçon de canalisation est ensuite envoyé en expertise auprès de la société GISMIC avec l'accord du BEA-RI. L'expertise conclura que la fuite résulte d'un mécanisme de corrosion en milieu aqueux qui s'est développé à partir de la surface extérieure.

La canalisation faisait l'objet de mesures de surveillance afin de détecter une fuite d'un débit moyen à important qui n'ont pas pu identifier une fuite de plus faible débit. Elle bénéficiait d'un dispositif de protection cathodique dont le fonctionnement était régulièrement contrôlé et l'état de son revêtement était contrôlé par des mesures électriques de surface.

La géométrie de la canalisation ne permettait pas, en revanche, le passage de racleurs instrumentés, des travaux étaient programmés pour rendre ce type d'inspection possible et l'inspection planifiée, Mais ces travaux n'avaient pas commencé au moment de l'événement.

Ce type d'inspection est dorénavant rendu obligatoire au cours de la première période de mise en œuvre du plan de surveillance et de maintenance intervenant à partir du 1^{er} juillet 2021 par les modifications réglementaires introduites par l'arrêté du 3 juillet 2020 modifiant l'arrêté du 5 mars 2014 portant règlement de la sécurité des canalisations de transport.

L'enquête a conduit à tirer des enseignements de sécurité sur le suivi de la protection cathodique, l'inspection des canalisations de transport, la détection et l'intervention en cas de fuite.

En complément, dans le cadre des travaux de réparation de la canalisation, le BEA-RI recommande à l'exploitant :

- **De mettre en œuvre les actions préconisées par les rapports d'analyse des rapports de contrôle de la protection cathodique.**

¹ Opération qui consiste à vidanger et nettoyer la canalisation.

- **De réaliser les travaux nécessaires pour que la canalisation puisse être inspectée par racleur instrumenté.**

Le BEA-RI recommande également de procéder à l'inspection par racleur instrumenté de cette canalisation dans les meilleurs délais après la reprise d'exploitation, et de mettre en œuvre les mesures préconisées par l'analyse de ce rapport d'inspection.

Sommaire

I.	Rappel sur l'enquête de sécurité.....	7
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.....	10
	II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête	12
III.	Contexte	14
	III.1 La plateforme de Donges	14
	III.2 L'exploitation des canalisations de transport d'hydrocarbures	15
	III.3 La corrosion	15
	III.3.1 Revêtement anticorrosion	16
	III.3.2 Protection cathodique.....	16
	III.4 L'inspection des canalisations de transport par racleur instrumenté	17
	III.5 Réparations subies par la canalisation avant la fuite	19
	III.6 Accidentologie des canalisations de transport alimentant la raffinerie de Donges en pétrole brut..	19
IV.	Compte-rendu des investigations menées.....	20
	IV.1 Reconnaissance de terrain	20
	IV.2 Analyse métallurgique	20
V.	Déroulement de l'évènement.....	22
VI.	Conclusions sur le scenario de l'évènement.....	23
	VI.1 Scénario	23
	VI.2 Facteurs contributifs.....	23
	VI.2.1 Ont permis de limiter la survenue et les conséquences d'une fuite	23
	VI.2.2 Ont contribué à la survenue de la fuite	23
VII.	Enseignements de sécurité.....	25
	VII.1 En matière de protection cathodique.....	25
	VII.2 En matière d'inspection des canalisations de transport.....	25
	VII.3 En matière de délai d'intervention pour détecter et faire cesser la fuite	26
VIII.	Recommandations de sécurité à destination de l'exploitant	27
IX.	Annexes	28
	Annexe 1 Localisation du point de fuite dans le fourreau	29
	Annexe 2 Extrait de la réglementation applicable aux canalisations de transport	30
	Annexe 3 Rapport de l'expertise métallurgique.....	36

Rapport d'enquête sur une fuite de pétrole brut sur une canalisation desservant la raffinerie TotalEnergies de Donges

I. Rappel sur l'enquête de sécurité

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre de l'arrêté du 9 décembre 2020 portant création et organisation du bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels. 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.

II. Constats immédiats et engagement de l'enquête

II.1 Les circonstances de l'accident

Le 2 janvier 2021, TotalEnergies Raffinage France détecte lors d'une ronde de surveillance des irisations en Loire au niveau de l'apponement n°6 de la raffinerie de Donges (44). Des traces d'hydrocarbures sont également observées sur les enrochements de la berge située à proximité. La surface présentant des irisations est estimée entre 100 et 200 m². Aucune trace de pollution n'a été découverte en surface au droit des canalisations transportant des hydrocarbures. La zone est mise en sécurité et des moyens sont engagés pour retenir le pétrole à l'aide de barrages flottants. Des entreprises spécialisées en dépollution et des moyens de pompage sont mobilisés.

Les services de l'état et notamment la DREAL Pays de la Loire sont informés le 3 janvier. Le 4 janvier TotalEnergies Raffinage France fait appel à une entreprise de travaux publics pour procéder à la recherche de l'origine de la fuite. La présence de composés organiques volatils est relevée dans un des événements de fourreaux de la ligne enterrée traversant la route. Des fouilles sont réalisées au niveau de ces fourreaux. En parallèle, les analyses réalisées sur le produit récupéré montrent qu'il s'agit de pétrole brut à basse teneur en soufre.



Figure 1 : Photo de l'apponement à proximité duquel les irisations sont observées (source Google Maps)



Figure 2 : Photo de la zone souillée le 03/01/2021 (source TotalEnergies Raffinage France)

II.2 Le bilan de l'accident

La fuite n'a eu aucune conséquence humaine. Les conséquences sont d'ordre économique et environnemental : la quantité de produit qui s'est écoulee en dehors de la canalisation est estimée par l'exploitant entre 100 et 300 m³. Les investigations montrent une présence d'hydrocarbures dans les sols de la zone saturée et dans la zone de battement de la nappe conformément aux schémas conceptuels suivants :

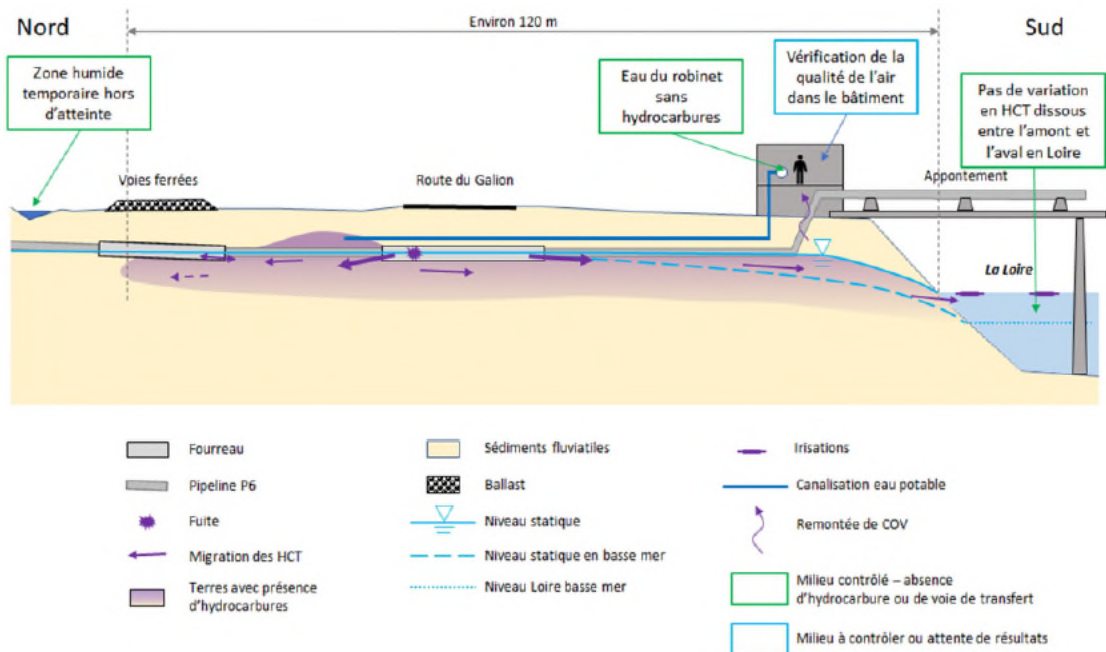


Figure 3 : schéma conceptuel Nord-Sud (source TotalEnergies Raffinage France)

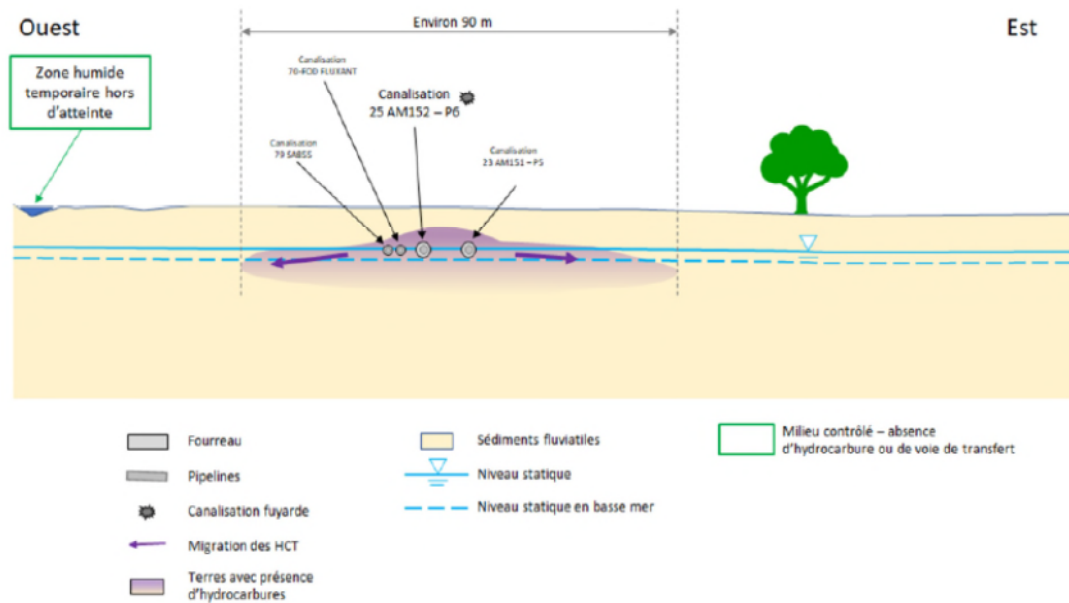


Figure 4 : schéma conceptuel Ouest-Est (source TotalEnergies Raffinage France)

II.3 Les mesures prises après l'accident

Suite à la détection de traces d'hydrocarbures les mesures suivantes ont été prises :

- Mise en sécurité du site par la mise à l'arrêt des canalisations potentiellement à l'origine de cette pollution,
- Mise en place des premières mesures anti-pollution destinées à contenir le produit écoulé et limiter sa propagation dans le milieu,
- Investigations pour déterminer le point de fuite.

L'inspection de l'environnement de la direction régionale de l'aménagement et du logement (DREAL) des Pays de la Loire a procédé à une inspection sur site le 4 janvier. Un arrêté portant prescriptions de mesures d'urgence à la société TotalEnergies Raffinage France a été pris par le préfet de la Loire Atlantique le 7 janvier 2021.

L'environnement, et notamment la présence de l'apponement 6 et de la route du Galion ouverte à la circulation publique, ont rendu la localisation du point de fuite complexe. L'analyse du produit récupéré a permis d'identifier la canalisation fuyarde parmi les différentes canalisations présentes. Des fouilles ont ensuite été réalisées pour identifier plus précisément la zone de fuite.

Une légère mise en pression via le réseau d'eau a permis de localiser le point de fuite dans le fourreau situé sous la rue du Galion entre la fouille 1 et la fouille 2.

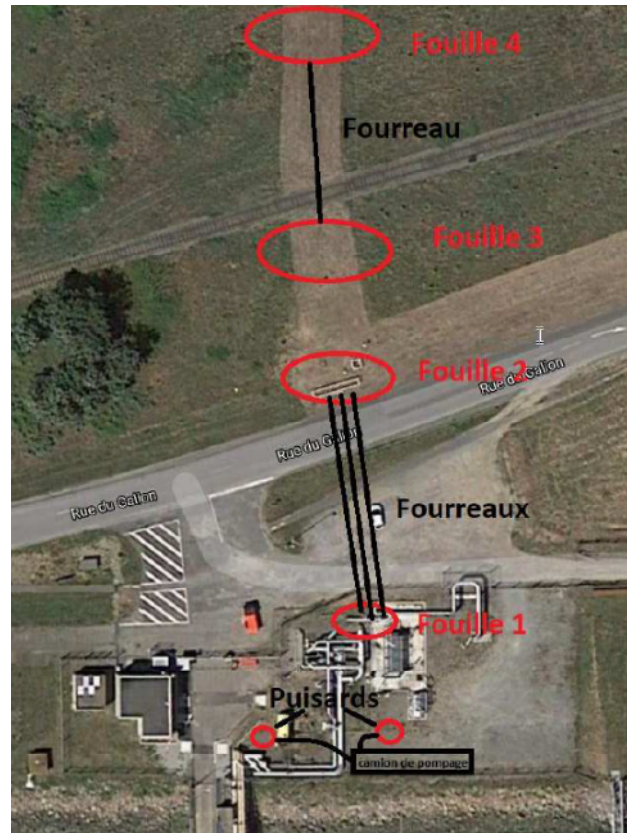


Figure 5 : zone de fuite (source TotalEnergies Raffinage France)



Figure 6 : fouille n°2

À la suite du test réalisé par poussée à l'eau le 15 janvier 2021, le réseau contient du pétrole brut ainsi que des poches d'eau et d'air. Il est donc nécessaire de procéder à la mise à disposition de la canalisation (vidange et nettoyage) en injectant de l'eau depuis un navire. Cette opération se déroule sans difficulté le 4 février. 3012 m³ sont injectés à un débit nominal de 1200 m³/h. Un biocide a été injecté en fin d'opération. La fuite ne semble pas avoir évolué pendant l'opération, seule de l'eau s'est écoulée du fourreau. Ces travaux se terminent le 9 mars.

