

Rapport d'enquête

Sur l'explosion au sein de la station
d'interconnexion exploitée par
GRTgaz située à Ars-sur-Formans (01)
le 20/09/2021

Bordereau documentaire

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

Titre du document : Rapport d'enquête sur l'explosion survenue le 20 septembre 2021 sur la station d'interconnexion exploitée par GRTgaz et située à Ars-sur-Formans (01).

N° : MTE-BEARI-2024-02

Date du rapport : 15/03/2024

Proposition de mots-clés : station d'interconnexion, transport de gaz, explosion interne, procédure de montée en pression, domaine d'inflammabilité, gaz naturel, poussières pyrophoriques, filtre, déshuileur.

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 BEA-RI.

Synthèse

GRTgaz exploite à Ars-sur-Formans (01) un site d'interconnexion de canalisations de transport de gaz. Après des travaux importants de rénovation de matériels, le 20 septembre 2021, l'exploitant entamait la procédure de remise en gaz d'une partie importante de l'installation.

L'opération consistait en l'injection de gaz par l'intermédiaire d'une vanne située à Châtillon-sur-Chalonne, à 15 km d'Ars-sur-Formans. À 9h15, un premier panache visible est constaté au niveau de l'événement situé sur la station. À 9h22, il est demandé aux opérateurs d'ouvrir complètement le robinet. Une pression de 2,7 bar est ensuite atteinte à Ars et à 9h33 la vanne d'alimentation est fermée. Mais à 9h34, la mesure de pression indique 20 bar. À partir de 9h33, l'ensemble de la station d'Ars était donc dans une configuration à risque élevé. En effet, à un peu plus de 20 bar, la plage d'inflammabilité du gaz naturel est plus importante qu'à pression atmosphérique, sa limite supérieure double. Par ailleurs, à cette pression, l'énergie minimale nécessaire à l'inflammation du mélange air-gaz naturel est très inférieure à celle de la pression atmosphérique. Les protections apportées par les matériels certifiés ATEX peuvent même s'avérer insuffisantes¹. Les opérateurs présents n'ont pas eu conscience de ce risque malgré les informations données par l'instrumentation (pression et pourcentage de gaz) et n'ont pas pris de mesures particulières ni modifié leurs pratiques.

À 10h47, alors que deux agents GRTgaz se dirigent vers un robinet pour réaliser une purge, une explosion suivie d'un important rejet de gaz se produit sur le site.

Sur le plan humain, outre l'impact psychologique que peut avoir un tel accident sur les personnes impliquées, seules deux personnes seront blessées. Sur le site lui-même, l'explosion a entraîné la destruction d'une partie du pôle d'Étrez qui venait d'être refait à neuf et a subi des dommages très importants et a également endommagé plusieurs bâtiments ainsi que les autres pôles.

La recherche de l'origine de l'explosion a nécessité la réalisation de nombreuses investigations. Elles ont été réalisées par le centre de recherche de GRTgaz, par la direction technique de GRTgaz ainsi que par l'Ineris intervenant en appui du BEA-RI.

L'ensemble des investigations, analyses et modélisations menées, les entretiens et les constats dressés sur site ont conduit à examiner et écarter un certain nombre d'hypothèses d'inflammation.

Ce faisant, une dernière hypothèse ne peut être exclue de manière évidente : l'inflammation de poussières pyrophoriques² présentes dans la station. Ces poussières qui peuvent se former en petites quantités dans certaines conditions au sein des ouvrages transportant du gaz, et se déposer, présentent la particularité de s'oxyder très facilement. Dans la mesure où la quasi-totalité de l'installation a été refaite à neuf, ces poussières auraient soit été emportées par l'écoulement du gaz depuis la canalisation en provenance de Châtillon-sur-Chalonne, soit étaient présentes dans le filtre qui n'a pas été remplacé et conservées dans une couche de produits huileux. C'est cette dernière hypothèse qui sera considérée comme la plus probable.

Concernant la séquence d'explosion, les modélisations réalisées par GRTgaz et les constatations de terrain amènent le BEA-RI à la conclusion que la séquence a été initiée en un point de la canalisation

¹ Les modes de protection i (sécurité intrinsèque) et d (antidéflagrant) des matériels ATEX reposent respectivement sur l'EMI (l'énergie minimale d'inflammation) et l'IEMS (l'interstice expérimental maximal de sécurité) qui sont beaucoup plus faibles à 20 bar qu'à Patm (Rapport Ineris Annexe IV p 18/66). Cette information a donné lieu à une note d'information du BEA-RI en date du 1^{er} juin 2022 - https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/note_info_grtgazdif_cle78452f.pdf

² Un solide pyrophorique est une substance ou un mélange solide qui, même en petites quantités, est susceptible de s'enflammer en moins de cinq minutes lorsqu'elle/il entre au contact de l'air (définition issue du règlement CE n°1272/2008 du 16 décembre 2008 - règlement CLP). Leur présence dans les installations de transport de gaz est possible notamment au niveau des lieux de stockage souterrain. (Accident n°45217 dans la base Aria)

suffisamment éloigné de la lyre pour que le front de flamme ait pu se propager dans la canalisation en accélérant au point de générer des pressions internes susceptibles de causer la rupture des tubes au niveau de la lyre. Cette zone est compatible avec l'hypothèse d'une ignition de poussières pyrophoriques dans le filtre.

Les éléments suivants ont joué un rôle dans la survenance de l'accident : l'absence de relecture externe de la consigne de travaux, le manque de précision et la méconnaissance de la procédure relative à la mise en gaz, les conditions de préparation de l'opération, le manque de formation des opérateurs sur l'opération de mise en gaz, le fait que le filtre n'ait pas été changé, l'imprécision du pilotage de la montée en pression, et la méconnaissance du risque lié à un mélange air-gaz sous pression.

Les enseignements de sécurité formulés abordent les thématiques des risques liés à la mise en gaz, de la présence de matières pyrophoriques dans les canalisations de transport de gaz, de la diffusion interne d'informations, de la mise en sécurité des installations après un accident, de la prise en compte de la possibilité d'explosion interne au sein des installations complexes, de la résistance des canalisations en régime dynamique, de la majoration de la pression d'explosion en fonction de la géométrie de l'ouvrage, de l'intérêt de la limitation des pressions lors des opérations de mise en gaz, ainsi que de conception des installations.

Le BEA-RI recommande à l'exploitant que le retour d'expérience de l'accident d'Ars-sur-Formans soit pris en compte et partagé avec les autres opérateurs gaziers. Il recommande également, dans le cadre de l'organisation et de la préparation des opérations de mise en gaz :

- **La sensibilisation de ses opérateurs au risque ATEX lors des phases de mise en gaz ;**
- **De définir la typologie des ouvrages qui devront faire l'objet d'un inertage à l'azote ;**
- **De préciser la conduite à tenir et la méthodologie à appliquer en fonction du type d'installation (complexité, longueur, présence de bras morts) ;**
- **D'enrichir le mode opératoire (MOP-0032), notamment sur les exigences minimales à respecter en matière de pression à ne pas dépasser, d'instrumentation et de manœuvre (positionnement des sectionnements à utiliser, type de robinet à utiliser pour l'injection de gaz, nombre de capteurs à installer pour le suivi de l'opération, paramètres à contrôler) ainsi que de conduite à tenir en cas de dépassement des paliers de montée en pression) ;**
- **De s'assurer de la bonne déclinaison de la procédure (connaissance et application) sur le terrain ;**
- **De s'assurer que les opérateurs susceptibles de superviser, d'organiser et de mettre en œuvre ce type de manœuvre soient formés à ce type d'opération ;**
- **De mettre en place une organisation spécifique chargée de préparer et de suivre les opérations de mise en gaz de sites complexes.**

Pour définir un critère acceptable de pression à ne pas dépasser dans les procédures opérationnelles de mise en gaz, le BEA-RI recommande à GRTgaz d'étudier les phénomènes d'explosion de conduites et la tenue des canalisations à un chargement dynamique.

Le BEA-RI recommande à l'exploitant, en amont des opérations de rénovation, d'évaluer l'intérêt de maintenir un filtre déshuileur sur ce type d'installation, de ré-étudier la périodicité et les modalités des opérations de vidange, de nettoyage et de remplacement des équipements maintenus et de veiller avant chaque opération de mise en gaz au nettoyage de ces équipements.

Le BEA-RI recommande à GRTgaz de réexaminer sa doctrine de mise en sécurité des installations en cas d'accident majeur afin de s'assurer qu'elle permet bien de garantir la sécurité des primo-intervenants ainsi que de vérifier que l'articulation avec les services de secours et les services du Préfet n'a pas besoin d'être précisée ou renforcée.

GRTgaz pourra préciser sa doctrine en matière d'ouverture (pour les vannes non encore mises en service), et de vérification du positionnement et du fonctionnement des vannes lors de la remise en service d'ouvrages ayant fait l'objet de travaux de construction ou de réparation.

Le BEA-RI recommande à GRTgaz de prévoir dès la conception des installations complexes, les équipements permettant que les manœuvres de mise en gaz puissent se dérouler dans les meilleures conditions (organe de manœuvre placé à l'entrée de l'installation complexe et adapté aux opérations de mise en gaz, présence ou possibilité d'instrumentation, ...).

Le retour d'expérience de l'accident d'Ars-sur-Formans (possibilité d'un phénomène d'explosion interne et impacts potentiels) devra être pris en compte dans les études de dangers des sites comparables exploités par GRTgaz.

Enfin, la conception des installations, l'instrumentation mise en œuvre et le mode opératoire (MOP) de mise en gaz doivent, dans la mesure du possible, permettre de s'assurer qu'aucune explosion interne ne se produise.

Une réflexion devra être menée sur la possibilité d'instrumenter les installations de manière à identifier ces phénomènes d'explosion, même si ceux-ci ne produisent qu'une faible surpression et sont sans dommages apparents sur les installations. Compte tenu des impacts potentiels sur les ouvrages, le mode opératoire devra alors prévoir la procédure à suivre si de tels phénomènes se produisaient.