Le 10 mars 2021, l'exploitant transmet à la DREAL un protocole d'extraction des tubes. Le 16 mars les tubes qui étaient sous le fourreau sont extraits, la section de canalisation est découpée en 11 tronçons, mais le point de fuite n'est pas immédiatement identifiable. Il sera identifié le 23 mars après des investigations plus fines et un nettoyage interne à l'eau.

Le défaut est situé sur le tronçon 9, et le percement est situé à 7h dans le sens de l'écoulement du pétrole brut. Son diamètre est estimé à 8mm. Les premières investigations laissent penser qu'une corrosion externe est à l'origine du percement. Un schéma représentant la localisation du point de fuite dans le fourreau figure en **annexe 1**.

Le revêtement de la canalisation (brai de houille) à proximité du percement a été observé : il n'apparaît pas particulièrement détérioré.



Figure 7 : tube identifié comme à l'origine de la fuite



Figure 8 : zone de percement

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

Le bureau a été informé d'une suspicion de fuite sur une canalisation de transport le 5 janvier 2021. La décision d'ouverture d'enquête a été prise le 17 janvier 2021 une fois la fuite avérée et l'ouvrage en cause identifié.

Les enquêteurs du BEA-RI se sont rendus sur le lieu de la fuite une première fois le 18 janvier 2021 en présence de 2 inspecteurs du service chargé du contrôle des canalisations de la DREAL Pays de la Loire, et de l'exploitant de la canalisation de transport. Ils ont recueilli les témoignages des acteurs impliqués dans la gestion de la fuite. Ils se sont ensuite rendus sur place une seconde fois, le 29 mars 2021, après identification du point de fuite et une fois le tronçon de canalisation extrait de son fourreau.

III. Contexte

III.1 La plateforme de Donges

La fuite est survenue à proximité de l'apponement 6 de la raffinerie TotalEnergies de Donges. La société TotalEnergies Raffinage France exploite en parallèle de la raffinerie plusieurs canalisations de transport d'hydrocarbures liquides. Elles permettent les échanges entre les unités de la raffinerie de Donges, le parc de stockage des Bossènes, le parc de stockage des Magouëts, les apponements et la SFDM. Les canalisations sont la propriété de la société TotalEnergies Raffinage France, l'exploitant des canalisations est TotalEnergies Plateforme de Donges.

Trois canalisations transportent du pétrole brut depuis l'apponement n°6 :

- 24 AM 152 : elle relie l'apponement n°6 et l'apponement n°7 sur une longueur de 428 mètres (diamètre 1050mm, pression maximale de service : 14 bar),
- 23 AM 151/P6 : elle relie l'apponement n°6 et l'apponement n°5 sur une longueur de 840 mètres (diamètre 850mm, pression maximale de service : 14 bar),
- 25-AM152/P6 : elle relie l'apponement n°6 au parc des Bossènes sur une longueur de 893 mètres (diamètre 900 mm, pression maximale de service : 14 bar). C'est sur cette dernière que le point de fuite a été identifié.

Les caractéristiques des tubes de l'AM152/P6 sont les suivantes :

Diamètre nominal (” / mm)	36 / 900
Epaisseur nominale (mm)	8
Longueur (m)	12
Norme	API 5L Grade B
Fabrication	Soudé spiralé
Limite d'élasticité (MPa)	241

La canalisation a été posée en 1972, elle est revêtue de brai et a une pression maximale en service autorisée de 14 bar. Les pressions typiques d'exploitation sont de 3 à 8 bar. Hors déchargement, la pression est la pression résiduelle après déchargement (1 à 2 bar maximum.). Un dépotage type dure 12 heures, à un débit moyen de 7 000 m³/h (quantité moyenne = 70 000 t).

Plusieurs ouvrages croisent l'AM152/P6 dans la zone de l'Apponement 6:

- Canalisation 79-SA855 (fuel - en plan d'arrêt temporaire- sous azote) : posée en 1972
- Canalisation 70-AA750 (fuel): posée en 1972
- Canalisation eau potable Carène : posée en 1972
- Canalisation eau incendie : posée en 1972
- Canalisation (diester) SAIPOL : posée en 2008

III.2 L'exploitation des canalisations de transport d'hydrocarbures

L'exploitation des canalisations de transport est encadrée par les prescriptions du Livre V – Titre V – Chapitres IV et V du code de l'environnement et réglementée par l'arrêté du 5 mars 2014 modifié portant règlement de sécurité des canalisations de transport.

La canalisation AM152/P6, autorisée par arrêté préfectoral du 2 janvier 2013, fonctionne au bénéfice des droits acquis conformément aux dispositions de l'article R. 555-23 du code de l'environnement. Antérieurement, ce type de canalisation était considéré comme une canalisation d'usine réglementée dans le cadre de la réglementation ICPE du site, mais ne faisait pas systématiquement l'objet de prescriptions techniques précises.

Elle bénéficie d'un programme de surveillance et de maintenance (PSM) destiné à garantir l'intégrité de la canalisation, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 5 mars 2014.

Plusieurs mesures sont en place afin de détecter une fuite d'un débit moyen à important :

- Surveillance au sol en véhicule (journalière),
- Surveillance au sol pédestre (mensuelle),
- Surveillance aérienne (hebdomadaire),
- Alarme de discordance d'état de niveau de bac : lors du déchargement d'un navire (l'alarme est activée si le niveau du bac vers lequel le brut est déchargé ne monte pas comme prévu),
- Les reniflards des fourreaux sont contrôlés annuellement, permettant de détecter la présence d'hydrocarbures et donc de fuites, même de faible débit.

Au niveau de l'apportement 6, la canalisation peut être isolée grâce à une vanne motorisée. Au Parc des Bossènes, elle peut être isolée grâce à la vanne manuelle positionnée en limite de régime canalisations de transport / ICPE. Au Parc des Magouëts, le réseau d'alimentation des bacs est équipé de différentes vannes motorisées permettant d'isoler le circuit utilisé lors d'un déchargement navire.

Aucun inhibiteur de corrosion n'est utilisé.

III.3 La corrosion

La corrosion est un phénomène physico-chimique de dégradation d'un substrat métallique par le milieu dans lequel il se trouve placé.

Pour ce qui concerne les canalisations de transport, on distingue la corrosion interne liée à la nature du produit transporté et la corrosion externe liée à l'agressivité du milieu extérieur.

Les produits finis, transportés par certaines canalisations, ne contiennent pas d'agents corrosifs. Leur désulfuration en raffinerie ramène la teneur en soufre à 0,2 % max (teneur en soufre du fioul). Cependant, des produits comme le pétrole brut, l'eau huileuse ou eau procédé (fluides chargés) sont susceptibles de présenter des risques de corrosion interne.

Les principaux cas de corrosion externe rencontrés sont :

- La corrosion directe : si l'acier d'une conduite est en relation avec le sol, il se produit une réaction d'oxydation où l'eau joue le rôle d'oxydant. Des pluies abondantes ou une remontée de la nappe peuvent concourir à mettre la canalisation en contact avec de l'eau.
- La corrosion bactérienne : elle est due à l'action conjuguée de plusieurs types de bactéries aérobies et anaérobies qui attaquent le métal par oxydation directe ou indirecte (formation d'H₂S corrosif).
- La corrosion par courants vagabonds.

Ces facteurs de corrosion externe peuvent agir sur des points particuliers : défaut du revêtement, positionnement des gaines, sorties de terre. Les différents modes de protection contre la corrosion sont les suivants :

- Revêtement anticorrosion externe dont le rôle est d'assurer une action d'isolant électrique, destinée à limiter les échanges ioniques et électroniques avec le milieu extérieur. Dans le cas présent, les canalisations sont conçues pour résister à l'environnement proche de la Loire.
- Protection cathodique dont le rôle est d'abaisser artificiellement le potentiel électrochimique de l'acier au-dessous du seuil de corrosion.

III.3.1 Revêtement anticorrosion

Le revêtement externe de la canalisation constitue la protection anticorrosion passive. Il agit en tant que barrière entre le métal et le milieu environnant. Les performances d'un revêtement s'expriment principalement à travers son adhérence, son imperméabilité et sa résistance mécanique. Ce revêtement ne constitue cependant pas une protection absolue et définitive en raison des imperfections ou blessures susceptibles de se produire lors de la pose ou au cours de la vie de l'ouvrage.

La canalisation AM152/P6 est revêtue par du brai de houille.

III.3.2 Protection cathodique

La protection cathodique a pour but de protéger un métal de la corrosion en polarisant le métal par rapport au milieu extérieur de manière à abaisser son potentiel de corrosion libre jusqu'à son domaine d'immunité.

Ce potentiel de protection permet de rendre pratiquement nulle la vitesse de corrosion du métal dans le milieu. L'abaissement du potentiel de l'acier se fait en injectant un courant continu à partir d'une masse anodique.

Afin de protéger une structure en acier contre le phénomène de corrosion, son potentiel doit être abaissé. En pratique, il convient d'abaisser son potentiel en dessous d'une valeur critère. Ce seuil varie en fonction de la résistivité du sol. Le potentiel du métal est abaissé jusqu'à ce qu'il soit dans sa zone d'immunité, zone où la vitesse de corrosion est négligeable.

Comme prévu par la réglementation, la canalisation fait l'objet d'une protection cathodique. Les contrôles de cette protection cathodique sont réalisés annuellement. Les rapports 2018, 2019 et 2020 ont été communiqués par l'exploitant. Les mesures réalisées montrent que la protection cathodique de la ligne est globalement active, mais certaines actions pour l'améliorer sont mentionnées dans les rapports.

Dans la zone de l'apponnement n°6, à différents moments de la période 2018-2020, les points suivants sont mentionnés :

- La polarisation des ouvrages est insuffisante côté apponnement n°6,
- La conduite 25AM152 n'est pas équipée de joint isolant au niveau de la sortie de sol côté apponnement n°6,
- Un contact entre le fourreau et la conduite est détecté au niveau du fourreau où se situe le point de fuite.

La canalisation fait également l'objet de contrôles du revêtement par méthode DCVG (Direct Current Voltage Gradient). Le dernier contrôle de revêtement par cette méthode a été réalisé au mois de mai 2018. Ce type de contrôle est réalisé tous les 6 ans conformément au programme de surveillance et de maintenance (PSM) de la canalisation.

Cette méthode consiste à injecter du courant et à mesurer le long de la canalisation l'évolution du gradient de potentiel au droit de la canalisation. Les défauts détectés sont répertoriés et pourront donner lieu à des investigations en fonction de leur importance. Le rapport ne donne pas d'éléments sur la zone de la fuite car les zones sous fourreaux n'ont pu être contrôlées.

Un contrôle des potentiels par méthode CIPS (Close Interval Potential Survey), mesures de potentiel à espace rapproché sur canalisations enterrées, a également été réalisé en 2018, en complément du contrôle de revêtement évoqué ci-dessus. Toutefois, la zone à proximité de la fuite n'avait pas pu être contrôlée car elle n'était pas accessible au moment de l'inspection. Mais il est vraisemblable que la présence du fourreau aurait également rendu impossible le contrôle.

III.4 L'inspection des canalisations de transport par racleur instrumenté

La réglementation relative au suivi des canalisations de transport, a récemment évolué, et renforcé les prescriptions relatives à l'inspection des ouvrages par racleur instrumenté. Ces nouvelles prescriptions sont entrées en vigueur le 1^{er} juillet 2021.

L'article 18 de l'arrêté du 5 mars 2014, dans sa version applicable jusqu'au 1^{er} juillet 2021 et dans sa nouvelle version applicable à compter du début de la première période de mise en œuvre du plan de surveillance et de maintenance à partir du 1^{er} juillet 2021 figure en **annexe 2**.

L'alinéa III prévoit notamment que :

Pour les sections de canalisations dont le diamètre nominal est supérieur ou égal à 80 et la première mise en service date de plus de trente ans et qui transportent des fluides inflammables ou nocifs ou toxiques sous forme liquide ou liquéfiée, à l'exception de leurs installations annexes et des canalisations dont la surface de projection au sol ne dépasse pas 500 m², le programme de surveillance et de maintenance inclut au minimum tous les quatre ans une inspection par racleurs instrumentés du tracé courant apte à détecter l'ensemble des défauts listés au 13^e alinéa du II.

Un racleur instrumenté est un outil destiné au contrôle de tubes par l'intérieur. Il est introduit au début de la portion de canalisation à inspecter, par l'intermédiaire d'un dispositif appelé gare racleur. Il se déplace avec le fluide sur de longues distances (plusieurs dizaines de kilomètres) en faisant des acquisitions de données. En fin d'inspection, le racleur est récupéré dans la gare d'arrivée, les données sont extraites et vérifiées puis analysées à l'aide de logiciels spécifiques. Les données issues de l'acquisition sont représentées sous forme de cartographies qui permettent d'obtenir ainsi des vues du pipeline en développé et en coupe.

Un racleur instrumenté est constitué de différents modules placés bout à bout ayant chacun ses propres fonctionnalités. L'ensemble doit rester flexible pour que les racleurs puissent évoluer dans les coudes des canalisations à inspecter. Les principaux modules d'un racleur sont les suivants :

- Une unité de traction qui assure l'entraînement du racleur par le fluide transporté,
- Un système d'alimentation de l'ensemble de l'outil,
- Des systèmes de mesure, d'acquisition et d'enregistrement des mesures,
- Des systèmes de localisation qui permettent de déterminer la position des défauts et la localisation et l'orientation de l'outil dans le tube.

Les opérations de contrôle peuvent être de différents types :

- Le contrôle de géométrie permet de localiser et de dimensionner les déformations du tube (ovalisation et enfoncements),
- Le contrôle d'étanchéité permet la recherche de fuite,
- La recherche de manque de métal permet de détecter les pertes d'épaisseur,
- Et la recherche de fissures.

Pour pouvoir être inspectée par un racleur instrumenté une canalisation doit non seulement être équipée de gares racleurs mais il faut aussi que les rayons de courbure des coudes du pipeline permettent le passage du racleur.

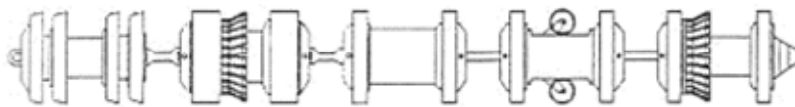


Figure 9 : schéma type d'un racleur instrumenté

La canalisation AM152/P6 n'a jamais fait l'objet d'inspection par racleur instrumenté car cette canalisation n'a pas été conçue à son origine pour être raclable. Sa géométrie, coudes et réductions ne permettent pas le passage de ce type d'outils. Des travaux étaient programmés pour qu'elle puisse être inspectée au premier semestre 2021 dans le cadre d'un programme global de raclage des canalisations de la plateforme de Donges. Mais la fuite est intervenue avant ces travaux.

III.5 Réparations subies par la canalisation avant la fuite

Une seule réparation a été réalisée sur la canalisation AM152/P6, sur la partie sous réglementation des canalisations de transport. Cette réparation, réalisée en novembre 2019, a concerné son revêtement. Elle a été rendue nécessaire à la suite de contrôles non destructifs (CND) de l'état du tube qui avaient nécessité au préalable un retrait du revêtement sur une longueur d'environ 10 mètres. Cette réparation est située dans l'enceinte de l'appontement 6, à l'extrémité sud du fourreau sous la route du Galion (i.e. côté Loire).

III.6 Accidentologie des canalisations de transport alimentant la raffinerie de Donges en pétrole brut

Une fuite survenue récemment sur une autre canalisation de transport de pétrole brut et desservant aussi la raffinerie de Donges a attiré notre attention : le 21 avril 2019, un percement était survenu sur la canalisation AM151. Comme la canalisation AM152, la canalisation AM151 alimente la raffinerie de Donges en pétrole brut. Toutefois, le phénomène en cause n'est pas le même que celui rencontré dans le cadre de la fuite de la canalisation AM 152 P6. En effet, le dommage était consécutif à une corrosion interne en génératrice inférieure. Des investigations à proximité du point de fuite ont montré des zones de corrosion localisées en génératrice inférieure.

Un examen approfondi a été réalisé par l'Institut de Soudure et celui-ci indique que les pertes de matière affectant la surface interne du tube correspondent à un mécanisme principal de corrosion vraisemblablement initié par la présence d'une phase aqueuse au point bas de la canalisation. De nombreux cratères et piqûres de corrosion, à la morphologie similaire au percement principal ont été observés le long de la génératrice inférieure. Les dommages relevés correspondent à une corrosion électrochimique développée à la faveur de l'oxygène dissous dans l'eau et/ou un mécanisme de corrosion bactérienne.

Les différents éléments en la possession de l'exploitant, lui a permis de conclure avec une forte probabilité à une corrosion d'origine bactérienne. Le remplacement du tronçon sur 70 mètres a été réalisé en juin 2020.

IV. Compte-rendu des investigations menées

IV.1 Reconnaissance de terrain

Les enquêteurs du BEA-RI se sont rendus sur le lieu de la fuite à deux reprises, une première fois le 18 janvier 2021 en présence de 2 inspecteurs du service chargé du contrôle des canalisations de la DREAL Pays de la Loire, et de l'exploitant de la canalisation de transport. Ils ont recueilli les témoignages des acteurs impliqués dans la gestion de la fuite. Sans accès au défaut, aucune conclusion n'a pu être tirée. Il a toutefois été constaté que la canalisation ne semblait pas centrée dans son fourreau. (Figure 6).

Ils se sont ensuite rendus sur place une seconde fois, le 29 mars 2021, après identification du point de fuite et une fois le tronçon de canalisation extrait de son fourreau. Un phénomène de corrosion externe semble alors pouvoir être identifié.



Figure 10: surface externe du tube



Figure 11 : surface interne du tube

IV.2 Analyse métallurgique

Deux tronçons de canalisation ont fait l'objet d'un examen métallurgique approfondi par le laboratoire GSMIC, commandité par la société TotalEnergies Raffinage France avec l'accord du BEA-RI. Les conclusions de cette expertise figurent ci-dessous :

Constatations

Le chemin de fuite a un diamètre de 8 mm; il est situé au centre d'un chancre de corrosion extérieur de 250 x 100 mm dont l'aspect dentelé est habituel pour ce type de dégradation.

Il résulte d'une corrosion localisée de la surface extérieure du pipeline sans qu'aucune anomalie microstructurale du tube n'ait contribué à l'endommagement.

Aucune indication linéaire de type fissure n'a été mise en évidence.

La surface intérieure du pipeline au droit du chemin de fuite apparaît satisfaisante sans trace de corrosion particulière; de manière plus générale, la surface intérieure des tronçons présente des corrosions en génératrice inférieure.

Bien qu'aucune zone de décollement du brai n'ait été mise en évidence lors de l'examen viso-tactile des 11 tronçons, les contrôles réalisés à partir de l'intérieur des tronçons ont permis d'identifier une trentaine de zones de corrosion extérieures.

Les analyses microbiologiques, réalisées sur des produits de corrosion prélevés à l'interface tube/revêtement au droit d'une zone de corrosion extérieure, ont permis d'identifier la présence de bactéries sulfato-réductrices (BSR).

Caractéristiques de l'acier du pipeline

La composition chimique de l'acier est conforme à la nuance d'origine.

Les mesures de dureté apparaissent homogènes et conformes à celles attendues pour un acier de ce type.

Les valeurs d'essais de traction sont conformes à celles requises pour la nuance annoncée.

Mécanisme d'endommagement retenu

La fuite survenue sur le tronçon T9 du pipeline P6 de la raffinerie de Donges résulte d'un mécanisme de corrosion en milieu aqueux qui s'est développé à partir de la surface extérieure et favorisé par un revêtement localement endommagé et perméable et une protection cathodique localement non efficace (la présence d'un fourreau métallique peut créer des interférences susceptibles de diminuer l'efficacité de la protection cathodique de la canalisation qui se trouve dans le fourreau).

La détection, au droit d'une de la trentaine de zones de corrosion extérieure recensées sur la canalisation, de bactéries sulfato-réductrices à l'interface tube / revêtement laisse à penser que le mécanisme de corrosion ayant entraîné la fuite, a pu être accentué par une activité bactérienne.

Le rapport de l'expertise métallurgique réalisée par GISMIC figure en **annexe 3** de ce rapport.

V. Déroulement de l'évènement

Le dernier déchargement de pétrole brut ayant été effectué avant l'évènement du 2 janvier a eu lieu le samedi 19 décembre 2020. 18 662T de brut aquitain à bas taux de soufre ont été déchargés.

Le samedi 2 janvier 2021, à 15h30 des irisations en Loire sont découvertes au niveau de l'appontement 6 lors d'une ronde de surveillance d'exploitation. Il n'y a pas de navire à quai, ni d'opérations en cours sur l'appontement 6 au moment des faits ni les heures précédentes.

À 15h45, la présence d'hydrocarbures en quantité limitée est découverte sur les rochers au pied de l'appontement 6. Les équipes opérationnelles effectuent des rondes d'inspection des équipements de l'appontement 6 et aucune fuite ni présence d'hydrocarbures n'est détectée.

À 16h30, sont appelés le contremaître de sécurité des astreintes et les renforts 1^{er} niveau du Service Sécurité de la Raffinerie de Donges ainsi que les astreintes encadrement pour la mise en place de plaques d'absorbants type buvard, d'une ligne de boudins absorbants et d'un barrage à jupe lestée équipé de boudins absorbants. Des rondes régulières par le service sécurité sont mises en place. Il est vérifié que la ligne est isolée. La superficie de la surface irisée est évaluée entre 50 et 100 m². La surface de rocher où du produit s'est partiellement écoulé est de 100 m². Un échantillon de produit est prélevé puis analysé au laboratoire de la raffinerie. L'hypothèse la plus probable est qu'il s'agisse de pétrole brut (densité 0,8545, teneur en soufre 2630 ppm).

Le dimanche 3 janvier, à partir de 9h, les absorbants contenant du produit sont déposés, mis en benne, et remplacés par des absorbants neufs. À partir de 10h30 se succèdent les visites de l'astreinte de la capitainerie, de la gendarmerie et de la gendarmerie maritime.

La DREAL est prévenue à 13h15. Avec la baisse de la marée, des irisations échappent aux barrages en place. La décision est prise de mettre en place une nouvelle ligne de boudins absorbants plus large pour capter ces irisations. La nouvelle ligne élargie de boudins absorbants est mise en place à 16h30.

Le 4 janvier, TotalEnergies Raffinage France fait appel à une entreprise de travaux publics pour procéder à la recherche de l'origine de la fuite. La présence de composés organiques volatils est relevée dans l'un des événements de fourreaux de la ligne enterrée traversant la route. Des fouilles sont réalisées au niveau de ces fourreaux. En parallèle, les analyses réalisées sur le produit récupéré montrent qu'il s'agit de pétrole brut à basse teneur en soufre.

L'analyse du produit récupéré a permis d'identifier la canalisation fuyarde parmi les différentes canalisations présentes. Des investigations plus poussées ont ensuite été nécessaires pour identifier le point de fuite (voir point II.3).

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement

VI.1 Scénario

L'origine de la fuite est due à un mécanisme de corrosion en milieu aqueux qui s'est développé à partir de la surface extérieure.

C'est un phénomène lent, mais les mesures existantes pour limiter son évolution n'ont pas pu prévenir le percement de la canalisation. Les résultats des contrôles mis en œuvre pour s'assurer que la protection cathodique était bien fonctionnelle mentionnaient des anomalies de fonctionnement dans la zone de fuite pour lesquelles des mesures d'amélioration avaient été identifiées mais pas encore toutes mises en œuvre.

Ce type de perte d'épaisseur aurait pu être identifié lors du passage d'un racleur instrumenté mais les caractéristiques géométriques de la canalisation n'en permettaient pas le passage. Des travaux pour rendre la canalisation raclable étaient programmés mais pas encore réalisés au moment de l'événement. La réglementation aurait imposé le passage d'un racleur instrumenté à moyen terme.

L'arrêt de mesures d'urgence pris par la DREAL suite à la fuite impose cette inspection dans l'année qui suit le redémarrage de la canalisation.

VI.2 Facteurs contributifs

Certains éléments, sans être déterminants, ont pu jouer un rôle positif ou négatif dans la survenue de la fuite.

VI.2.1 Ont permis de limiter la survenue et les conséquences d'une fuite

- Les marges constructives en matière d'épaisseur d'acier au regard des conditions d'exploitation et notamment d'une pression d'exploitation relativement basse ont permis de repousser dans le temps la survenue de la fuite et d'éviter la survenue d'autres modes de dégradation en complément de la corrosion.
- Le suivi régulier de la protection cathodique et les travaux effectués ces dernières années sur le site ont amélioré son fonctionnement et permis de limiter le développement de problèmes de corrosion.
- Les conditions d'exploitation, et notamment la faible sollicitation de la canalisation au moment de la survenue de la fuite ont limité les conséquences de la fuite.

VI.2.2 Ont contribué à la survenue de la fuite

- La proximité de la canalisation avec la Loire et son positionnement en zone de battement de nappe peuvent avoir été des facteurs aggravants vis-à-vis du phénomène de corrosion.
- Son positionnement sous fourreau avec le risque de contacts tube-gaine, de présence d'eau et de difficultés supplémentaires pour contrôler l'état du revêtement représente également un facteur contributif de l'évènement.
- Le site a fait l'objet depuis plusieurs années d'un suivi régulier de l'efficacité de sa protection cathodique et de travaux pour améliorer son efficacité. Toutefois, les 3 derniers rapports mentionnaient dans la zone de la fuite des défauts nécessitant la mise en œuvre de mesures d'amélioration : une polarisation insuffisante, l'absence de joint isolant au niveau de la sortie de

sol côté appontement n°6, et un contact entre le fourreau et la conduite au niveau du fourreau où se situe le point de fuite.

Le positionnement sous fourreau et le battement de nappe dans le fourreau pouvant également être à l'origine de la perte d'efficacité locale de la protection cathodique.