Sommaire

I.	Rappel sur l'enquête de sécurité.....	9
II.	Constats immédiats et engagement de l'enquête	9
	II.1 Les circonstances de l'accident	9
	II.2 Le bilan de l'accident	10
	II.3 Les mesures prises après l'accident.....	10
	II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête	11
III.	Contextualisation	12
	III.1 L'entreprise GRTgaz.....	12
	III.2 Le réseau de transport de gaz exploité par GRTgaz	12
	III.3 La station d'interconnexion d'Ars-sur-Formans	13
	III.4 Procédure de mise en gaz et de mise en pression d'une installation	15
	III.5 Formation des opérateurs sur la procédure de mise en gaz	18
	III.6 Organisation et déroulement des opérations de mise en gaz	18
	III.7 Rejet de méthane à l'atmosphère pendant les opérations de mise en gaz.....	20
IV.	Déroulement de l'évènement.....	21
	IV.1 Déclenchement de l'évènement.....	21
	IV.2 L'intervention des secours publics.....	24
V.	Compte-rendu des investigations menées.....	25
	V.1 Reconnaissances de terrain.....	25
	V.2 Configuration de l'installation au moment du lancement de l'opération de mise en gaz	25
	V.3 Informations délivrées par l'instrumentation	26
	V.4 Analyses chimiques	28
	V.5 Relevé de la présence de suies et de traces internes	28
	V.6 Expertises métallurgiques sur les éléments de tuyauterie	30
	V.7 Expertises sur les matériels électriques	32
	V.8 Expertise des vannes MV-171-1 et MV-256-A	33
	V.9 Modélisations	34
VI.	Conclusions sur le scénario de l'évènement.....	36
	VI.1 Scénario	36
	VI.2 Hypothèse retenue pour la source d'ignition	39
	VI.3 Facteurs contributifs.....	42
VII.	Enseignements de sécurité.....	45
	VII.1 Les risques liés à la mise en gaz	45
	VII.2 Présence de matières pyrophoriques.....	45
	VII.3 La diffusion du prescrit	45
	VII.4 La mise en sécurité de l'installation après l'accident	45
	VII.5 Un précédent en matière d'étude de dangers des sites complexes	46
	VII.6 Résistance des canalisations en régime dynamique.....	46
	VII.7 Majoration de la pression d'explosion	46
	VII.8 Limitation des pressions	46
	VII.9 Conception des installations	47
VIII.	Recommandations de sécurité à destination de l'exploitant	48
	VIII.1 Sensibilité de la plage d'inflammabilité du gaz à la pression	48
	VIII.2 Organisation et préparation des opérations de mise en gaz.....	48
	VIII.3 Contrôle des pressions dans le cadre des opérations de mise en gaz.....	48

VIII.4	Maintien en service et suivi des filtres déshuileurs	48
VIII.5	Mise en sécurité des installations après un accident	49
VIII.6	Plan de sécurité et d'intervention.....	49
VIII.7	Contrôle du bon montage des vannes.....	49
VIII.8	Conception des installations	49
VIII.9	Révision de l'étude de danger	50
VIII.10	Prise en compte du phénomène d'explosion interne	50
IX.	Annexes	51
Annexe 1	Note d'information consécutive à une explosion de gaz.....	52
Annexe 2	Plan de rénovation du pôle Etrez (crédit GRTgaz).....	54
Annexe 3	Photographies de l'examen de la vanne MV-171-1.....	55
Annexe 4	Ineris – rapport d'appui à l'expertise de l'accident	56

Rapport d'enquête

Sur l'explosion survenue le 20 septembre 2021 au sein de la station d'interconnexion exploitée par GRTgaz à Ars-sur-Formans (01)

I. Rappel sur l'enquête de sécurité

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.

II. Constats immédiats et engagement de l'enquête

II.1 Les circonstances de l'accident

GRTgaz exploite à Ars-sur-Formans (01) un site d'interconnexion de canalisations de transport de gaz.

Depuis 2017, la station d'interconnexion faisait l'objet de travaux importants de rénovation de matériels.

Le 20 septembre 2021, l'exploitant entame la procédure de remise en gaz d'une partie importante de l'installation, après le raccordement d'une portion neuve aux installations existantes.

L'opération débute par l'injection de gaz par l'intermédiaire d'une vanne située à Châtillon-sur-Chalarnone, à 15 km d'Ars-sur-Formans, sur la canalisation de transport en provenance du stockage de gaz souterrain d'Étrez.

À 9h15, un premier panache visible est constaté au niveau de l'évent situé sur la station. À 9h22, il est demandé aux opérateurs d'ouvrir complètement le robinet et une pression de 2,7 bar est ensuite atteinte à Ars. À 9h33, la vanne d'alimentation est fermée et à 9h34 la mesure de pression indique 20 bar.

Les opérateurs procèdent au savonnage des brides et des purges de sphères de robinets, ainsi que des piquages d'instrumentation sur l'installation neuve.

Puis, ils se replient vers la base vie.

À 10h47, deux agents GRTgaz se dirigent vers un robinet pour réaliser une purge.

À cet instant, une explosion suivie d'un important rejet de gaz se produit sur le site. Les deux salariés qui se situent à proximité du lieu de l'explosion chutent, se relèvent, se mettent à l'abri, puis transmettent l'alerte.

II.2 Le bilan de l'accident

Sur le plan humain, outre l'impact psychologique que peut avoir un tel accident sur les personnes impliquées, seules deux personnes seront blessées, l'un souffrira de lésions aux tympans et l'autre d'un problème ligamentaire au niveau d'un doigt.

Un véhicule poids lourd qui circulait aux abords du site a été superficiellement endommagé.

Des dégâts plus ou moins importants ont été constatés à l'extérieur du site :

- Des impacts sur les cultures, causés par les projections d'éléments de canalisations dans les champs voisins ;
- Des désordres sur le parement d'un bâtiment agricole situé à plusieurs centaines de mètres et dont le lien avec l'accident n'a pas été établi ;
- De nombreuses pièces projetées hors du site.

Sur le site lui-même, l'explosion a entraîné la destruction d'une partie importante de la station d'interconnexion. Celle-ci est équipée de 2 pôles de régulation, et le pôle Etrez qui venait d'être refait à neuf a subi des dommages très importants. Compte-tenu de la proximité des autres équipements, l'explosion a endommagé mais dans une moindre mesure, les canalisations des autres pôles qui ont été remises en service nominal après expertise dans le courant de l'année 2021.

Des émissions de méthane estimées à 80 000 m³ ont été rejetées à l'atmosphère.

II.3 Les mesures prises après l'accident

En mesure d'urgence immédiate, la pression d'exploitation des ouvrages qui pouvaient être maintenus en service a été abaissée en-dessous de 50 bar avec interdiction de manœuvre. Les ouvrages hors-service ont été consignés.

Des dispositions pour la sécurisation du site ont été prises : gardiennage de la station, réfection de la clôture, consignation des installations endommagées, condamnation et surveillance de robinets, sécurisation des locaux électriques, mesures d'empoussièrement par rapport au risque amiante et condamnation du bâtiment administratif, signalisation et vérification du bon fonctionnement des télétransmissions entre le site et le centre de surveillance régional.

À la suite de l'accident, la partie de l'installation déconnectée du pôle d'Etrez et laissée en fonctionnement a fait l'objet d'expertises pour s'assurer qu'elle n'avait pas subi de dommages remettant en cause son intégrité et que son maintien en fonctionnement ne posait pas de problèmes en termes de sécurité.

Compte tenu de l'ampleur des dégâts, notamment à l'extérieur du site, l'exploitant a sécurisé les abords et procédé à une identification et une géolocalisation de l'ensemble des débris avant évacuation et nettoyage des zones impactées.

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 le 22 septembre 2021.

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur place le vendredi 24 septembre. Ils ont rencontré les représentants de l'exploitant du site GRTgaz, un inspecteur de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes ainsi qu'un représentant du service départemental d'incendie et de secours de l'Ain (SDIS 01).

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, aux investigations et aux réunions techniques organisées par la suite, communication des pièces et documents nécessaires à leur enquête.

La recherche de l'origine de l'explosion a nécessité la réalisation de nombreuses investigations. Elles ont été réalisées par le centre de recherche de GRTgaz, par la direction technique de GRTgaz ainsi que par l'Ineris intervenant en appui du BEA-RI.

Il s'est agi notamment :

- D'expertises métallurgiques sur des éléments de tuyauteries constituant les installations concernées par l'accident ;
- De la réalisation d'analyses de prélèvements de résidus effectués sur ces installations ;
- D'estimations de l'énergie d'éclatement ;
- De modélisations du mélange air/gaz présent dans les ouvrages au moment de l'accident ;
- De modélisations de l'explosion interne, et de simulations dynamiques des flux de gaz ;
- Ou encore d'expertises sur les composants électriques situés sur l'installation.

L'importance des expertises engagées a conduit le BEA-RI à identifier rapidement qu'il ne pourrait pas rendre son rapport d'enquête dans des délais courts. Toutefois, l'analyse de l'évènement faisait apparaître l'existence d'un risque insuffisamment pris en compte. Dès lors, conformément aux dispositions de l'article L. 501-13³ du code de l'Environnement, le BEA-RI a publié le 1^{er} juin 2022, une note d'information qui vise à appeler l'attention sur certains risques liés à la remise en gaz des canalisations après travaux. La présente note d'information s'adresse à l'ensemble des opérateurs de réseaux de transport et de distribution de gaz naturel ainsi qu'aux autorités (DGPR et DREAL) en charge du contrôle.

Cette note figure en **annexe 1** de ce rapport.

³ Art L 501-13

I.-Par dérogation à l'article L. 501-12, le responsable du bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels est habilité à transmettre des informations résultant de l'enquête technique, s'il estime qu'elles sont de nature à prévenir un accident :

1° Aux autorités administratives chargées de la sécurité ;

2° Aux personnes physiques et morales exerçant une activité concevant, produisant, exploitant ou entretenant des installations ou équipements tels que ceux mis en œuvre dans le cadre de l'accident.

III. Contextualisation

III.1 L'entreprise GRTgaz

GRTgaz est un leader européen du transport de gaz, il exploite, entretient et développe un réseau de gazoducs pour transporter du gaz naturel à haute pression et commercialise des capacités de transport auprès de ses clients, les expéditeurs de gaz naturel présents sur le marché français du gaz.

GRTgaz offre aussi des prestations de raccordement au réseau de transport, et permet aux clients industriels d'accéder directement aux marchés de gros du gaz naturel en choisissant librement leur fournisseur.

GRTgaz est également chargé d'assurer l'équilibre général du système entre les entrées et les sorties de gaz et remplit des missions de service public pour garantir la continuité d'acheminement (transport) de gaz naturel. Sa première mission est d'assurer l'approvisionnement du gaz en tout point du territoire.

GRTgaz dispose d'un centre de recherche dénommé RICE pour « Research & Innovation Center for Energy ».

En France, l'entreprise exploite plus de 32 000 km de canalisations enterrées pour transporter le gaz des fournisseurs vers les consommateurs raccordés à son réseau :

- Gestionnaires des distributions publiques qui desservent les communes ;
- Centrales de production d'électricité ;
- Sites industriels.

III.2 Le réseau de transport de gaz exploité par GRTgaz

Le réseau de canalisations de transport géré par GRTgaz couvre l'ensemble du territoire métropolitain français à l'exception du quart sud-ouest. Il est composé de près de 32 000 km de canalisations haute pression (diamètres de 80 mm à 1 200 mm et pressions de 16 à 95 bar, voire davantage ponctuellement), et est raccordé à 14 stockages souterrains et 4 terminaux méthaniers sur les façades maritimes françaises.

Les gazoducs sont en France quasi-systématiquement enterrés.

Le gaz circulant dans les canalisations perd de la pression au fur et à mesure de son parcours. Il est donc nécessaire de le re-comprimer à intervalles réguliers. Tous les 150 à 200 km environ, des compresseurs sont rassemblés dans une station de compression, pour redonner de l'énergie cinétique au gaz.