- Enfin, ce tronçon de canalisation n'avait jamais fait l'objet d'une inspection par racleur instrumenté, outil qui aurait pu fournir à l'exploitant une vision de l'état de la canalisation notamment en matière de pertes d'épaisseur.

En conclusion, les opérations de surveillance de la canalisation AM152/P6 n'ont pas été suffisantes pour prévenir une fuite par corrosion externe. Toutefois l'inspection par racleur instrumenté prévue pour être réalisée en 2021, corrélée aux indications fournies par les rapports de suivi de la protection cathodique auraient vraisemblablement permis de localiser les pertes d'épaisseurs à l'origine du point de fuite et de monitorer leur évolution.

VII. Enseignements de sécurité

L'étude de cet évènement permet de dégager les enseignements de sécurité suivants :

VII.1 En matière de protection cathodique

La corrosion est un mode de dégradation majeur pour les canalisations de transport construites en acier. Dans le cas de la canalisation AM152/P6, le phénomène à l'origine de la fuite est une corrosion en milieu aqueux développée à partir de la surface extérieure et favorisée par un revêtement localement endommagé et perméable, une protection cathodique localement non efficace et vraisemblablement une activité bactérienne.

Les derniers contrôles réalisés concluaient à une efficacité du dispositif de protection cathodique, mais signalaient des points à améliorer.

L'origine du problème pouvant aussi remonter à une période où l'efficacité de la protection cathodique était moins régulièrement suivie. Les actions correctives réalisées sur la protection cathodique ralentissent les phénomènes de corrosion, mais ne compensent pas les pertes de métal dues à des phénomènes de corrosion initiés dans le passé.

Il y a donc lieu d'être très vigilant à la bonne réalisation des contrôles de la protection cathodique des canalisations de transport prévus par la réglementation et de procéder dans les meilleurs délais aux travaux préconisés.

Ces contrôles peuvent utilement être complétés par des opérations de surveillance du revêtement suivies par les investigations et réparations adaptées.

VII.2 En matière d'inspection des canalisations de transport

Le design de la canalisation AM152 ne permettait pas le passage de racleurs instrumentés et un programme de travaux était planifié pour permettre le passage de ce type d'outils. La fuite est intervenue avant que ces travaux n'aient pu être réalisés.

En parallèle, la réglementation relative aux canalisations de transport, arrêté du 5 mars 2014 modifié, a évolué et impose dans le cadre de la première période de mise en œuvre du plan de surveillance et de maintenance intervenant à partir du 1^{er} juillet 2021 l'utilisation de ce type d'équipements pour détecter les défauts de type perte d'épaisseur, géométriques et fissures longitudinales et transversales avec des périodicité plus courtes que celles prévues précédemment (quatre ans dans le cas de cette canalisation).

Après plusieurs autres fuites y compris celle intervenue sur la canalisation AM151, la fuite faisant l'objet du présent rapport confirme l'opportunité des modifications réglementaires intervenues au cours des dernières années :

D'une part le rattachement par le décret 2012-615 du 2 mai 2012 de ces courtes canalisations reliant des installations industrielles proches mais passant dans le domaine public au régime des canalisations de transport, ce qui permet d'imposer à ces canalisations les mêmes règles techniques détaillées que pour les canalisations de transport à longue distance ;

D'autre part, l'imposition pour ces canalisations par l'arrêté du 3 juillet 2020 portant modification de l'arrêté du 5 mars 2014, d'un programme de surveillance intégrant le contrôle périodique par racleurs instrumentés.

Il est primordial que ces inspections soient réalisées dans les meilleurs délais en portant une attention particulière et en priorisant les ouvrages :

- **N'ayant jamais fait l'objet d'une telle inspection,**
- **Ne bénéficiant ou n'ayant pas toujours bénéficié d'une protection cathodique pleinement efficace,**
- **Pour lesquels les mesures de contrôle du revêtement ne sont pas opérationnelles ou montrent des défauts,**
- **Situés dans un environnement présentant une sensibilité particulière (environnementale ou densité de population)**
- **Et qui subissent ou ont subi des conditions d'exploitations plus sévères (pression maximale en service et cycles en pression).**

VII.3 En matière de délai d'intervention pour détecter et faire cesser la fuite

Les mesures mises en œuvre par l'exploitant pour détecter une fuite sont opérationnelles pour des fuites importantes ou modérées mais peuvent être inadaptées pour des fuites moins importantes. Pourtant les plus petites fuites peuvent aussi avoir des impacts environnementaux notables si elles se prolongent.

Une attention particulière devrait donc être portée aux systèmes de détection de fuite qui équipent les canalisations de transport, y compris dans l'optique de détecter des fuites de plus faible volume.

Une fois la fuite détectée, l'alimentation de la section concernée ayant été stoppée, en fonction de sa localisation, le délai pour faire cesser la fuite peut encore être important.

Il est donc également intéressant que les exploitants étudient pour les points singuliers du tracé des canalisations comment faire cesser une fuite si elle venait à se produire afin de couper les voies de transfert dans le milieu naturel dans les meilleurs délais. Ce point pourrait également être testé dans le cadre des exercices réalisés.

VIII. Recommandations de sécurité à destination de l'exploitant

Dans le cadre des travaux de réparation de la canalisation, le BEA-RI recommande à l'exploitant :

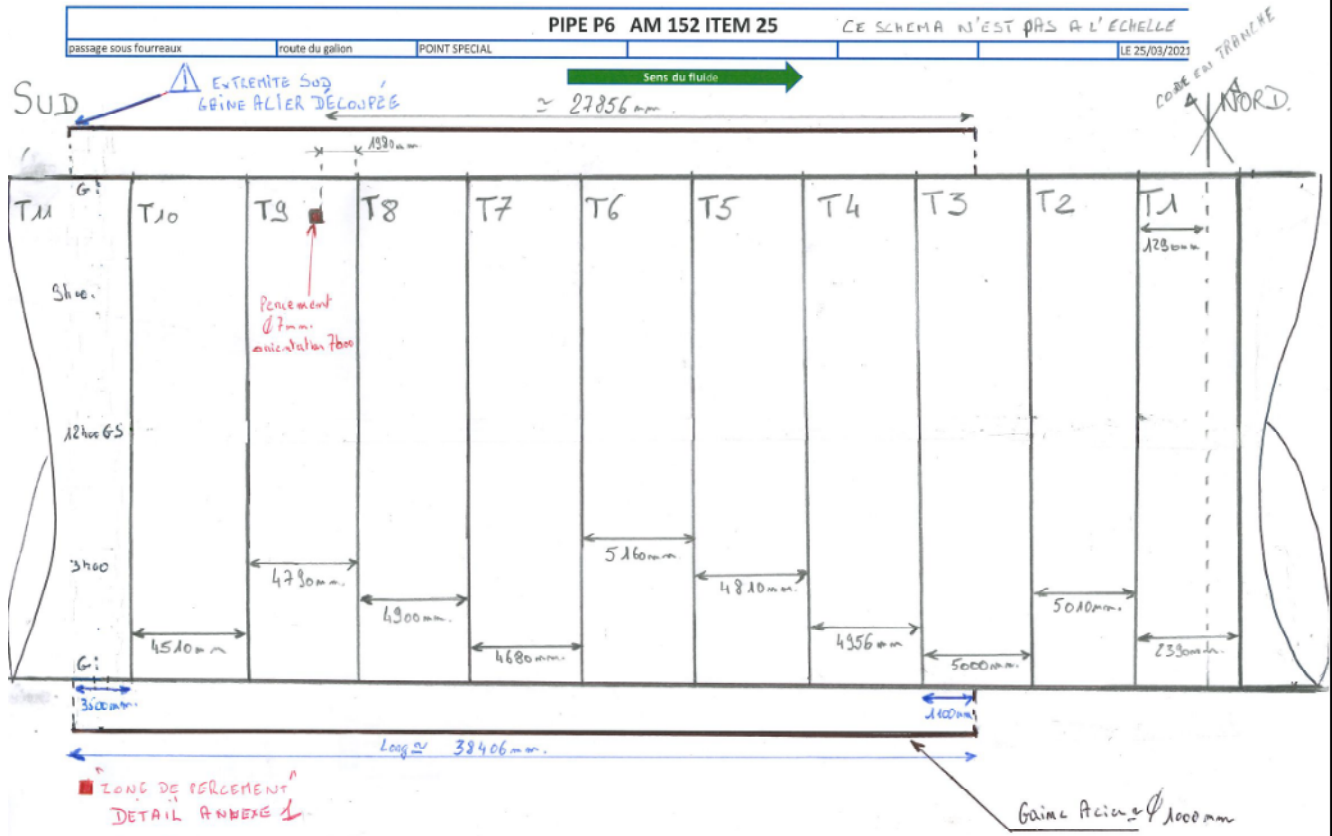
- De mettre en œuvre les actions préconisées par les rapports d'analyse des rapports de contrôle de la protection cathodique.
- De réaliser les travaux nécessaires pour que la canalisation puisse être inspectée par racleur instrumenté.

Le BEA-RI recommande également de procéder à l'inspection par racleur instrumenté de cette canalisation et de mettre en œuvre les éventuelles mesures préconisées par l'analyse de ce rapport d'inspection dans les meilleurs délais après la reprise d'exploitation.

IX. Annexes

Annexe 1	Localisation du point de fuite dans le fourreau	29
Annexe 2	Extrait de la réglementation applicable aux canalisations de transport	30
Annexe 3	Rapport de l'expertise métallurgique.....	36

Annexe 1 Localisation du point de fuite dans le fourreau



Annexe 2 Extrait de la réglementation applicable aux canalisations de transport

Article 18 (ancienne réglementation applicable jusqu'au 1^{er} juillet 2021) de l'arrêté du 5 mars 2014

Le transporteur met en place les mesures, en conformité avec l'état de l'art et dont le coût n'est pas disproportionné avec les bénéfices attendus, pour garantir l'intégrité de la canalisation, préserver la sécurité et la santé des personnes, et assurer la protection de l'environnement. Parmi ces mesures, une protection cathodique, si elle est adaptée au matériau constitutif de la canalisation, est requise.

Le programme de surveillance et de maintenance mentionné à l'article R. 555-43 du code de l'environnement permet d'assurer un examen complet de la canalisation sur une période ne dépassant pas dix ans, selon des procédures documentées, préétablies et systématiques. Cette période est ramenée à six ans pour les canalisations dont la première mise en service date de plus de trente ans et qui transportent des fluides inflammables ou nocifs ou toxiques sous forme liquide ou liquéfiée, à l'exception de leurs installations annexes et des canalisations dont la surface de projection au sol ne dépasse pas 500 m². Le transporteur peut demander au préfet une dispense d'application de la durée réduite susmentionnée s'il peut prouver que le nombre et l'intensité des cycles de pression effectivement subis par la canalisation sont très faibles au regard de ce que celle-ci peut supporter. Ce programme est renouvelé dès la fin de chaque période.

Ce programme prévoit notamment des opérations d'inspection ou d'analyse portant sur l'ensemble de la canalisation, y compris les installations annexes, permettant la détection des défauts et l'évaluation de leurs caractéristiques au regard de critères d'acceptabilité. Les critères d'acceptabilité déterminent si le défaut relevé nécessite un changement de l'élément, une réparation ou un suivi de son évolution. Il comporte un chapitre relatif au suivi spécifique des éléments suivants :

- les organes de sécurité tels que les dispositifs de limitation des surpressions et les organes de détection, de mesure et de télémessure associés à des fonctions de sécurité ;
- les organes de sectionnement, et notamment ceux destinés à l'arrêt d'urgence ;
- les gares de racleurs, et notamment leurs dispositifs de fermeture ;
- les points singuliers ;
- les traversées d'espaces naturels protégés ou reconnus.

Ce programme permet d'assurer la surveillance et le suivi de la protection cathodique, conformément aux normes européennes en vigueur et avec la fréquence minimale appropriée, en particulier par des mesures de potentiel de la canalisation et des canalisations voisines (ou pour ces dernières par toute solution technique apportant des garanties équivalentes), protection cathodique en service et déconnectée. Une attention particulière est portée aux croisements et aux parallélismes des voies ferrées, d'autres structures métalliques, aux passages en fourreaux ou en gaines, à proximité des pylônes électriques et au droit des joints isolants. Pour les tronçons à fort isolement, les influences des courants de traction (voies ferrées alimentées en courant continu ou alternatif) et les influences des lignes à haute tension sont gérées afin de garantir la sécurité de l'ouvrage.

Il tient compte, tout le long du tracé, des singularités de la canalisation, liées à sa conception, aux phénomènes de dégradation, usure ou fatigue qu'elle a subis et aux opérations de surveillance et maintenance qui ont été effectuées, ainsi que de la sensibilité de l'environnement de la canalisation, notamment les concentrations de présence humaine ainsi que les aquifères et espaces naturels protégés ou reconnus.

Les méthodes de surveillance et d'inspection sont conformes au guide professionnel du GESIP intitulé " Surveillance, maintenance, inspection et réparations des canalisations de transport ".

Les méthodes de réparation sont soit conformes au guide professionnel du GESIP intitulé " Surveillance, maintenance, inspection et réparations des canalisations de transport ", soit font l'objet d'une validation par le transporteur selon un dossier technique tenu à la disposition du service chargé du contrôle, qui peut demander un examen complémentaire par un organisme compétent.