Le réseau de transport est soit maillé soit organisé en étoile. Il existe une soixantaine d'installations permettant de répartir le gaz sur les différentes artères à partir d'un point : ce sont les stations d'interconnexion, isolées ou associées à une station de compression.

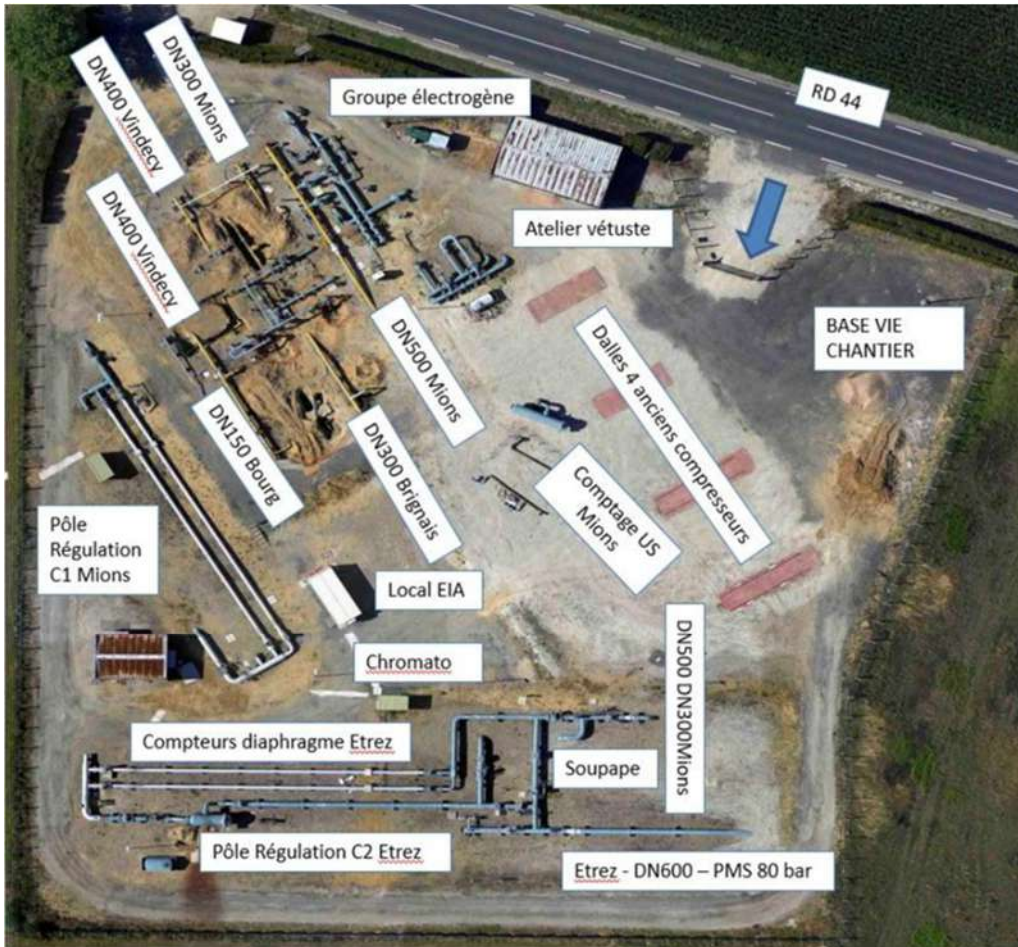
Au niveau des points de livraison aux clients industriels et des distributions publiques, il est nécessaire d'abaisser la pression du gaz afin qu'il puisse être utilisé dans les procédés industriels ou transiter dans le réseau de distribution jusqu'au compteur de chaque utilisateur. Les postes de détente et de livraison du réseau de transport, équipements aériens, remplissent cette fonction.

III.3 La station d'interconnexion d'Ars-sur-Formans

La station d'interconnexion d'Ars-sur-Formans, située au nord de Lyon, assure la liaison entre l'artère du Rhône depuis Etrez vers Mions, l'artère du Beaujolais vers Vindecy, la boucle lyonnaise et l'antenne de Bourg-en-Bresse. Elle est sous la responsabilité de la direction des opérations de GRTgaz.

Cette station permet d'orienter le flux, de modifier les pressions de service et de procéder à des opérations de filtration et de contrôle de la qualité du gaz.

Elle est équipée de 2 pôles de régulation dont un avec changement de PMS (pression maximale de service), et d'une grille d'interconnexion (pôle Vindecy) comme indiqué sur la figure 1 (page 15).



Photographie 1 : Vue aérienne de l'installation d'Ars-sur-Formans avant travaux de remise à neuf (crédit GRTgaz)

La station a fait l'objet lors des dernières années de nombreux travaux de rénovation et d'adaptation dont en particulier :

- En 2005 : rénovation des équipements (électricité/automatismes/télétransmissions) ;
- En 2006 : mise en place d'un filtre séparateur vertical sur le pôle de régulation Etrez ;
- En 2007-2008 : rénovation de la régulation, peinture, génie civil ;
- De 2020 à 2021 : rénovation de matériels de réseau (vannes de régulation, motorisation de robinets, génie civil...) et d'instrumentation/automatismes.

Ce dernier projet (projet 5KA1) comportait 5 lots :

- Lot 1 : remplacement à neuf de 22 motorisations électriques ou pneumatiques obsolètes ;
- Lot 2 : rénovation complète des installations EIA (Électricité Instrumentation Automatismes) de la station avec le remplacement à neuf du contrôle/commande, des automatismes et des supervisions ;
- Lots 3, 4 et 5 : rénovation complète du pôle de régulation d'Étrez, rénovation partielle du pôle de régulation de Mions et remplacement de vannes avec un séquençement dans le temps autour de 2 phases principales :
 - 2020 : rénovation pôle Mions ;
 - 2021 : renouvellement pôle Étrez.

Le projet 5KA1 consistait en une rénovation partielle de la station portant sur le remplacement du pôle de régulation d'Étrez par un nouveau pôle de régulation et le changement de pression maximale de service. Le filtre et la gare racleur étaient conservés.

Un plan du projet de rénovation du pôle Étrez est présenté en **annexe 2** du présent rapport.



Figure 1 : Plan de l'installation d'Ars-sur-Formans et localisation des secteurs Les secteurs remis à neuf en 2020 et 2021 sont les pôles de Mions et Etrez (crédit GRTgaz)

III.4 Procédure de mise en gaz et de mise en pression d'une installation

Au moment de l'accident, les opérateurs GRTgaz procédaient à la remise en gaz de la canalisation (DN600) en provenance d'Etrez et du pôle correspondant après le raccordement de la portion neuve aux installations existantes. La montée en pression de l'ouvrage était prévue à la suite de la remise en gaz.

Cette opération est encadrée par une procédure intitulée mode opératoire « Mise hors pression, hors gaz, en gaz, en pression » et référencée MOP-0032. Elle décrit les règles de :

- Mise hors pression et hors gaz d'une canalisation ;
- Et de mise (ou remise) en gaz et en pression d'une canalisation (ou d'un tronçon de canalisation).

Comme précisé dans le document, le « MOP-0032 » vise principalement à définir :

- « ...Les conditions permettant de garantir la sécurité des opérateurs réalisant ces opérations ;
- Et les conditions permettant de garantir l'efficacité de ces opérations.

Ces dispositions sont mises en place notamment dans le cadre de la protection des intervenants lors d'un raccordement en air et elles doivent être étudiées dès le début de la préparation de l'opération... »

En matière de remise en gaz (et en pression), le mode opératoire préconise deux méthodes :

- La méthode **par saturation**, qui consiste, par cycles successifs de remplissage en gaz et de vidange de l'ouvrage, à atteindre une concentration supérieure à 90% de gaz dans l'ouvrage avant de procéder ensuite à la montée à la pression de service.

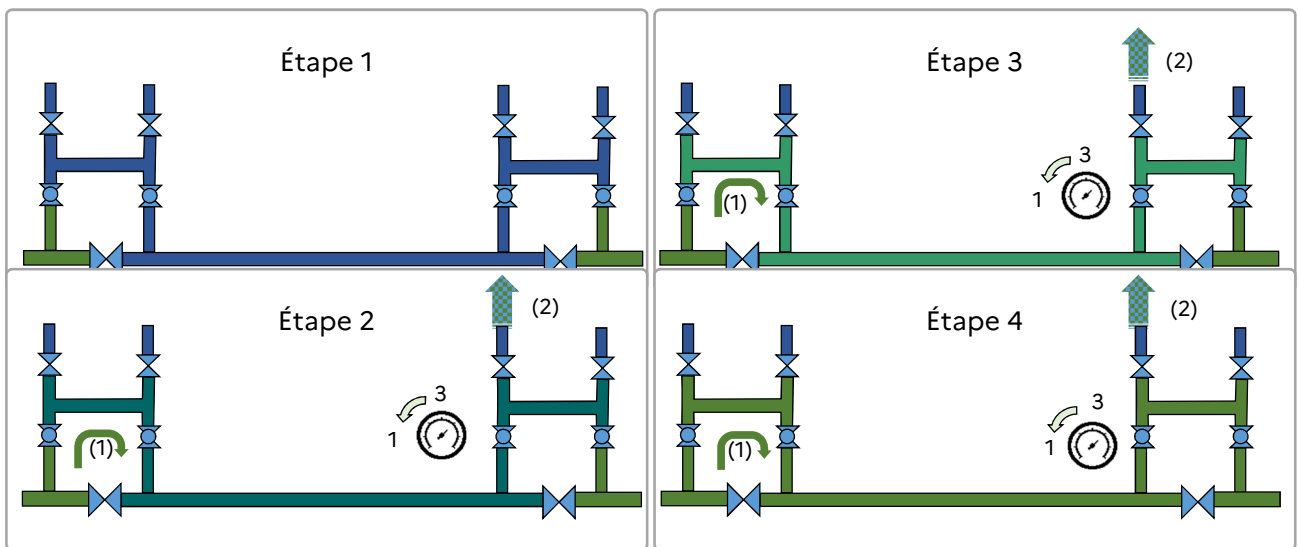


Figure 2 : **Méthode par saturation** - L'opérateur procède à une première injection de gaz jusqu'à 3 bar, ferme la vanne (1) et purge ensuite la canalisation au point le plus éloigné du point d'injection (2). Il renouvelle l'opération jusqu'à mesurer une concentration en gaz à l'intérieur de la canalisation supérieure à 90%.

- La méthode **par balayage** qui consiste, au moment du remplissage, à chasser l'air présent dans l'ouvrage par un évent situé à l'opposé du point d'injection du gaz.

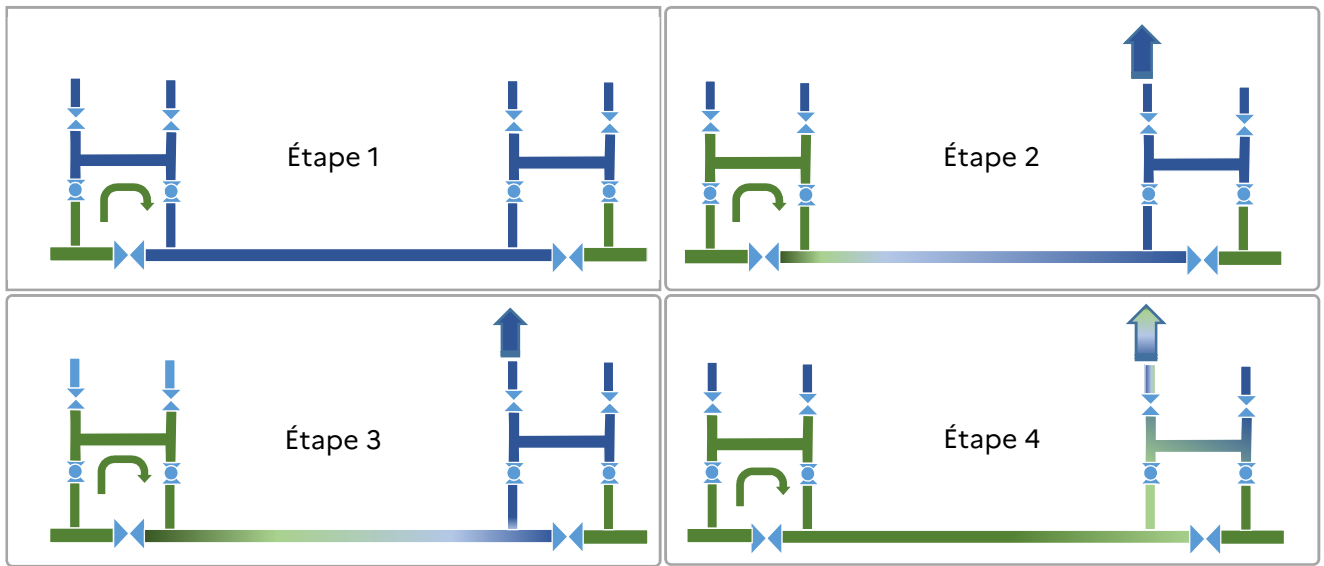


Figure 3: **Méthode par balayage** - L'opérateur injecte du gaz à une extrémité de l'ouvrage à remplir et ouvre un évent à l'autre extrémité. L'air contenu dans la canalisation est expulsé par le gaz qui remplit progressivement l'ouvrage. Cette méthode est réservée aux ouvrages dits simples.

Le mode opératoire est concis, la description de chaque opération est synthétisée sur une fiche tenant sur une page unique. En complément, une annexe apporte des éléments théoriques supplémentaires sur les différentes méthodes mais les explications données restent très générales. À titre d'exemple, il n'y a pas de détail sur l'instrumentation à utiliser et sur où la positionner, les indications sur le positionnement des points d'injection et les événements sont très succinctes.

Le mode opératoire précise la méthode préconisée en fonction de la complexité des ouvrages à remettre en gaz à travers le tableau ci-dessous (tableau 1). Les références MOP-0032-005, MOP-0032-006, et MOP-0032-007 figurant dans le tableau correspondent aux fiches explicitant le mode opératoire à suivre évoquées plus haut. Plus un ouvrage comporte de dérivations, d'organes ou de bras morts, plus il est complexe. Le cas le plus simple étant le cas du tronçon de canalisation linéaire. Le document indique également que le choix final de la méthode doit prendre en compte les autres éléments d'analyses de risque de l'ensemble de l'opération (zones ATEX, faisabilité, délai de mise en œuvre, compétence/disponibilité des intervenants...), sans plus de précisions.

De manière générale, le document a le bénéfice d'être synthétique, mais il ne peut pas être considéré comme autoportant et permettre à un opérateur de mettre en œuvre la procédure si c'est la première fois qu'il l'utilise.

Pour la remise en gaz

	Par saturation MOP-0032-005	Par saturation MOP-0032-006	Par Balayage MOP-0032-007
Ouvrages simples (ligne sans bras mort) et volumes importants	😊😊	☹️	😊
Ouvrages complexes (stations, grilles d'interconnexions avec bras mort) ou volumes faibles	☹️	😊	😊
Bras morts	☹️	😊	😊

Tableau 1 : Matrice de décision du mode opératoire de remise en gaz en fonction de la complexité de la canalisation. Le MOP précise en outre que le balayage est plutôt réservé à des installations simples (type installation de ligne sans bras mort) ou des bras morts munis de purge, tandis que la méthode par saturation est plutôt réservée à des installations complexes (type station ou grille d'interconnexion avec des bras morts) ou des volumes faibles. (Tableau extrait du MOP-0032) - (crédit GRTgaz)

III.5 Formation des opérateurs sur la procédure de mise en gaz

Le BEA-RI a interrogé la société GRTgaz sur les formations existantes sur cette thématique : il n'existe pas au sein de l'entreprise de module de formation à l'attention des opérateurs, spécifique à l'opération de mise en gaz. Ce point n'est pas non plus systématiquement vu lors de la formation initiale, et ne fait pas l'objet d'une habilitation spécifique.

Du point de vue de la sensibilisation des opérateurs, deux séminaires sur l'ingénierie de raccordement ont été proposés aux opérateurs GRTgaz en 2018 et 2019 mais le point précis de la mise en gaz n'a pas été abordé. Des sessions de portage portant spécifiquement sur le MOP-0032 ont été faites en visioconférence par la Direction des Opérations pendant le confinement à partir d'avril 2020.

Toutefois, de manière générale, lorsqu'une procédure est créée ou modifiée, un portage de ce nouveau prescrit est organisé. La direction technique transmet tous les mois aux directions opérationnelles les modifications de prescrit. Les nouveautés sont alors présentées et évoquées en réunion d'encadrement. Cependant, la dernière modification de la MOP-0032 datait du mois de décembre 2017 à la date de l'accident.

Dans les territoires, des référents travaillent en réseau sur certaines thématiques spécifiques, ils peuvent être sollicités en cas de besoin. Avant l'accident d'Ars, il n'existait pas de référent identifié sur cette thématique.

III.6 Organisation et déroulement des opérations de mise en gaz

Dans le cadre du raccordement du pôle d'Étrez, la préparation et l'organisation de la mise en gaz ont été laissées à la direction locale des opérations, car l'installation d'Ars-sur-Formans dépendait de leur direction. On peut noter que la responsabilité des opérations de remise en gaz peut également être confiée à la direction de l'ingénierie dans certains cas comme des installations dites complexes. Dans ce cas, cette étape du projet de rénovation est intégrée au projet global et est réalisée sous la responsabilité de la direction de l'ingénierie. Cela n'était pas le cas ici.

Au moment de l'accident, les travaux sous la responsabilité de la direction de l'ingénierie étaient tout juste achevés et l'installation venait d'être rendue à la direction des opérations pour remise en service.

C'est donc le personnel de la direction des opérations qui a préparé et mené cette opération. C'était la première fois que ces opérateurs réalisaient ce type d'opération sur une installation aussi complexe.

L'opération a fait l'objet d'une « consigne de travaux et manœuvres ». Pour l'établissement de cette consigne, le formulaire type, référencé TYP-0447-3, a été utilisé. La consigne a été rédigée par un opérateur et validée par son supérieur hiérarchique comme prévu par le document type. Compte tenu du rôle important de ce document nous nous étonnons que cette validation ne soit pas formalisée (par l'apposition d'une signature par exemple).

La mise en pression était programmée le 17 septembre 2021. Dans la consigne de travaux et manœuvre, il était prévu que la remise en gaz soit réalisée de la manière suivante : « balayage 3*2 bar via robinet de purge 1064A et 256T et remontée en pression à 6 bar par le bypass du sectionnement ».

De manière pratique, l'injection de gaz est prévue via le sectionnement de Châtillon-sur-Chalaronne qui est situé à une quinzaine de kilomètres en amont de la station d'Ars, et l'installation à purger est donc constituée tout d'abord d'une canalisation linéaire (DN600 Ars - Etrez) longue d'une quinzaine de kilomètres puis d'une installation complexe (pôle d'Etrez) située entre les robinets 1064A et 256T.

Postérieurement à l'accident, la méthode envisagée est surprenante car elle correspond à un mélange des méthodes préconisées et expliquées au paragraphe III.4.

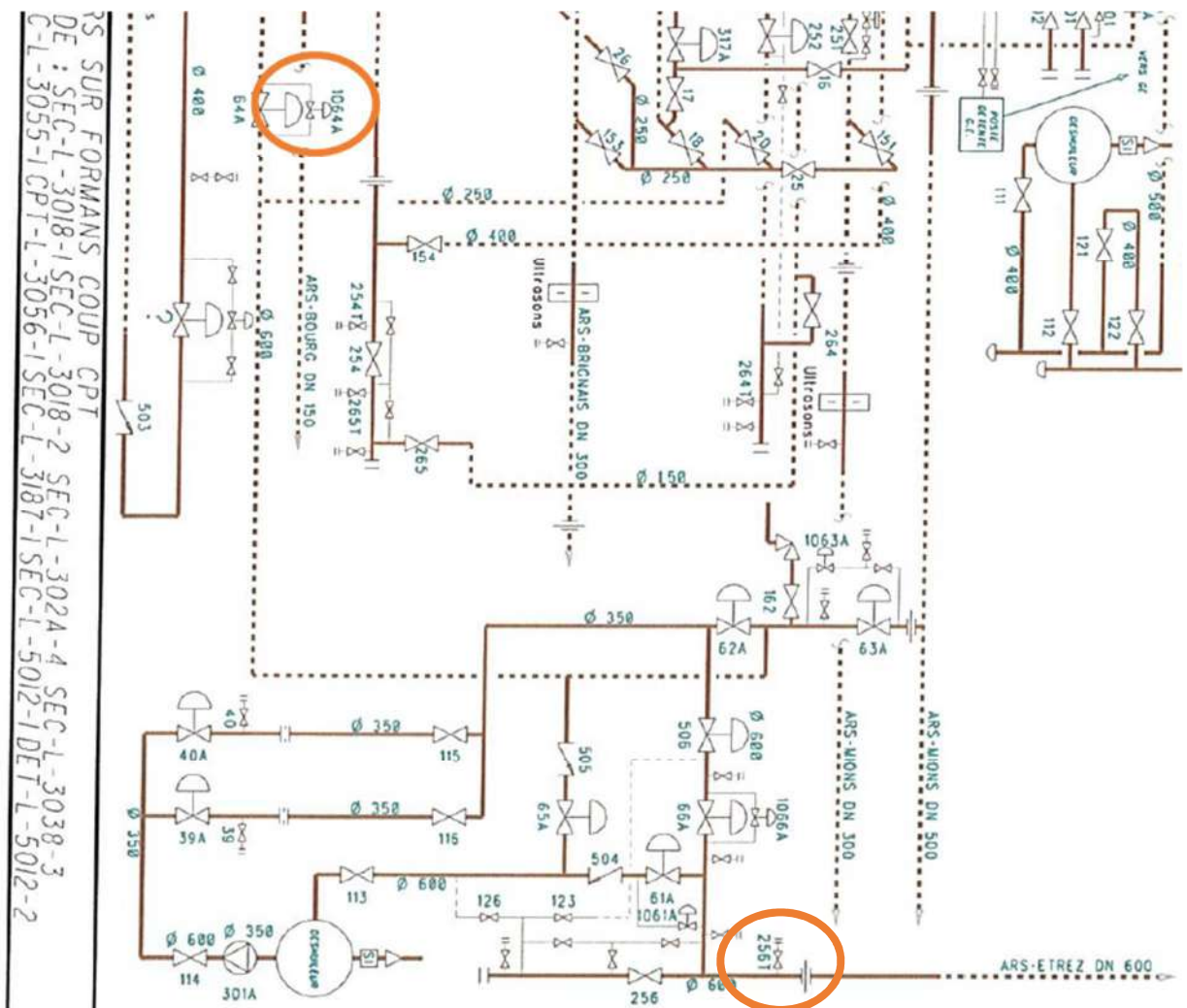


Figure 4 : Plan de l'installation, les robinets 1064A et 256T sont entourés en orange. (crédit GRTgaz)