Le transporteur est en mesure de justifier les choix effectués, notamment si la surveillance de l'intégrité de la canalisation s'appuie sur des réépreuves périodiques. Il informe par écrit le service chargé du contrôle de toute modification du programme et des raisons qui ont conduit à ces modifications, ainsi que, le cas échéant, de toutes difficultés rencontrées dans sa réalisation.

Le programme de surveillance et de maintenance présente les dispositions spécifiques que le transporteur met en œuvre pour assurer la sécurité de la canalisation et le maintien de son intégrité dans le temps concernant notamment les éléments mentionnés aux articles 7 et 10.

[Nouvelles dispositions applicables à compter du début de la première période de mise en œuvre du plan de surveillance et de maintenance à partir du 1er juillet 2021 et selon les guides révisés tenant compte de ses nouvelles dispositions]

I. Le transporteur met en place les mesures, en conformité avec l'état de l'art et dont le coût n'est pas disproportionné avec les bénéfices attendus, pour garantir l'intégrité de la canalisation, préserver la sécurité et la santé des personnes, et assurer la protection de l'environnement.

Parmi ces mesures :

- une protection cathodique est requise, sauf s'il est démontré qu'elle serait sans effet sur la protection contre la corrosion de la canalisation ;
- les cycles de pression subis par la canalisation sont limités en nombre et en intensité compte tenu des nécessités de l'exploitation, et sont suivis et tracés en des points représentatifs.

II. Le programme de surveillance et de maintenance mentionné à l'article R. 554-48 du code de l'environnement permet d'assurer un examen complet de la canalisation sur une période ne dépassant pas dix ans, selon des procédures documentées, préétablies et systématiques.

Le programme de surveillance et de maintenance prévoit des opérations d'inspection puis d'analyse portant sur :

- l'ensemble du tracé courant ;
- les installations annexes ;
- les organes de sécurité tels que les dispositifs de limitation des surpressions et les organes de détection, de mesure et de télémessure associés à des fonctions de sécurité ;
- les organes de sectionnement, et notamment ceux destinés à l'arrêt d'urgence ;
- les gares de racleurs, et notamment leurs dispositifs de fermeture ;
- les points singuliers ;
- les traversées d'espaces naturels protégés ou reconnus ;
- le cas échéant, des mesures compensatoires mises en place suite aux conclusions de l'étude de dangers.

Il prévoit également, le cas échéant, un essai au moins annuel des systèmes de détection de fuite et de leur asservissement à la mise en sécurité de l'ouvrage.

Il précise les modalités de suivi des cycles de pression subis par l'ouvrage (y compris le cas échéant les coups de bélier).

Ces opérations d'inspection puis d'analyse permettent la détection des défauts, dont notamment, sur l'ensemble du tracé courant, les pertes de métal, les défauts géométriques, les fissures longitudinales et transversales, ainsi que l'évaluation de leurs caractéristiques au regard de critères d'acceptabilité.

Des méthodes indirectes fondées sur des mesures électriques de surface, des essais de résistance en pression périodiques, des essais d'étanchéité, ou des recherches systématiques de fuite, peuvent le cas échéant être employées lorsque des méthodes d'inspection directes ne sont pas utilisables ou sont incompatibles avec les pressions et les débits d'exploitation ou ne sont pas plus efficaces relativement au mode de dégradation considéré. Dans le cas d'utilisation d'essais d'étanchéité ou de recherches systématiques de fuite, l'intervalle entre deux inspections ne peut excéder quatre ans.

Les opérations d'inspection puis d'analyse relatives à certains modes de dégradation peuvent ne pas être réalisées s'il est démontré, conformément à un guide professionnel approuvé par décision du ministre chargé de la sécurité du transport par canalisation, prise après avis du Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques, que ce mode de dégradation ne peut pas se produire. Ce guide prévoit, le cas échéant, les méthodes alternatives à mettre en œuvre.

Le transporteur justifie dans le programme de surveillance et de maintenance que la périodicité d'inspection retenue est compatible avec la cinétique d'évolution des défauts précités, en tenant compte :

- des modes de dégradation redoutés,
- des caractéristiques des matériaux utilisés et de la construction de la canalisation,
- des conditions d'exploitation et notamment du cyclage en pression,
- de l'efficacité de la protection cathodique,
- de la sensibilité des moyens de contrôle mis en œuvre,
- des délais d'exploitation des résultats de ces moyens de contrôle,
- des délais de réalisation des réparations nécessaires.

Le cas échéant, la justification est adaptée aux particularités de certaines zones.

Les critères d'acceptabilité déterminent si le défaut relevé nécessite un changement de l'élément, une réparation ou un suivi de son évolution.

Les méthodes de surveillance, d'inspection, de réparation et de suivi des cycles de pression sont conformes à un guide professionnel approuvé par décision du ministre chargé de la sécurité du transport par canalisation. Toutefois, les méthodes de réparation peuvent alternativement faire l'objet d'une validation par le transporteur selon un dossier technique tenu à la disposition du service chargé du contrôle, qui peut demander un examen complémentaire par un organisme compétent.

Le transporteur est en mesure de justifier les choix effectués. Il informe par écrit le service chargé du contrôle de toute modification du programme et des raisons qui ont conduit à ces modifications, ainsi que, le cas échéant, de toutes difficultés rencontrées dans sa réalisation.

III. Pour les sections de canalisations dont le diamètre nominal est supérieur ou égal à 80 et la première mise en service date de plus de trente ans et qui transportent des fluides inflammables ou nocifs ou toxiques sous forme liquide ou liquéfiée, à l'exception de leurs installations annexes et des canalisations dont la surface de projection au sol ne dépasse pas 500 m², le programme de surveillance et de

maintenance inclut au minimum tous les quatre ans une inspection par racleurs instrumentés du tracé courant apte à détecter l'ensemble des défauts listés au 13^e alinéa du II. L'inspection par racleurs instrumentés relatifs à certains modes de dégradation peut ne pas être réalisée s'il est démontré, conformément à un guide professionnel approuvé par décision du ministre chargé de la sécurité du transport par canalisation, prise après avis du Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques, que ce mode de dégradation ne peut pas se produire. Ce guide prévoit, le cas échéant, les méthodes alternatives à mettre en œuvre.

Cette périodicité peut être étendue à six ans si :

- les modalités renforcées fixées à cet effet dans un guide professionnel approuvé par décision du ministre chargé de la sécurité du transport par canalisation sont respectées ;
- l'analyse du précédent passage de racleur n'a pas mis en évidence de mode de dégradations conduisant à une évolution des défauts incompatibles avec sa périodicité ;
- les conditions de protection cathodique et d'exploitation (notamment le cyclage des pressions y compris prévention des coups de bélier et régulation des pompes) ne sont pas plus pénalisantes que celles de la précédente période ;
- les performances des racleurs correspondent aux meilleures techniques disponibles, dont le coût n'est pas disproportionné par rapport aux bénéfices attendus.

IV. Pour les sections de canalisations dont le diamètre nominal est inférieur à 80 et la première mise en service date de plus de trente ans et qui transportent des fluides inflammables ou nocifs ou toxiques sous forme liquide ou liquéfiée, à l'exception de leurs installations annexes et des canalisations dont la surface de projection au sol ne dépasse pas 500 m², le programme de surveillance et de maintenance inclut la mise en œuvre des méthodes indirectes visées au II. Dans le cas d'utilisation d'essais d'étanchéité ou de recherches systématiques de fuite, l'intervalle entre deux inspections ne peut excéder deux ans.


V. Ce programme permet également d'assurer la surveillance et le suivi de la protection cathodique, conformément aux normes en vigueur et en particulier par des mesures de potentiel de la canalisation et des canalisations voisines (ou pour ces dernières par toute solution technique apportant des garanties équivalentes), protection cathodique en service et déconnectée.

Une attention particulière est portée aux croisements et aux parallélismes des voies ferrées, d'autres structures métalliques (sous protection cathodique ou pas), aux passages en fourreaux ou en gaines, à proximité des pylônes électriques, au droit des joints isolants aux sorties de sols. Pour les tronçons à fort isolement, les influences des courants de traction (voies ferrées alimentées en courant continu ou alternatif) et les influences des lignes à haute tension sont gérées afin de garantir la sécurité de l'ouvrage.

La périodicité maximale pour les contrôles (évaluation générale) est d'un an et celle pour les inspections (évaluation complète et détaillée) n'est pas supérieure à trois ans, ou quatre ans s'il existe des méthodes de télémessures régulièrement exploitées et vérifiées sur les différents équipements du système de protection cathodique.

VI. Ce programme doit tenir compte, tout le long du tracé, des singularités de la canalisation, liées à sa conception, aux phénomènes de dégradation, usure ou fatigue qu'elle a subis et aux opérations de surveillance et maintenance qui ont été effectuées, ainsi que de la sensibilité de l'environnement de la

canalisation, notamment les concentrations de présence humaine ainsi que les aquifères et espaces naturels protégés ou reconnus.

Référentiel technique : <i>Technical reference :</i>	Client : <i>Customer :</i>
Voir Paragraphe 6 Modalités de réalisation des travaux	 RAFFINERIE TOTAL Donges RD 100 - Magasin Général 44480 Donges

Expertise du chemin de fuite de la ligne P6 de la raffinerie de Donges

Détermination des causes ayant engendré la fuite d'hydrocarbures

Date et lieu de l'intervention : *visit date and location:*

Mai à Juillet 2021, Laboratoire de Marignane

Rapport établi le : <i>Report issued on :</i>	Date de vérification : <i>Date of validation :</i>
21.07.2021	22.07.2021
Rédacteur GIS-MIC : <i>GIS-MIC WRITER :</i> (Nom & Visa) : <i>(Name and sign) :</i>	Rapport Vérifié par : <i>Report verified by :</i> (Nom & Visa) : <i>(Name and sign) :</i>

Mallory FERRIGNO



Karim BENSAID

Annule et remplace le rapport précédent

SOMMAIRE

1. REFERENCES.....	3
2. OBJET.....	3
3. CONTEXTE DE L'EXPERTISE.....	3
4. DONNEES TECHNIQUES ET INFORMATIONS COMMUNIQUEES.....	4
5. ANALYSES ET ESSAIS REALISES.....	5
6. MODALITES DE REALISATION DES ANALYSES ET ESSAIS.....	6
7. PRELEVEMENTS REMIS.....	8
8. RESULTATS.....	10
9. CONCLUSIONS.....	22

Annexe 1A : Rapport technique de contrôle PAUT des tronçons.

Annexe 1B : Rapport technique de contrôle PAUT – Prélèvement P1.

Annexe 2 : Mode opératoire Boccard d'extraction de la P6 du fourreau.

Annexe 3 : Mémo TOTAL XL/21/06 Rev 0 « Gamme opératoire pour préserver la zone de fuite pour analyse métallurgique ultérieure ».

Annexe 4 : Cartographie de localisation des zones de corrosion extérieure mises en évidence lors du contrôle UT PA des tronçons.

1. REFERENCES

- Demande de travaux de Monsieur Xavier LEBLANC -Chef du Service Inspection de la raffinerie de Donges, TotalEnergies – Raffinage France.
- Commande n°: 4551271944 DU 29/03/2021.
- Références affaire GIS-MIC : SE-TODGS/2021-05.

2. OBJET

Expertise du chemin de fuite du tronçon de pipeline T9 de la ligne P6 de la raffinerie de Donges afin de déterminer le ou les mécanisme(s) d'endommagement ayant engendré la fuite d'hydrocarbures.

Cette expertise a eu pour but de :

- Commenter et valider :
 - Le mode opératoire de prélèvement des tronçons.
 - Le mode opératoire de préparation des tronçons pour la réalisation des contrôles.
- Réaliser l'examen visuel des tronçons sur site.
- Caractériser en laboratoire le mécanisme d'endommagement ayant conduit au percement du tronçon.

3. CONTEXTE DE L'EXPERTISE

En janvier 2021, la société TotalEnergies – Raffinage France, a constaté une fuite sur la canalisation de transport repère P6.

Cet évènement a été porté à la connaissance de la DREAL qui a demandé à TotalEnergies – Raffinage France - de faire réaliser l'expertise de la zone de fuite une fois la zone de fuite identifiée.

Le groupe GISMIC a été retenu par TotalEnergies pour réaliser cette expertise.

Les premières investigations conduites par la raffinerie de Donges afin de repérer l'origine de la fuite, ont permis d'identifier des traces d'hydrocarbures au niveau d'une longueur de canalisation située en fourreau passant sous une route portuaire (voir figures 1 et 2).

La longueur de la canalisation située en fourreau a été extraite et débitée en plusieurs tronçons (10 tronçons de 5 à 6 m de longueur chacun et 1 tronçon de 2,4m).