Pour la mise en gaz des grandes longueurs de canalisations, des méthodes par piston peuvent être utilisées. Ce n'est pas le choix qui a été fait ici car il n'y avait pas de gare racleur au niveau du sectionnement de Châtillon-sur-Chalaronne et qu'il aurait été nécessaire de vidanger la canalisation depuis Etrez. Dans le cas présent, il aurait été plus logique de scinder l'opération en deux phases :

- La méthode par balayage adaptée à la mise en gaz du tronçon Châtillon-Ars (canalisation de grande longueur) ;
- La méthode par saturation pour l'interconnexion d'Ars (installation complexe).

Au cours des échanges qui ont eu lieu pendant l'enquête, il a été indiqué aux enquêteurs qu'une « nouvelle » méthode de mise en gaz par saturation consistant à monter à 6 bar en un seul cycle était en cours d'expérimentation sur le territoire. Son usage a été suspendu suite à l'accident.

III.7 Rejet de méthane à l'atmosphère pendant les opérations de mise en gaz

Les opérations de mise en gaz sont à l'origine de quantités importantes de gaz rejetées dans l'atmosphère. Pourtant, si l'on considère l'ensemble des opérations de maintenance, les gros enjeux en matière de volume sont sur les opérations de décompression.

Des mesures ont été mises en place pour limiter ces rejets :

- Diminution de pression en amont des opérations ;
- Consommation d'un maximum de gaz par les clients ;
- Utilisation de gaz booster ;
- Et brûlage.

En ce qui concerne spécifiquement les manœuvres de mise en gaz, les émissions de gaz lors des opérations de purge, bien que comptabilisées dans les bilans annuels effectués, ne sont pas torchées car le mélange air-gaz ne brûle pas bien.

IV. Déroulement de l'évènement

IV.1 Déclenchement de l'évènement

Au moment de l'accident, la station d'interconnexion d'Ars-sur-Formans est dans sa dernière phase de rénovation. Le pôle de Mions a été rénové en 2020. Les travaux concernant le Pôle d'Étrez se sont déroulés de la semaine 26 à la semaine 36 de l'année 2021. Tous les équipements sont neufs, sauf la gare racleur et le filtre. Le filtre a été vidangé avant les travaux mais pas nettoyé.

Les 23 et 24 août, la canalisation en provenance d'Étrez est mise hors pression puis ventilée en air depuis le sectionnement de Châtillon-sur-Chalaronne.

Les épreuves hydrauliques de la nouvelle installation ont eu lieu en plusieurs phases du 10 août au 02 septembre 2021.

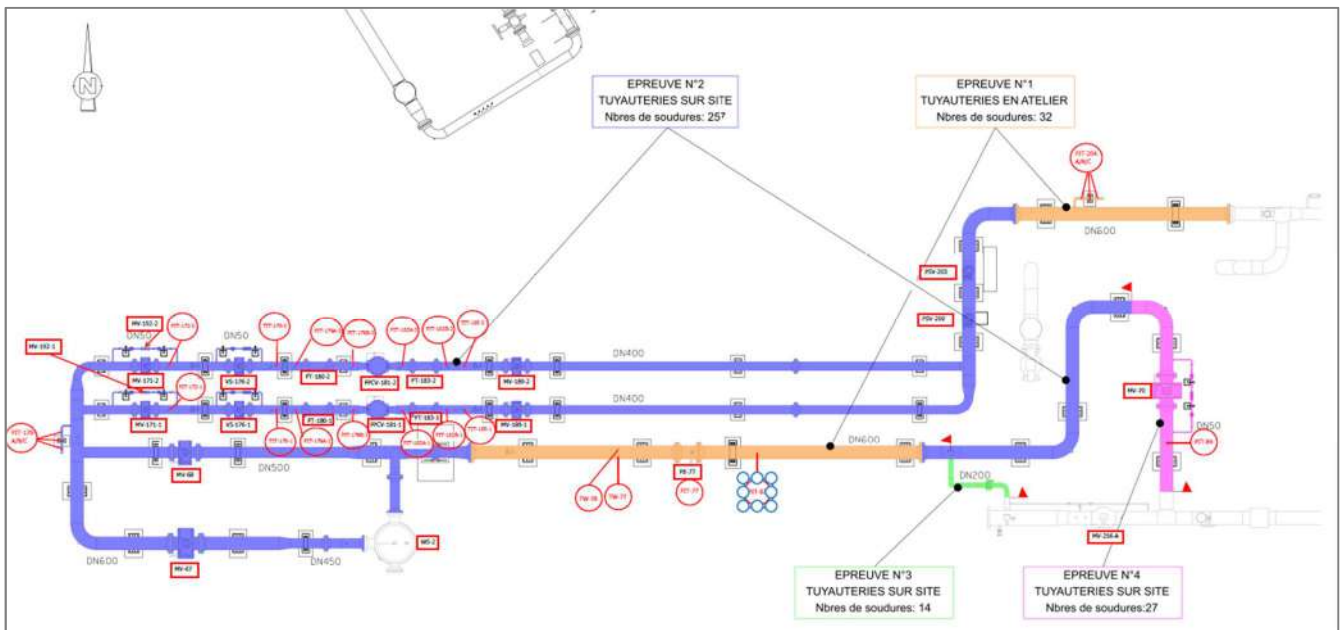


Figure 5 : Schéma des épreuves réalisées sur le pôle d'Étrez (crédit GRTgaz)

Entre le 9 et le 17 septembre, le chantier se poursuit par la finalisation de la partie électricité, instrumentation et automatismes qui comprend notamment les branchements des capteurs et des automates.

Le 17 septembre, les vannes du nouveau pôle de régulation d'Étrez sont mises en service à l'exception des vannes de sécurité. Il est prévu que ces dernières soient mises en service au cours de la semaine suivante en présence du fournisseur.

La mise en gaz, puis en pression, de la nouvelle installation est programmée la semaine du 17 septembre. Mais en raison de la non-transmission du rapport de contrôle des matériels ATEX, la décision est prise le 14 septembre de reporter l'opération au lundi 20 septembre au matin de façon à éviter de réaliser cette opération un vendredi, veille de week-end et à ne pas décaler la date remise en service, le chantier ayant pris du retard durant l'été.

Le 20 septembre à 9h06, l'ordre est passé d'ouvrir partiellement la vanne de Châtillon-sur-Chalaronne située à 15 km d'Ars-sur-Formans sur la canalisation de transport en provenance d'Etrez. L'injection de gaz se fait au moyen d'une vanne positionnée sur un by-pass de la vanne principale, la vanne 227K. Les opérateurs sur place n'ont pas d'instrumentation à disposition, ils sont guidés par les opérateurs situés à Ars par téléphone.

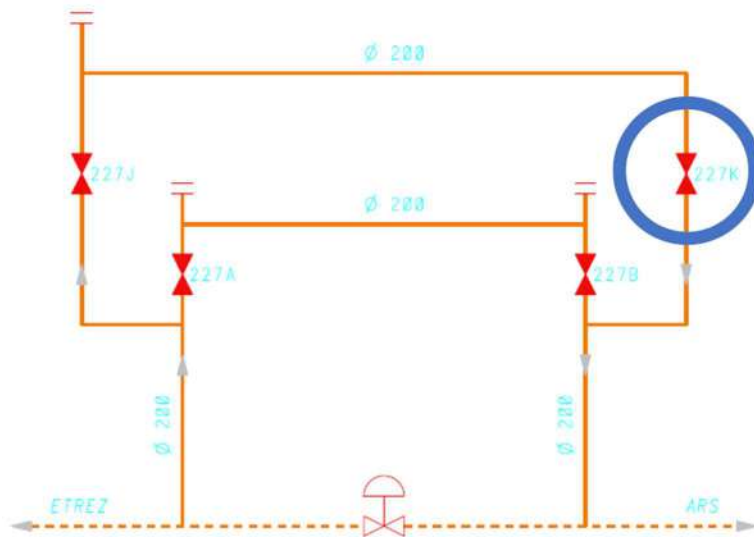


Figure 6 : Schéma du sectionnement de Châtillon-sur-Chalaronne (crédit GRTgaz)

Sur le pôle d'Etrez, toutes les vannes sont réputées ouvertes. L'événement est situé sur l'ancienne soupape et est commandé par le robinet 162 qui est en position ouverte. Pour mémoire, la consigne de travaux prévoyait initialement l'utilisation des robinets de purge 1064A et 256T (figure 4) mais ce changement de mode opératoire n'a pas été explicité.