Figure 1 : Vue aérienne de la zone de travaux



Figure 2 : Vue de la fouille

4. DONNEES TECHNIQUES ET INFORMATIONS COMMUNIQUEES

4.1. Données techniques :

Diamètre extérieur du pipe (mm)	36''
Produit véhiculé	Brut
Nuance de l'acier	API 5L Grade B
Pression de calcul	14 bar
Année de pose	1971
Tronçon sous protection cathodique	Oui
Revêtement extérieur	Brai de Houille
Dispositif de protection	Fourreau *
Epaisseur de calcul (mm)	3,20
Epaisseur nominale (mm)	8
Mode de fabrication des tubes	Soudé hélicoïdalement
Exigences réglementaires	AM du 3/07/2020 portant modification de l'arrêté du 5/03/2014 définissant les modalités d'application du chapitre V du titre V du livre V du code de l'environnement et portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz naturel ou assimilé, d'hydrocarbures et de produits chimiques

* *Nota : Les conditions d'enfouissement de chaque tronçon sont détaillées ci-après :*

- *Tronçon 1 Enterré.*
- *Tronçon 2 et 11 partiellement enterrées et partiellement sous fourreau.*
- *Tronçon 3 à 10 sous fourreau.*

4.2. Informations communiquées :

Suite aux premières investigations conduites par TotalEnergies – Raffinage France sur les différents tronçons déposés, les constats suivants ont été établis :

- Pas de chemin de fuite détecté lors de l'inspection visuelle en raison de la présence de résidus d'hydrocarbures.
- Le chemin de fuite a été détecté sur le tronçon n°9 lors de l'opération de nettoyage interne HP des tronçons (un morceau de brai s'est détaché lors du nettoyage interne).
- Le chemin de fuite est localisé à 7 h dans le sens de l'écoulement du brut.
- Le chemin de fuite affiche un diamètre de l'ordre de 5 mm.
- La surface intérieure des tronçons présente des corrosions en génératrice inférieure qui se caractérisent par des « piqures » évasées dont les plus profondes atteignent 1,5 mm.

5. ANALYSES ET ESSAIS REALISES

5.1. Revue documentaire :

Les modes opératoires, ci-après, ont été analysés, commentés et validés par nos soins :

- Mode opératoire de prélèvement des tronçons (Mode opératoire Bocard « extraction de la P6 du fourreau » daté du 10.03.2021).
- Mode opératoire de préparation des tronçons pour la réalisation des contrôles (Mémo Total référencé XL/21/06 rev. 0 daté du 18.03.2021 « gamme opératoire pour préserver la zone de fuite pour analyse métallurgique ultérieure »).

5.2. Examens des tronçons sur site :

- Prise de clichés photographiques.
- Examen visuel des tronçons sur site.
- Test au son.
- Examen UT Phased-Array (PAUT) des tronçons sur site pour recherche de corrosion extérieure (contrôle réalisé par la société MISTRAS).
- Réalisation de 5 prélèvements sur le tronçon T9 pour analyses.

5.3. Examens des prélèvements en laboratoire :

Le prélèvement 1 (P1) comportant le chemin de fuite a fait l'objet des examens et analyses suivantes :

- Examen de la surface extérieure du prélèvement après enlèvement du brai.
- Examen de la surface intérieure du prélèvement.
- Cartographie UT Phased-Array pour mesure des épaisseurs résiduelles.
- Analyse chimique de l'acier du tube pour vérification de la nuance annoncée.
- Examens métallographiques sur coupes du chemin de fuite pour :
 - Analyse microstructurale de l'acier.
 - Caractérisation du profil du chemin de fuite.
 - Mise en évidence de tout défaut du tube ayant pu favoriser l'endommagement.
 - Détermination du processus d'endommagement.
- Mesures de dureté Vickers.

Le prélèvement 2 (P2) centré sur la soudure hélicoïdale a fait l'objet :

- Détermination de la teneur en azote de l'acier.

- Essais mécaniques :
 - Essais de traction à température ambiante :
 - Trois essais (deux essais en métal de base sens axial et sens travers et un essai travers soudure hélicoïdale).
 - Mesures des grandeurs suivantes :
 - Rp0,2 (MPa) : limite conventionnelle d'élasticité à 0,2% de déformation plastique.
 - Rm (MPa) : charge à rupture.
 - A% (%) : allongement à rupture.
 - Essais de Flexion par choc
 - Essais à la température ambiante.
 - Trois essais (deux essais en métal de base sens axial et sens travers et un essai travers soudure hélicoïdale).
 - Mesures des grandeurs suivantes :
 - Energie à rupture KV (J).
 - Résilience KCV (J/cm²).

Les prélèvements 3 à 5 (P3 à P5) ont fait l'objet :

- d'un examen visuel de l'état du brai.
- d'un prélèvement sur P3 de produits de corrosion à l'interface entre le tube et le brai pour analyses microbiologiques et mise en évidence d'une éventuelle activité bactérienne.

6. MODALITES DE REALISATION DES ANALYSES ET ESSAIS

6.1. Contrôle par Phased Array :

Les contrôles par Phased Array des tronçons sur site et du prélèvement P1 ont été confiés à la société MISTRAS.

- Contrôle des tronçons sur site :
 - Zone d'analyse : à partir de la surface interne.
 - Controleur :
 - Monsieur Johan COLLET - UT Niveau 3.
 - Numéro de certificat : BO2-007230.
 - Matériel utilisé et modalités de réalisation : Voir annexe 1A du présent rapport.
- Contrôle du prélèvement P1 :
 - Zone d'analyse : Surface interne.
 - Controleur :
 - Monsieur Salim GHERIEB - UT Niveau 2.
 - Numéro de certificat : BO2-006991.
 - Matériel utilisé et modalités de réalisation : Voir annexe 1B du présent rapport.

6.2. Analyses chimiques :

- Analyse chimique de l'acier :

Les valeurs données dans le paragraphe 8.3.4 correspondent à la moyenne de 3 mesures réalisées par spectrométrie par étincelle :

- Matériel utilisé : Spectromètre à étincelle.
- Marque : OXFORD Instruments PMI SMART.
- Type/Référence : 57U0068.

- Détermination de la teneur en azote :

L'analyse chimique de la teneur en azote du prélèvement P2 a été confié à notre partenaire A2MI (42490) :

- Matériel utilisé : Spectromètre.
- Marque : SPECTROMAX S/N 15005087.
- Type/Référence : 141160.

6.3. Prélèvements pour examens :

Prélèvements réalisés à la disqueuse métallographique.

6.4. Analyse de la microstructure et examens métallographiques :

- Examens métallographiques réalisés selon la procédure CND.505.GIS-MIC.2015. Révision 0.
- Coupes polies mécaniquement avec attaque chimique au Nital 5%.

6.5. Mesures de dureté Vickers :

- Mesures de dureté réalisées selon les exigences de la procédure CND.380.3.GIS-MIC.2014. Révision 2.

6.6. Essais mécaniques :

Les essais de traction et flexion par choc ont été confiés au service d'essais mécaniques de notre partenaire A2MI (42490).

- Essai de traction :
 - Essais réalisés à l'aide d'une machine de traction Zwick T55555.
 - Température de l'essai : température ambiante.
 - Sens de prélèvement métal de base: axial et travers.
 - Sens de prélèvement soudure : travers.
 - Type d'éprouvette : T3.
- Essai de Flexion par choc :
 - Essais réalisés à l'aide d'un Mouton Charpy MP3 (Zwick/Roell 450J).
 - Températures des essais : température ambiante.
 - Sens de prélèvement métal de base: axial et travers.
 - Sens de prélèvement soudure: travers.

6.7. Analyses microbiologiques pour recherche de bactéries :

- L'analyse des dépôts de corrosion a été confiée au laboratoire Corrodys (50130).
- Zone des prélèvements : Interface pipeline / revêtement du prélèvement P3.
- Les prélèvements ont été réalisés dans du flaconnage stérile fourni par Corrodys.
- Recherche et quantification des micro-organismes totaux (morts et vivants) par microscopie à épifluorescence (DEFT) après marquage, filtration et rinçage sur membrane de l'échantillon sec.
- Recherche et quantification sur l'échantillon écouvillon par la méthode PCR quantitative (approche moléculaire : Extraction d'ADN + PCR quantitative (Polymerase Chain Reaction)) des bactéries mortes et vivantes suivantes :
 - Bactéries totales.
 - Bactéries sulfurogènes incluant les bactéries sulfato-réductrices (BSR).
 - Bactéries Ferro-oxydantes (Gallionella sp.).
 - Bactéries Ferri-réductrices (Geobacter sp.).
 - Bactéries sulfo-oxydantes (BSO).
- Le prélèvement a été réalisé par GISMIC avec l'assistance par visio-conférence d'un ingénieur de la société Corrodys spécialisé en biocorrosion et biofouling.

7. PRELEVEMENTS REMIS

- Cinq échantillons nous ont été remis par transporteur :
 - Prélèvement P1 repéré « brèche » centré sur le chemin de fuite du tronçon T9, de dimensions de 500 x 500 mm, voir figure 3 ci-après.
 - Prélèvement P2 repéré « soudure hélicoïdale – coupon n°2 » de dimensions de 500 x 500 mm voir figure 4 ci-après.



Figure 3 : Vue de la surface extérieure de P1



Figure 4 : Vue de la surface intérieure de P2

- Prélèvement P3 identifié C3-T9 de dimensions 820 x 430 mm voir figure 5 ci-après.
- Prélèvement P4 identifié C2-T9 de dimensions 380 x 380 mm voir figure 6 ci-après.
- Prélèvement P5 identifié C1-T9 de dimensions 330 x 330 mm voir figure 7 ci-après.



Figure 5 : Vue de la surface extérieure de P3



Figure 6 : Vue de la surface extérieure de P4



Figure 7 : Vue de la surface extérieure de P5

8. RESULTATS

8.1. Revue documentaire :

Les modes opératoires de prélèvement des tronçons et de préparation des tronçons pour la réalisation des contrôles ont été analysés, commentés et validés par nos soins.

8.1.1. Mode opératoire de prélèvements des tronçons :

L'extraction de la longueur de canalisation située en fourreau sous une route portuaire, a fait l'objet d'un mode opératoire Bocard « extraction de la P6 du fourreau » daté du 10.03.2021 ». Ce document en révision 2 est disponible en Annexe 2 du présent rapport.

Ce document a été analysé et commenté par GISMIC, puis validé après prises en compte des remarques par TotalEnergies.

Conformément au protocole d'extraction, la longueur de canalisation située dans le fourreau a été débitée en plusieurs tronçons (10 tronçons de 5 à 6 m de longueur chacun et 1 tronçon de 2,4 m). La figure 8 ci-après illustre l'extraction des tronçons du pipeline.



Figure 8 : Vue de l'extraction des tronçons de pipeline

8.1.2. Mode opératoire de préparation des tronçons :

Le mode opératoire de préparation des tronçons pour la réalisation des contrôles (Mémo Total référencé XL/21/06 rev. 0 daté du 18.03.2021 « gamme opératoire pour préserver la zone de fuite pour analyse métallurgique ultérieure ») est disponible en annexe 3 du présent rapport.

Ce document que nous avons validé après prise en compte de nos remarques, a fait l'objet d'évolutions afin de s'adapter aux difficultés rencontrées lors des opérations de préparation.

Le mode opératoire mis en œuvre se décline de la manière suivante :

- Réalisation d'un prélèvement (P1) en l'état de 500 x 500 mm centré sur le chemin de fuite du tronçon T9 pour expertise (envoi à GISMIC).
- Réalisation d'un prélèvement (P2) en l'état de 500 x 500 mm centré sur la soudure hélicoïdale du tronçon T9 pour expertise (envoi à GISMIC).
- Sablage de la surface intérieure des 11 tronçons de type « archifine » degré de préparation ST3.
- Contrôle UT PA à partir de la surface intérieure des 11 tronçons pour recherche de corrosion extérieure.
- Réalisation de 3 prélèvements (P3 à P5) présentant des zones de corrosion extérieure pour expertise (envoi à GISMIC) :
 - Prélèvement P3 identifié C3-T9 de dimensions 820 x 430 mm.
 - Prélèvement P4 identifié C2-T9 de dimensions 380 x 380 mm.
 - Prélèvement P5 identifié C1-T9 de dimensions 330 x 330 mm.

8.2. Résultats des contrôles des tronçons sur sites :

8.2.1. Examen visuel et test au son des tronçons sur site :

L'intervention a eu lieu les 30 et 31 mars 2021 sur le site de la raffinerie de Donges.

Avant nettoyage, les tronçons, notamment le tronçon T9, présentent :

- Un revêtement extérieur de type brai (souillé au pétrole brut) d'une épaisseur pouvant varier de 6 mm à 50 mm. Voir figures 9 et 10 ci après.
- Un dépôt très fin, adhérent de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur sur la paroi intérieure du tronçon. Voir figure 11 ci après.

La qualité du brai, souillé par le brut, n'a pas permis de réaliser un test au son de manière efficace. Néanmoins, aucune zone de décollement du brai n'a été mise en évidence sur les 11 tronçons.



Figure 9 : Vue du brai à l'écart de zones souillées (T9)



Figure 10 : Vue du brai dans une zone souillée (T9)



Figure 11 : Vue de la paroi intérieure (T9)

8.2.2. Examen Phased Array des tronçons sur site :

Le contrôle réalisé par la société Mistras sur le site de Donges est disponible en annexe 1A du présent rapport ; ce contrôle révèle :

- La présence de 27 zones de corrosion externes localisées en dehors du chemin de fuite et très majoritairement situées sur les génératrices inférieures, voir annexe 4 du présent rapport.
- Des épaisseurs minimums comprises entre 4,3 et 7,1 mm, le détail est disponible dans le tableau ci-dessous.

Tronçon	Nombre d'indications décelées	Epaisseurs mesurées (mm)	
		Mini	Maxi
11	5	5,3 à 6,3	7,8
10	6	4,3 à 6,7	8,0
9	5	5,2 à 6,7	8,0
8	3	6,7 à 7,1	8,0
7	Aucune zone de corrosion décelée		
6	Aucune zone de corrosion décelée		
5	1	7,0	8,0
4	4	5,5 à 6,5	8,0
3	3	6,0 à 6,7	8,0
2	Aucune zone de corrosion décelée		

8.3. Résultats des analyses du chemin de fuite du prélèvement P1 :

8.3.1. Examen de la surface extérieure du prélèvement après enlèvement du brai :

A réception dans notre laboratoire, le coupon présentait du brai adhérent sur sa surface extérieure, hormis au droit du chemin de fuite sur une surface de 250 x 200 mm. Le brai a été éliminé à la spatule; la surface extérieure a ensuite été dégraissée à l'aide d'un solvant, voir figures 12 et 13 ci après.

Le chemin de fuite affiche un diamètre de 8 mm ; il est localisé au milieu d'un chancre de corrosion s'inscrivant dans un rectangle de 250 x 100 mm, voir figures 13 et 14.



Figure 12 : P1 après enlèvement du brai et nettoyage

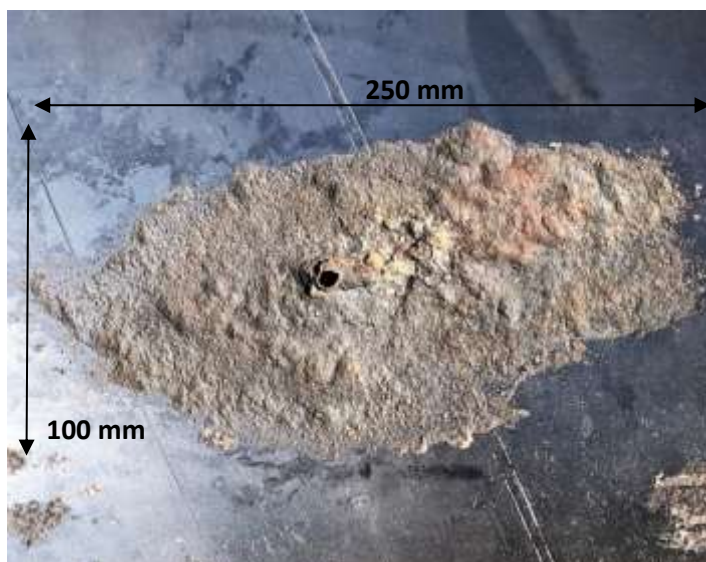


Figure 13 : Détail de la figure 12



Figure 14 : Détail de la figure 13 - Vue du chemin de fuite-

8.3.2. Examen de la surface intérieure du prélèvement :

L'examen visuel de la surface interne du prélèvement P1 confirme le diamètre du chemin de fuite de 8 mm, voir figure 16

En marge du chemin de fuite, la surface intérieure du prélèvement apparaît dans un état satisfaisant, voir figure 15.



Figure 15 : Vue de la surface interne de P1

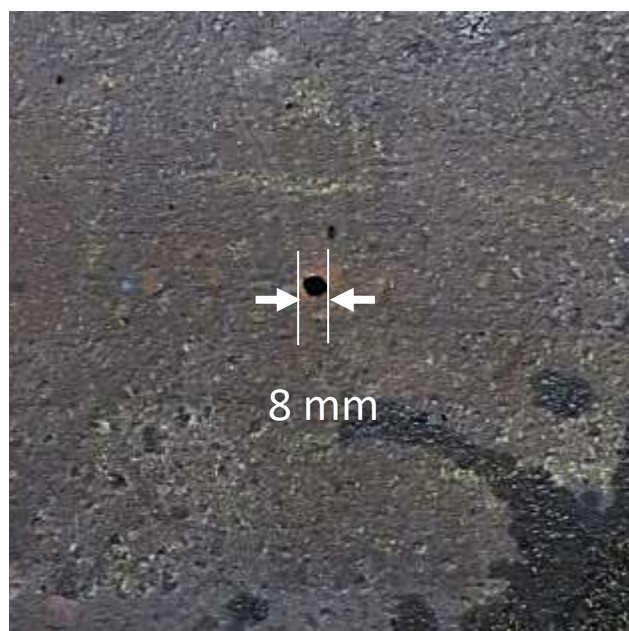


Figure 16 : Détail de la figure 15

8.3.3. Cartographie UT Phased Array pour mesure des épaisseurs résiduelles :

Le prélèvement P1 a fait l'objet d'une cartographie par UT Phased-Array à partir de la surface intérieure du prélèvement. Le procès-verbal de contrôle est disponible en annexe 1B du présent rapport.

Le contrôle a confirmé la présence de 3 chancres de corrosion dont le chancre principal comportant le chemin de fuite, voir figures 17 et 18 :

- Zone 1 :
 - Epaisseur minimale relevée : chemin de fuite.
 - Dimension : 102 x 155 mm.
- Zone 2 :
 - Epaisseur minimale relevée : 5,5 mm.
 - Dimension : 43 x 72 mm.
- Zone 3 :
 - Epaisseur minimale relevée : 6,2 mm.
 - Dimension : 20 x 115 mm.

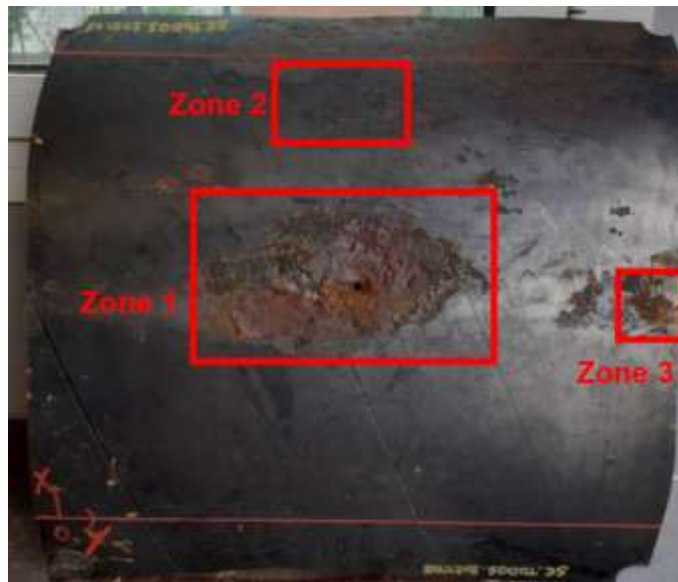


Figure 17 : Localisation des zones en sous épaisseur (chancres)

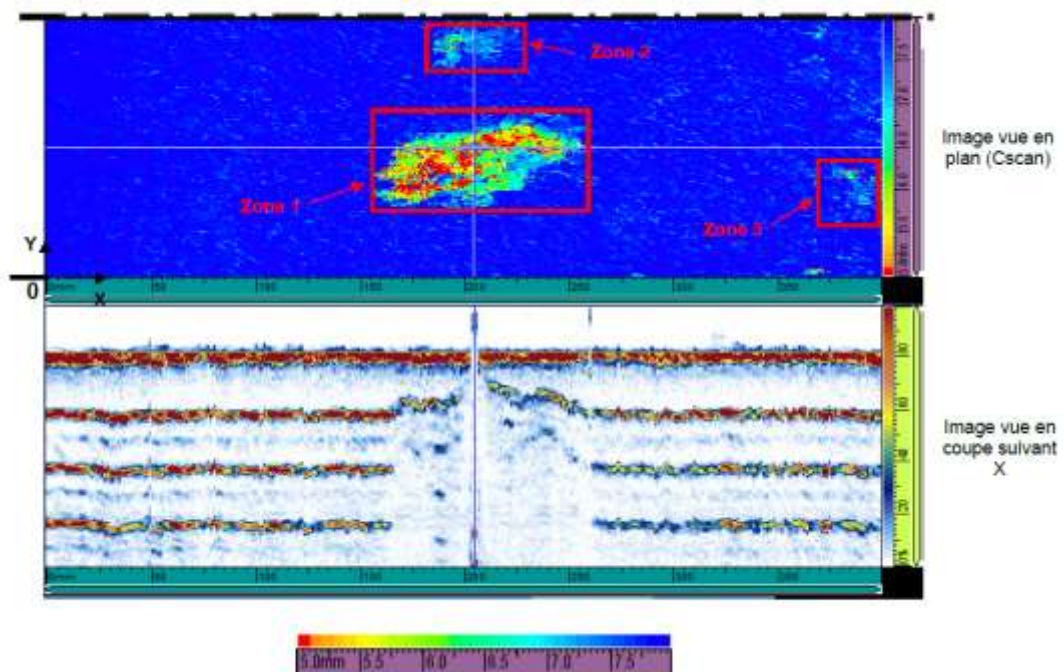


Figure 18 : Cartographie UT PA obtenue à partir de la surface intérieure -P1-

8.3.4. Analyse chimique et microstructurale de l'acier du tube :

- Analyse chimique :

La composition chimique de l'acier du tube apparaît conforme à celle d'un acier PSL1 grade B selon API 5L édition 2004.

Eléments	Résultats (%) Pipeline P6	Grade B*- valeurs max
Carbone	0,089	0,28
Manganèse	0,717	1,20
Phosphore	0,023	0,030
Soufre	0,020	0,030
Titane	<0,001	0,04
Nickel	0,043	/
Chrome	0,025	/
Cuivre	0,065	/
Azote	0,005	/
Aluminium	0,006	/

- Microstructure de l'acier :

Le tronçon de pipeline P6 présente une microstructure ferrito-perlitique à l'état recuit en phase avec la nuance annoncée, voir figure 19.

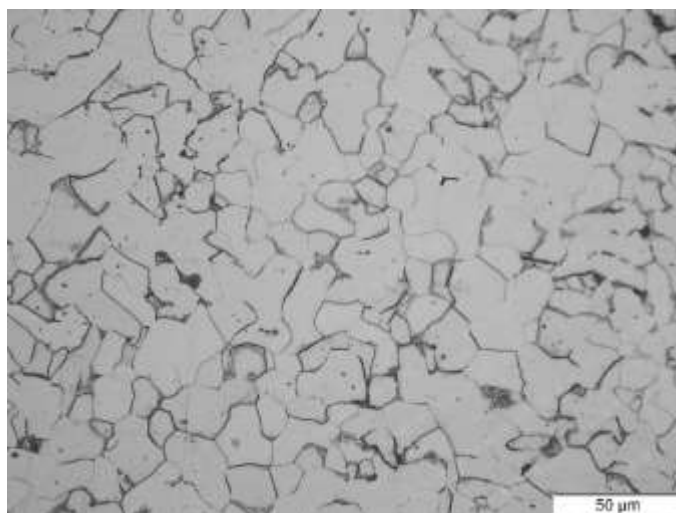


Figure 19 : Microstructure du tube

8.3.5. Examens métallographiques sur coupe du chemin de fuite :

- Localisation de la coupe :

La coupe pour examens métallographiques a été réalisée dans le sens transversal ; elle est précisée sur la figure 20.



Figure 20 : Localisation de la coupe transversale

- Examens Métallographiques :

Les examens métallographiques réalisés sur le chemin de fuite ont permis de faire les constatations suivantes :

- La corrosion extérieure s'est développée par dissolution de la matrice ferritique sans qu'aucune anomalie microstructurale n'ait été mise en évidence.
- Aucune fissure ou micro-fissure n'a été interceptée.
- La microstructure granulaire ferrito-perlitique est homogène sur tout le plan de coupe réalisé.
- Aucune trace d'écrouissage de l'acier n'a été observée.

Ces constatations sont observables sur les figures 21 à 25 ci-après.