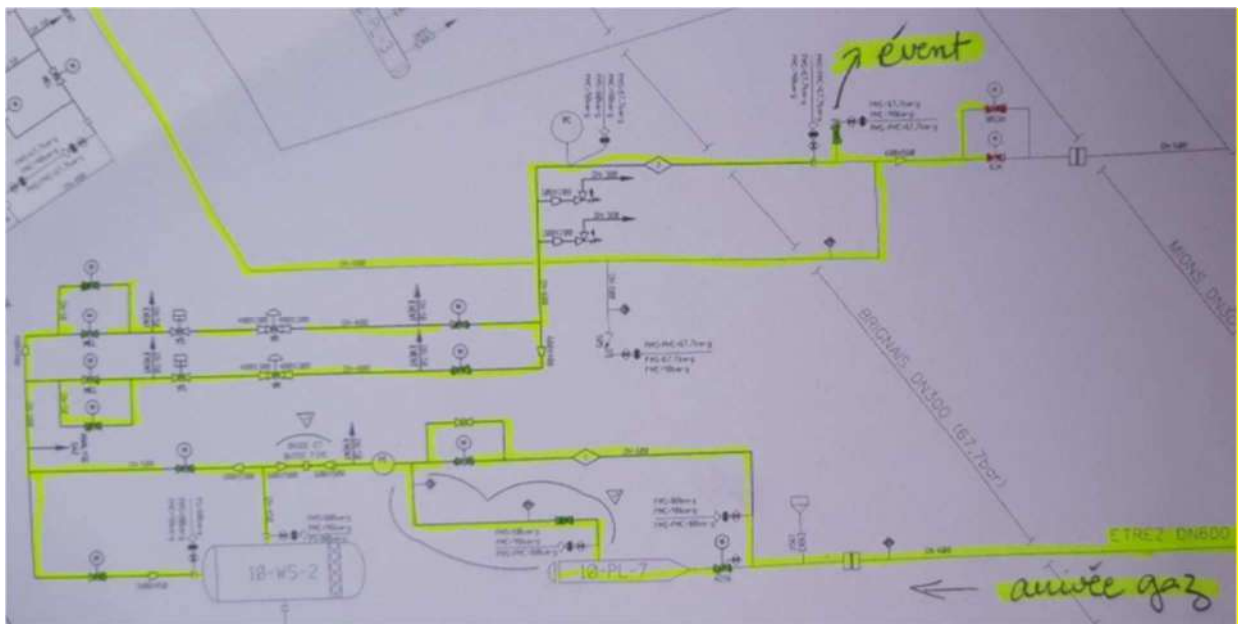


Figure 7 : Positionnement de l'événement au niveau du pôle d'Etrez (crédit GRTgaz)

À **9h15**, un panache visible est constaté au niveau de l'évent (robinet 162).

À **9h22**, les opérateurs situés à Ars demandent à ceux situés à Chatillon l'ouverture complète du robinet 227K qui était jusqu'alors ouvert au tiers de son ouverture maximale, du fait de l'absence de pression à Ars. Une pression de 2,7 bar est ensuite lue sur le manomètre. La consigne de travaux porte la mention manuscrite "9h30 1^{er} gaz".

À **9h33**, l'ordre est donné aux opérateurs situés à Châtillon-sur-Chalaronne de fermer la vanne, le robinet 162 à Ars est également fermé. À **9h34**, les opérateurs d'Ars constatent que la pression passe en une minute et trente secondes de 2,7 bar à un peu plus de 20 bar et se stabilise. Cette pression beaucoup plus importante que celle attendue, et prévue par la procédure, n'alerte pas les opérateurs qui ne modifient pas leur manière de procéder.

Les entreprises prestataires qui interviennent sur la partie instrumentation et sur les brides et les purges de sphères, procèdent au savonnage des zones à contrôler. Une autre société procède à la mise en service de l'instrumentation.

À **10h25**, l'opération est terminée et les opérateurs des sociétés prestataires présentes sur le site se replient vers la base de vie.

Deux opérateurs GRTgaz demeurent sur le pôle pour actionner les robinets de purge et pour vérifier la bonne étanchéité des robinets. À **10h46**, ils se dirigent vers le robinet 162 pour réaliser une purge. Selon le protocole de mise en pression de la station, il est prévu de faire plusieurs purges jusqu'à obtention du 100% gaz.

À **10h47**, les 2 agents entendent une explosion et chutent au sol. Ils se relèvent et courent vers la rampe de Mions à l'ouest de la station puis vers le deuxième portail au nord-ouest. L'un d'eux déclare avoir observé un panache vertical au niveau de la torche réseau 256T puis un panache horizontal sortant de la porte de gare racleur en direction du filtre.

3 personnes se trouvent au niveau du bâtiment administratif. Elles témoigneront d'un grand bruit et d'un souffle qui a détruit les vitrages et l'encadrement des fenêtres. Les 3 personnes sont tombées. Un nuage de poussière recouvre temporairement la station. Un panache (gaz résiduel sortant de la canalisation éventrée) est visible.

Un poids lourd circulant sur la RD44 qui passe au nord du site reçoit des projections alors qu'il se trouve à hauteur du site. Le chauffeur constate que sa vitre latérale est cassée et des impacts de cailloux sur le plateau et la carrosserie de l'engin.

Les 2 opérateurs GRTgaz demandent aux autres intervenants d'évacuer et de rejoindre le point de rassemblement. Deux personnels se positionnent à l'extérieur du site pour bloquer la circulation sur la départementale devant le site (30 m de part et d'autre).

Au même moment, à **10h47**, les opérateurs présents au niveau du sectionnement de Châtillon-sur-Chalaronne entendent un bruit important dans la canalisation. Ils décrivent un « claquement métallique bref ».

Au Centre de Surveillance Régional (CSR), l'opérateur reçoit plusieurs alarmes incendie concernant le site d'Ars-sur-Formans.

IV.2 L'intervention des secours publics

Vers 10h47, les sapeurs-pompiers reçoivent l'appel d'un habitant du secteur qui localise grossièrement un bruit d'explosion. S'en suivront plusieurs appels de riverains aux sapeurs-pompiers. L'explosion a été entendue dans un rayon de 10 km.

Sans précision sur la localisation de l'origine du bruit entendu, le SDIS n'est pas immédiatement en mesure d'envoyer des équipes sur place.

À 10h49, le SDIS, informé des travaux en cours sur le site, prend contact avec GRTgaz qui confirme la demande d'intervention.

Le compte rendu d'intervention du SDIS précise que l'adresse exacte ne sera confirmée qu'entre 10h55 et 10h58 par recoupement avec la visite du service de la prévision du SDIS sur le site GRTgaz une dizaine de jours avant l'accident.

En l'absence d'information précise sur les dégâts causés par l'explosion et compte tenu du fait qu'une partie de la station d'interconnexion est toujours alimentée en gaz, la stratégie d'intervention consistera à définir une zone d'exclusion exempte de gaz, à attendre la décompression et le dégazage de la canalisation d'Etrez (14km) et progressivement, à restreindre cette zone en procédant à des mesures de levée de doute. La première zone d'exclusion est établie de manière assez large au niveau des intersections des routes départementales (premiers ronds-points) en concertation avec les personnels GRTgaz.

À 11h28, les personnels présents sur site lors de l'explosion sont pris en charge sur le plan médical. Aucune personne ne nécessitera un transport vers un hôpital. À 12h10, un périmètre de sécurité de 500m est encore en place. Le dispositif sera levé vers 13h00.

V. Compte-rendu des investigations menées

V.1 Reconnaissances de terrain

Les inspecteurs du BEA-RI se sont déplacés sur site le 24 septembre 2021, accompagnés d'experts de l'Ineris. Ils ont procédé aux premiers constats en présence des personnels de GRTgaz et des représentants de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes et du SDIS 01.

Les éléments recueillis lors de ce déplacement ont permis de constater et de mesurer les dommages provoqués par l'explosion, en procédant à des relevés terrains qui seront confirmés par la suite par les éléments techniques transmis par GRTgaz.

Une première estimation des effets de pression a été réalisée à partir des dégâts observés sur les bâtiments et des impacts sur les opérateurs :

Relevé de dégâts	Distance (m)	Estimation basse (mbar)	Estimation haute (mbar)
Opérateurs projetés au sol	15	120	140
Local technique endommagé	25	50	70
Locaux préfabriqués	70	30	45
Vitre brisée sur un camion	90	10	20

Tableau 2 : estimation des niveaux de pression incidente à partir du relevé des dégâts (crédit INERIS)

Le 13 décembre 2021, les enquêteurs du BEA-RI, et les experts de l'Ineris se sont à nouveau déplacés sur la station d'interconnexion. Ils ont complété les constats qu'ils avaient faits lors de leur premier déplacement, avec la localisation des traces de suies retrouvées après l'explosion. Ils ont constaté les positionnements de deux vannes qui ne se trouvaient pas en position ouverte après l'explosion alors que l'indicateur de position le laissait penser. Ils ont également pu observer les dégradations subies par le filtre.

Le 11 juillet 2022, les enquêteurs, accompagnés d'un expert de l'Ineris, ont assisté au démontage de la vanne MV-171-1 sur le site GRTgaz de Compiègne (60).

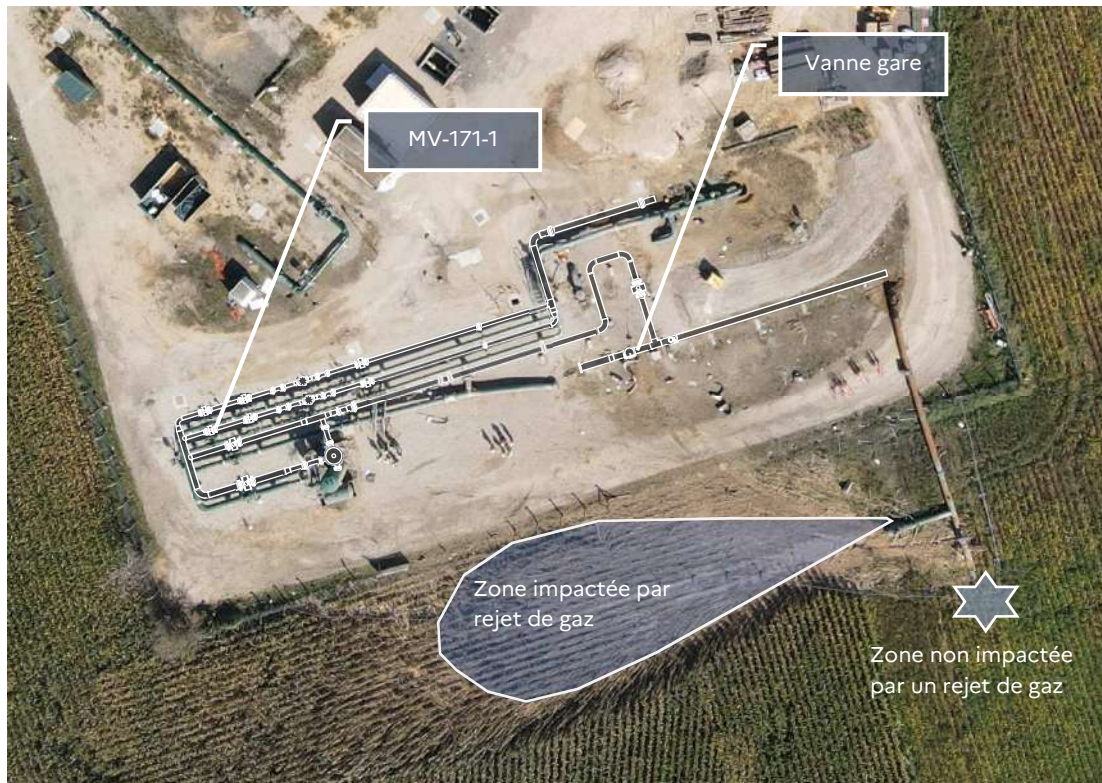
V.2 Configuration de l'installation au moment du lancement de l'opération de mise en gaz

Lors de la préparation de l'opération, il était prévu que les événements soient positionnés au niveau des robinets de purge 1064A et 256T. Finalement, l'événement a été placé au niveau du robinet 162.

Dans ce type d'opération, il est généralement préconisé que toutes les vannes présentes sur l'installation soient en position ouverte. Le jour de l'accident, les deux vannes de sécurité (VS-176-1 et VS-176-2) étaient fermées, car pas encore mises en service par le fournisseur, ce qui a eu pour conséquence le passage du gaz par les deux by-pass en DN50.

Deux autres vannes, la vanne MV-171-1 et la vanne de la gare racleur MV-256-A, ont été retrouvées respectivement tiercées⁴ et fermées après l'accident alors que les deux indicateurs de position indiquaient une position ouverte.

L'analyse des traces de l'accident sur le sol, semble indiquer que du gaz s'est échappé de la canalisation rompue par l'explosion, mais qu'en revanche aucune quantité de gaz ne se soit échappée au niveau de la gare racleur. Cela induit un doute sur le fait que cette vanne puisse ne pas avoir été en position ouverte au moment de l'opération de mise en gaz.



Photographie 2 : vue aérienne de la station d'interconnexion d'Ars-sur-Formans après l'accident

V.3 Informations délivrées par l'instrumentation

L'ensemble de l'instrumentation qui devait équiper à terme l'installation n'était pas encore opérationnelle au moment du début de l'opération de mise en gaz. Les opérateurs ne disposaient que d'un capteur de pression au niveau de l'évent (PIT204) et d'un catharomètre⁵ portable utilisable sur deux points de mesure. Ces deux points de mesure sont positionnés à une relative proximité l'un de l'autre (compte tenu du linéaire de tuyauterie à mettre en gaz).

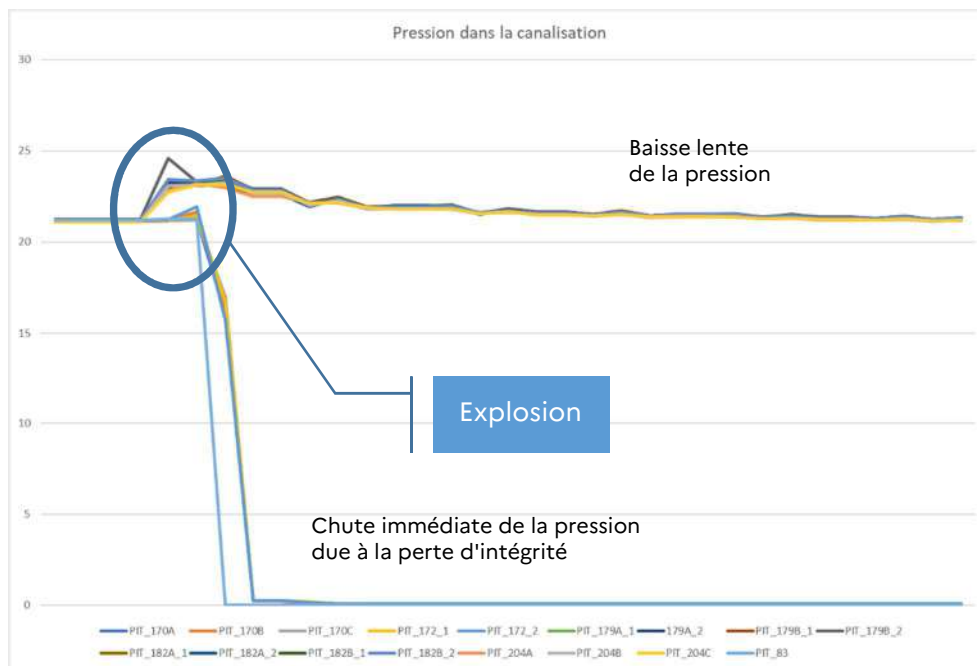
Au niveau du sectionnement de Châtillon-sur-Chalaronne, les opérateurs utilisaient le robinet du bypass, dont la manipulation est très imprécise, et n'avaient pas d'indication directe de la pression injectée au moment de sa manœuvre. La manœuvre de la vanne était donc guidée par les opérateurs d'Ars situés à une quinzaine de kilomètre.

⁴ Une vanne tiercée est une vanne partiellement fermée.

⁵ Appareil de mesure permettant la mesure de concentration en méthane.

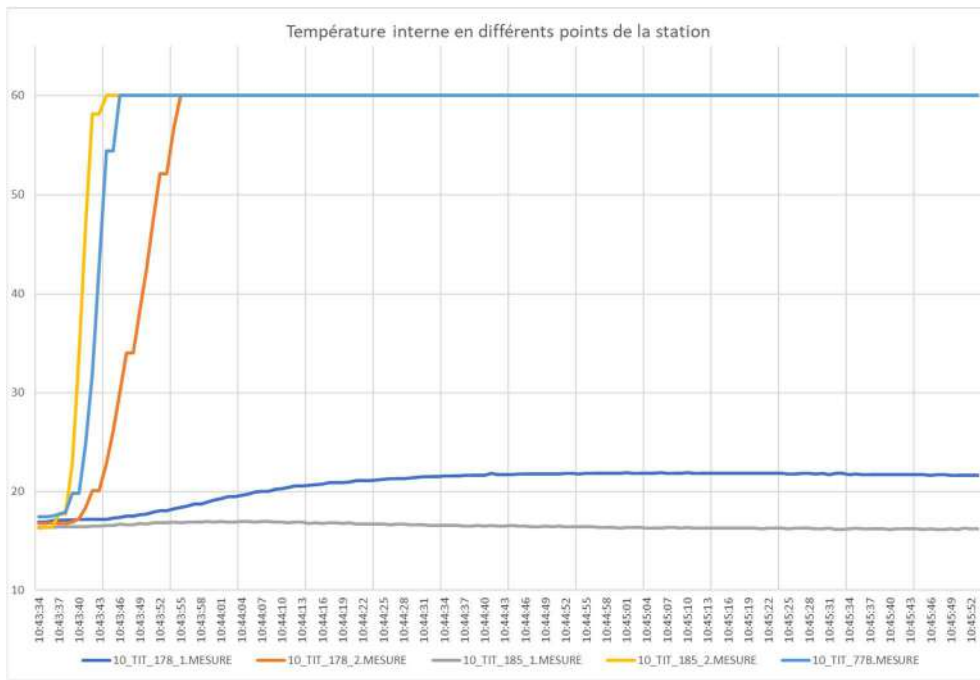
Une fois le gaz injecté, le robinet fermé et la situation stabilisée, les opérateurs ont raccordé les capteurs de température et de pression présents sur l'installation, mais ces données ne fournissent pas d'information sur la manière dont la montée en pression s'est faite dans l'ouvrage. Ils confirment en revanche la présence d'une pression assez uniforme sur la totalité de la station, largement au-delà des pressions préconisées par la procédure de mise en gaz (la pression se stabilise aux alentours de 21 bar alors que le MOP-0032 préconise une première montée à 3 bar absolu) avant que l'explosion ne se produise.

Ces données fournissent par contre des informations sur la manière dont la canalisation s'est vidée après l'explosion. On constate ainsi que la pression en certains points de la canalisation a rapidement chuté après l'explosion, mais que par contre, elle a diminué beaucoup plus lentement dans les parties de canalisation situées en aval des vannes de sécurité VS-176-2 et VS-176-1. Les modélisations ont permis de déterminer que cette baisse lente ne peut s'expliquer que par une fermeture partielle des by-pass des vannes de sécurité au moment, ou suite à l'explosion.



Graphique 1 : graphique des pressions en différents points de la canalisation. La pression diminue lentement à l'aval des vannes de sécurité (pression en bar relatif). (crédit GRTgaz)

L'analyse des enregistrements des températures indique que, dans les premiers instants qui suivent l'explosion, les températures atteignent la valeur de saturation des capteurs (60°C), sous l'effet du passage du front de flamme. Pourtant, les capteurs TIT178-1 et TIT185-1 situés sur la rampe de régulation n°1 ne mesurent pas le passage de ce phénomène ce qui suggère que la flamme ne s'est pas propagée jusqu'à ces capteurs. Nous verrons au point IV-8 que le comportement singulier de la vanne MV-171-1 placée en tête de la ligne 1 peut expliquer en partie la différence mesurée entre les lignes 1 et 2.



Graphique 2 : graphique des températures en différents points de la canalisation. La température augmente brutalement en différents points de l'installation à l'exception de la ligne 1 de la rampe de régulation. (température en °C). (crédit GRTgaz)

V.4 Analyses chimiques

Des prélèvements de gaz, de poussières, de suies, et de liquides retrouvés dans les canalisations après l'accident ont été réalisés. Leurs analyses n'ont pas été concluives.

Des teneurs en soufre significatives (0.8% massique maximum en phase liquide et 0.6% en phase solide) ont été retrouvées mais il est impossible de déterminer s'il s'agit de résidus ou de composés pyrophoriques, ou d'une accumulation au fil du temps des composés soufrés.

Il y a toutefois une forte suspicion de présence de composés pyrophoriques, mais l'absence d'observation directe, ce qui est cohérent avec l'instabilité de ce type de composés, ne permet pas de conclure de façon certaine.

V.5 Relevé de la présence de suies et de traces internes

Les premiers relevés de terrain ont rapidement permis de constater la présence de suies dans les canalisations. Cette suie peut provenir de la combustion d'huiles ou d'hydrocarbures (comme ceux habituellement rencontrés dans le filtre), mais elle peut aussi s'expliquer par la combustion du gaz naturel lorsque sa combustion s'opère dans des conditions particulières de température et de pression⁶.

⁶ Dans son rapport repris en **annexe 4**, l'Ineris précise que « dans des conditions normales (flamme de diffusion, conditions atmosphériques), la combustion du méthane produit normalement peu de suies. Mais dans les conditions de l'accident (mélange inflammable couvrant tout le domaine d'inflammabilité, avec notamment une LSE beaucoup plus élevée sous 21 bar, donc beaucoup de mélange riche), les schémas cinétiques sont a priori différents et peuvent causer la formation de molécules plus complexes avec des liaisons C-C (éthylène, acétylène par exemple) dont la combustion produit davantage de suies ».

Les inspections visuelles ont permis d'établir une cartographie des dépôts de suies présents dans les différentes parties de l'ouvrage.