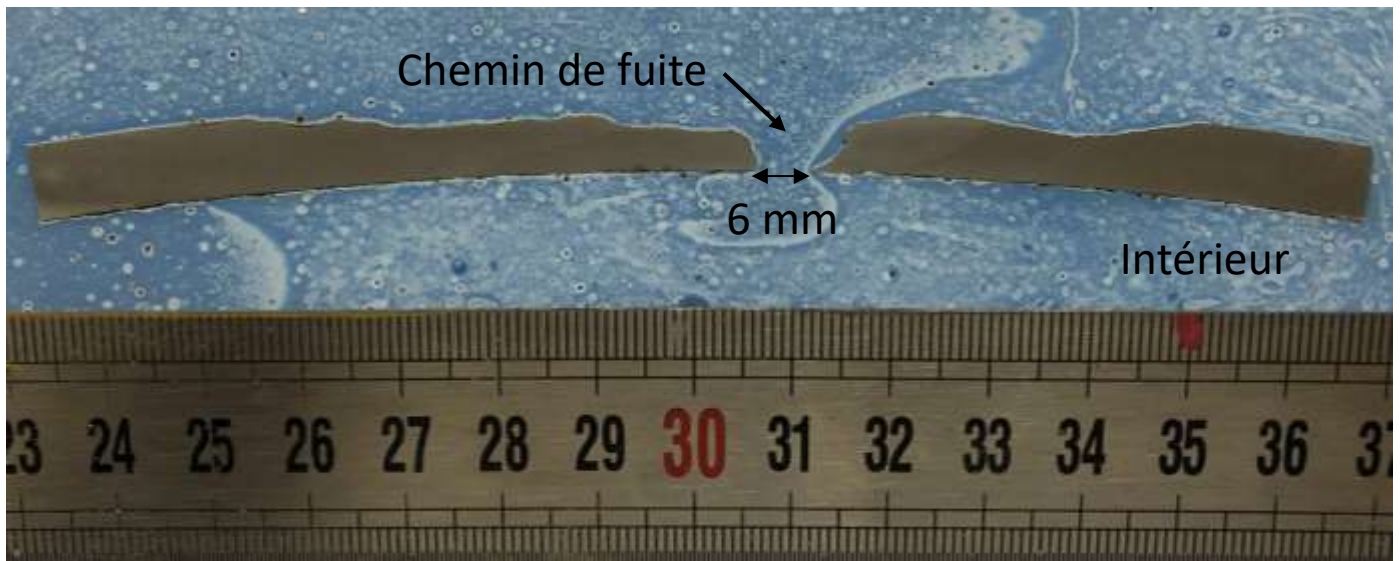


Figure 21 : Macrographie - coupe non réalisée exactement au centre du chemin de fuite

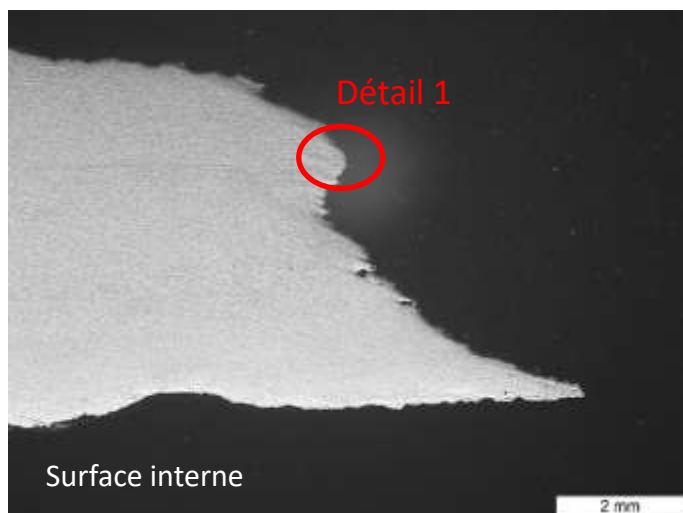


Figure 22 : Détail de la figure 21

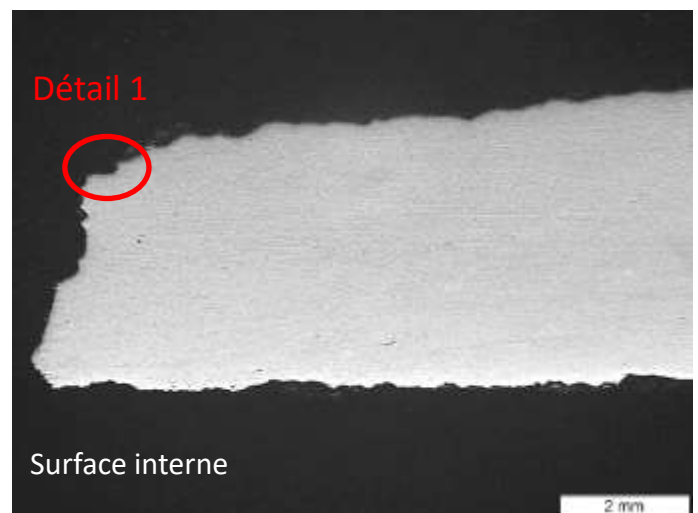


Figure 23 : Autre détail de la figure 21

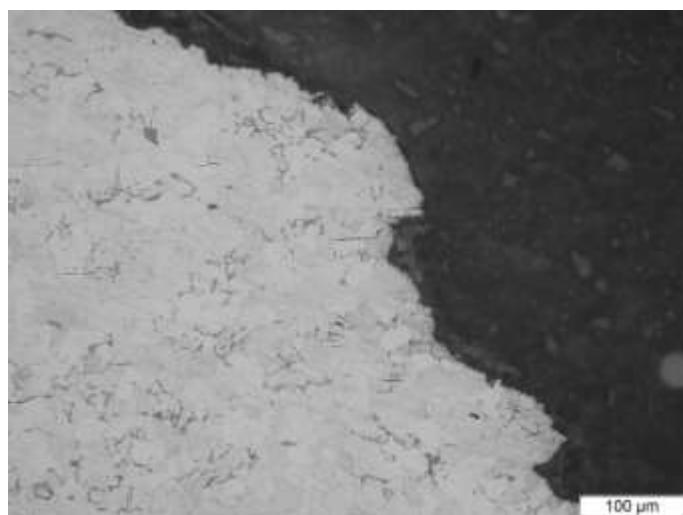


Figure 24 : Détail 1 de la figure 22 (attaque légère)

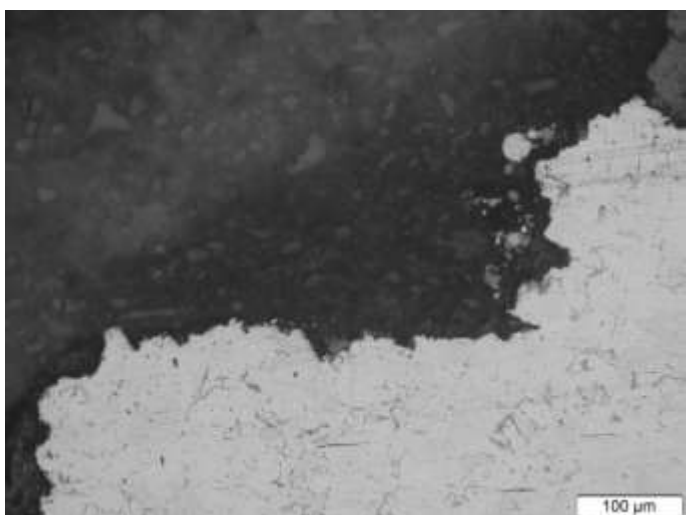


Figure 25 : Détail 1 de la figure 23 (attaque légère)

8.3.6. Mesures de dureté Vickers :

Les niveaux de dureté mesurés à l'écart et au droit du chemin de fuite s'avèrent homogènes de l'ordre de 120 Vickers. Ces niveaux de dureté n'appellent pas de remarque particulière.

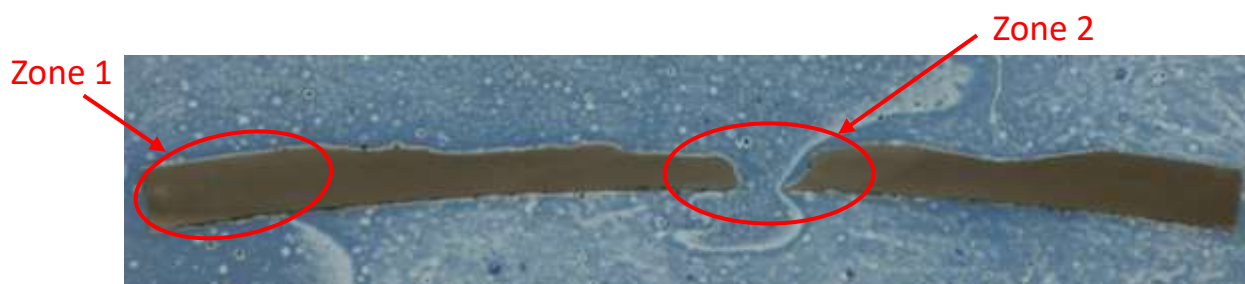


Figure 26 : Localisation des zones de dureté

Zone	Mesures (Vickers)	Moyenne (Vickers)
Zone 1	119-126-121-116-122	121
Zone 2	124-120-122-124-123	123

8.3.7. Essais de traction à température ambiante - Prélèvement P2 :

Le pipe affiche des caractéristiques mécaniques de traction conformes à celles que l'on peut attendre d'un acier PSL1 grade B selon API 5L édition 2004.

Eléments	Métal de base Sens axial	Métal de base Sens travers	Travers soudure	Nuance Grade B*
$R_{p0,2}$ (MPa)	286	281	/	241
R_m (Mpa)	414	414	456	414
A (%)	33	42	/	14
Z^{2*} (%)	69	70	55	/
Localisation de rupture	<1/3Lo	≥ 1/3 Lo	<1/3Lo	/

*PSL1 grade B selon API 5L édition 2004

8.3.8. Essais de flexion par choc à température ambiante - Prélèvement P2 :

Les résultats donnés dans le tableau ci-après sont donnés à titre indicatif car la norme de référence ne donne pas de valeur de ténacité pour la nuance de l'acier du pipeline.

	Métal de base Sens axial	Métal de base Sens travers	Travers soudure
KV Moyenne (J)	28	65	34
KCV Moyenne (J/cm²)	71	162	86

8.3.9. Analyses microbiologiques - Prélèvement P3 :

- Localisation des prélèvements :

Les échantillons transmis au laboratoire Corrodys ont été prélevés à l'interface pipeline / revêtement du prélèvement P3, voir figures 27 et 28 :

- Le premier échantillon correspond à un dépôt sec.
- Le second échantillon transmis pour analyse correspond à l'écouvillon de la figure 27 qui a été placé dans une solution liquide de conservation.



Figure 27 : Illustration d'un prélèvement



Figure 28 : Détail de la zone de prélèvement

- Tableau de résultats :

Echantillon	Dépôt sec	Ecouvillon	Limite de Quantification	Limite de Détection
Biomasse totale (DEFT) <i>Exprimé en micro-organismes /cm²</i>	1,3.10 ⁶	NR	7,9.10 ⁵	4,0.10 ⁴
Bactéries totales <i>Exprimé en copies de gène /cm²</i>	NR*	5,5.10 ⁷	3,5.10 ³	/
Bactéries ferro-oxydantes (Gallionella spp.) <i>Exprimé en copies de gène /cm²</i>	NR	ND**		
Bactéries ferri-réductrices (Geobacter spp.) <i>Exprimé en micro-organismes /cm²</i>	NR	ND		
BSR <i>Exprimé en copies de gène /cm²</i>	NR	8,4.10 ⁴		
Bactéries sulfurogènes <i>Exprimé en copies de gène /cm²</i>	NR	ND		
BSO <i>Exprimé en copies de gène /cm^{2a}</i>	NR	ND		

* NR : Non Réalisé

** ND : Non Détecté

La détection de bactéries sulfato-réductrices (BSR) dans un échantillon (écouvillon) recueilli à l'interface tube / revêtement du prélèvement P3 laisse à penser qu'une activité bactérienne a pu intervenir dans les dégradations par corrosion observées sur la surface extérieure du pipeline.

9. CONCLUSIONS

Les essais et examens réalisés sur le tronçon T9 du pipeline P6 de la raffinerie de Donges ont permis de faire les constatations suivantes :

Sur le mécanisme de dégradation :

- Le chemin de fuite affiche un diamètre de 8 mm; il se localise au centre d'un chancre de corrosion extérieur de 250 x 100 mm dont l'aspect dentelé est habituel pour ce type de dégradation.
- Il résulte d'une corrosion localisée de la surface extérieure du pipeline sans qu'aucune anomalie microstructurale du tube n'ait contribué à l'endommagement.
- Aucune indication linéaire de type fissure n'a été mise en évidence lors de cette expertise.
- La surface intérieure du pipe au droit du chemin de fuite apparaît satisfaisante sans trace de corrosion particulière; de manière plus générale, la surface intérieure des tronçons présente des corrosions en génératrice inférieure qui se caractérisent par des « piqures » évasées dont les plus profondes atteignent 1,5 mm.
- Bien qu'aucune zone de décollement du brai n'ait été mise en évidence lors de l'examen visuo-tactile des 11 tronçons, les contrôles PAUT réalisés à partir de l'intérieur des tronçons ont permis d'identifier une trentaine de zones de corrosion extérieures.
- Les analyses microbiologiques, réalisées sur des produits de corrosion prélevés à l'interface tube / revêtement au droit d'une zone de corrosion extérieure, ont permis d'identifier la présence de bactéries sulfato-réductrices (BSR).

Sur les caractéristiques de l'acier du pipeline :

- La composition chimique de l'acier est conforme à la nuance API 5L gr B (PSL1 grade B selon API 5L édition 2004).
- Les mesures de dureté apparaissent homogènes et conformes à celles attendues pour un acier de type API 5L grB et cela quelle que soit la zone examinée (au droit et à l'écart du chemin de fuite).
- Les valeurs d'essais de traction sont conformes à celles requises pour la nuance annoncée.
- A température ambiante, Le tube affiche des valeurs de résilience de 71 J/cm² dans le sens axial et 162 J/cm² dans le sens travers ; la soudure, quant à elle, présente à la même température une valeur de 86 J/cm².

Mécanisme d'endommagement retenu :

La fuite survenue sur le tronçon T9 du pipeline P6 de la raffinerie de Donges résulte d'un mécanisme de corrosion en milieu aqueux qui s'est développé à partir de la surface extérieure et favorisée par :

- Un revêtement localement endommagé et perméable.
- Une protection cathodique localement non efficace. La présence d'un fourreau métallique peut créer des interférences susceptibles de diminuer l'efficacité de la protection cathodique du pipe qui se trouve dans le fourreau.

La détection, au droit d'une des trentaine de zones de corrosion extérieure recensées sur la canalisation, de bactéries sulfato-réductrices à l'interface tube / revêtement laisse à penser que le mécanisme de corrosion ayant entraîné la fuite, a pu être accentué par une activité bactérienne.



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



**Bureau d'enquêtes et d'analyses
sur les risques industriels**

MTE / CGEDD / BEA-RI
Tour Séquoïa
92055 La Défense Cedex

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

<http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/bea-ri-r549.html>