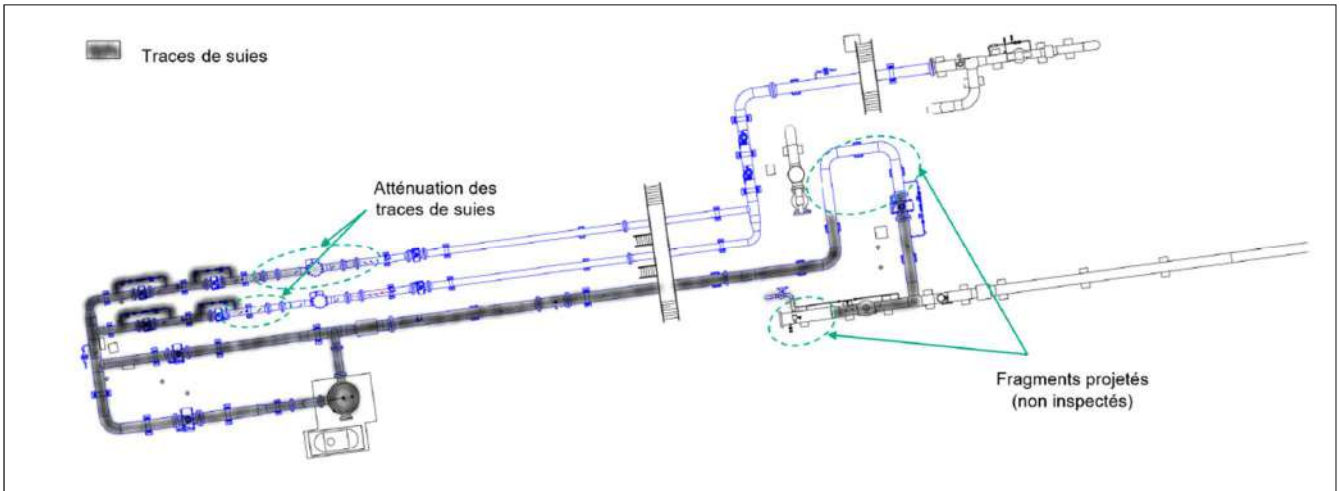


Figure 8 : Cartographie des suies établie par inspection visuelle (crédit GRT Gaz). Les zones noircies correspondent aux zones de dépôt de suie.

En parallèle, les accessoires présents dans la canalisation, au moment de l'explosion ont été inspectés. Par exemple, la face des doigts de gant TW77 (flèche bleue sur la figure 9 ci-dessous) ne présente pas de trace de suies sur sa face amont côté lyre alors que sa face opposée (côté filtre) est couverte de suies et présente des traces d'échauffement du métal.

Le compteur (positionné flèche verte) présente des trainées caractéristiques d'un dépôt de suie répondant à un sens d'écoulement allant du filtre vers la lyre.

On peut en conclure que dans cette branche de l'installation (en orange sur la figure 9 ci-dessous) la flamme s'est propagée dans le sens Ars – Etrez.

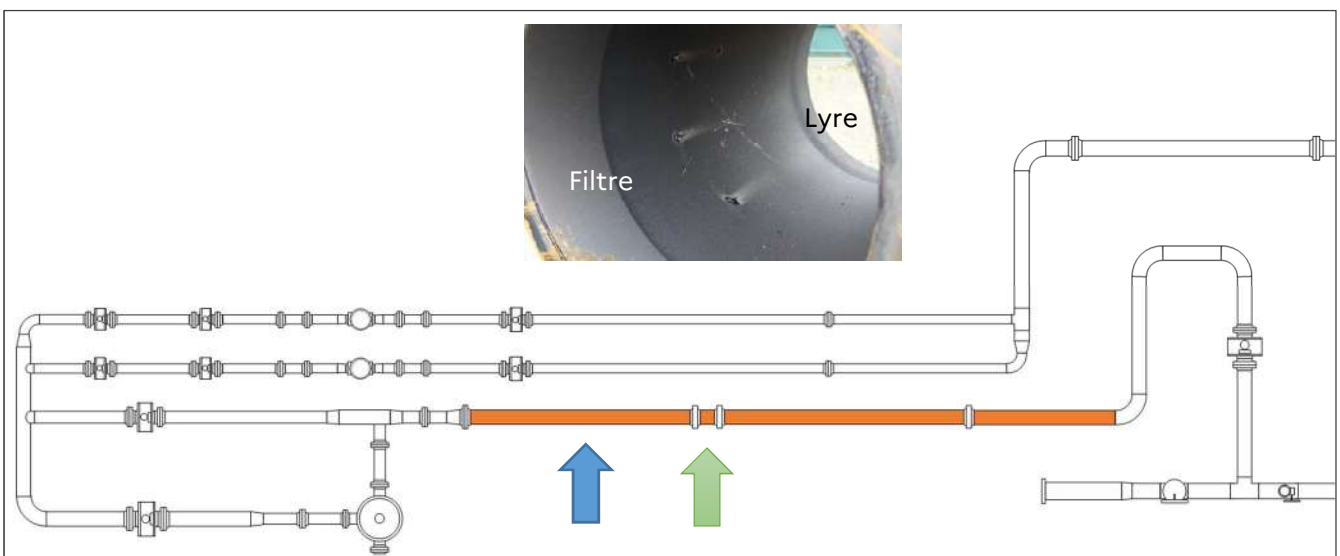


Figure 9 : Cartographie des suies établie par inspection visuelle – positionnements du doigt de gant TW77 (flèche bleue) et du compteur (flèche verte). Photo des trainées à l'intérieur du compteur.

L'endoscopie réalisée dans le filtre n'a pas retrouvé de suies dans sa partie inférieure. Par contre, des déformations et des éléments recouverts d'un dépôt noir ont été observés au second niveau. Ces observations laissent penser qu'au niveau du filtre, la flamme s'est propagée dans le sens du bas vers le haut.



Photographie 3 : lamelles métalliques du filtre expulsées par le souffle de l'explosion par la conduite supérieure

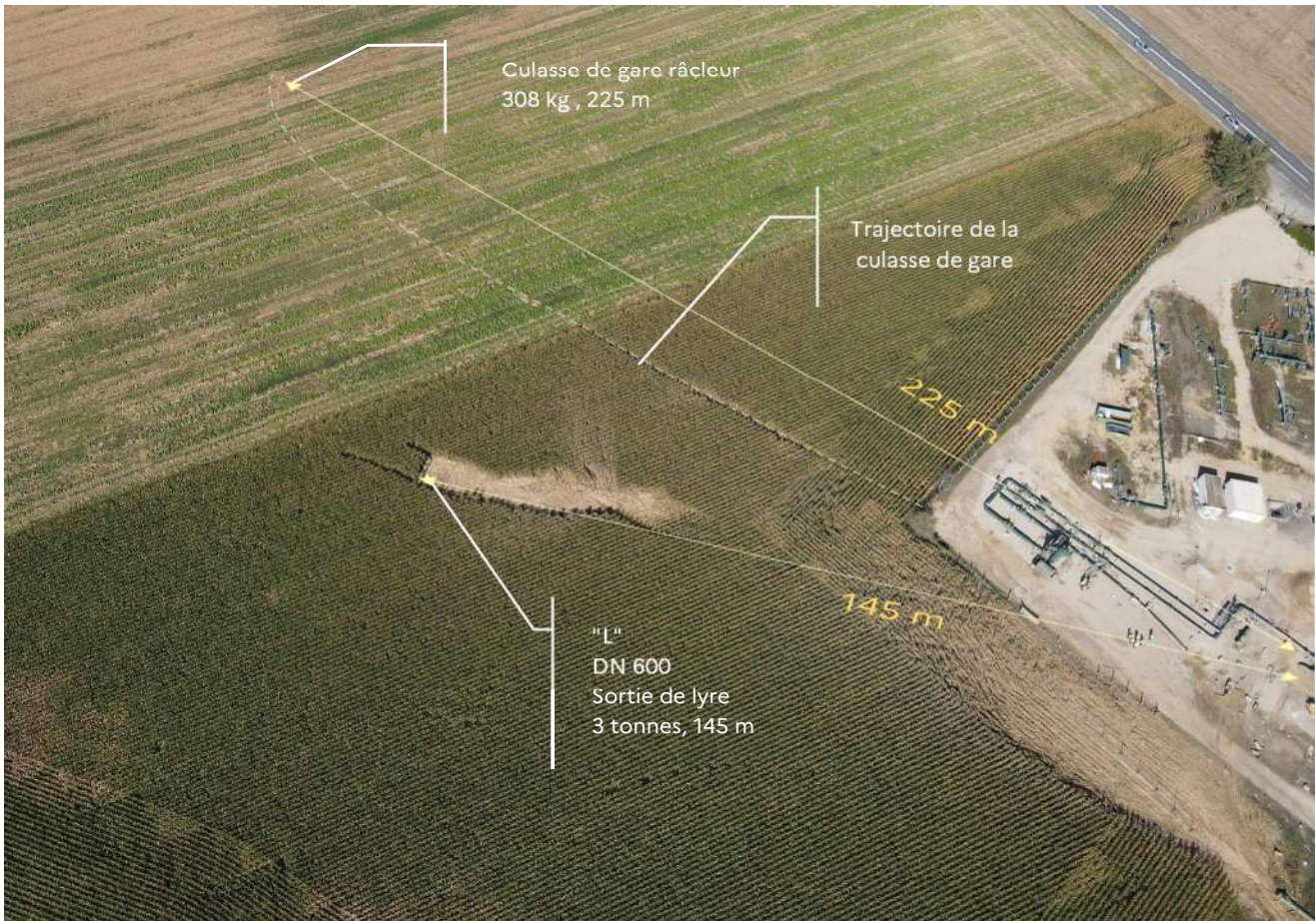


Photographie 4 : enchevêtrement des lamelles métalliques internes au filtre déformées par le souffle de l'explosion

V.6 Expertises métallurgiques sur les éléments de tuyauterie

Les analyses métallurgiques et dimensionnelles des éléments de tuyauteries collectés après l'accident ont été réalisées par les équipes de GRTgaz en concertation avec le BEA-RI.

L'expertise a débuté par une phase d'inventaire et de géo-référencement des différents débris qui a permis de disposer d'une vision très complète des projections générées par l'explosion. Près de 22 débris collectés à l'extérieur du site ont été étudiés. La pièce la plus lourde (DN 600 – sortie de lyre) pesait près de 3 tonnes et a été retrouvée à 145 m du lieu de l'explosion, alors que la pièce retrouvée le plus loin du site se trouvait à 530 m et pesait 66 kg.



Photographie 5 : Vue aérienne du positionnement de la sortie de lyre et de la culasse de la gare racleur après l'explosion

Au vu du nombre de pièces susceptibles d'être expertisées et à leurs dimensions très importantes, certaines ont été mises à l'abri sur site, et d'autres présentant un intérêt plus important d'investigations ont été transportées jusqu'aux locaux de la direction technique de GRTgaz à Compiègne.

L'ensemble des éléments retrouvés sur le site et à ses abords a été répertorié, positionné par rapport à sa position initiale, mesuré et pesé. Ce travail minutieux a permis de reconstituer l'ouvrage initial à partir de l'ensemble des débris.

Les déformations subies ont ainsi été quantifiées, et les faciès de rupture ont pu être analysés et caractérisés. Ces analyses donnent des indications sur les modes de rupture de la canalisation, les zones de déformation les plus importantes et les points d'impacts constatés.

Il ressort de ces expertises que :

- Aucun défaut structural n'a été constaté dans la composition des aciers constituant l'ouvrage ;
- Deux modes de rupture différents ont été observés : des zones de rupture brutale à caractère ductile par dépassement de charge admissible sous l'effet d'un phénomène de surpression, et des zones de rupture brutale à caractère ductile sous l'effet d'une sollicitation en flexion ;

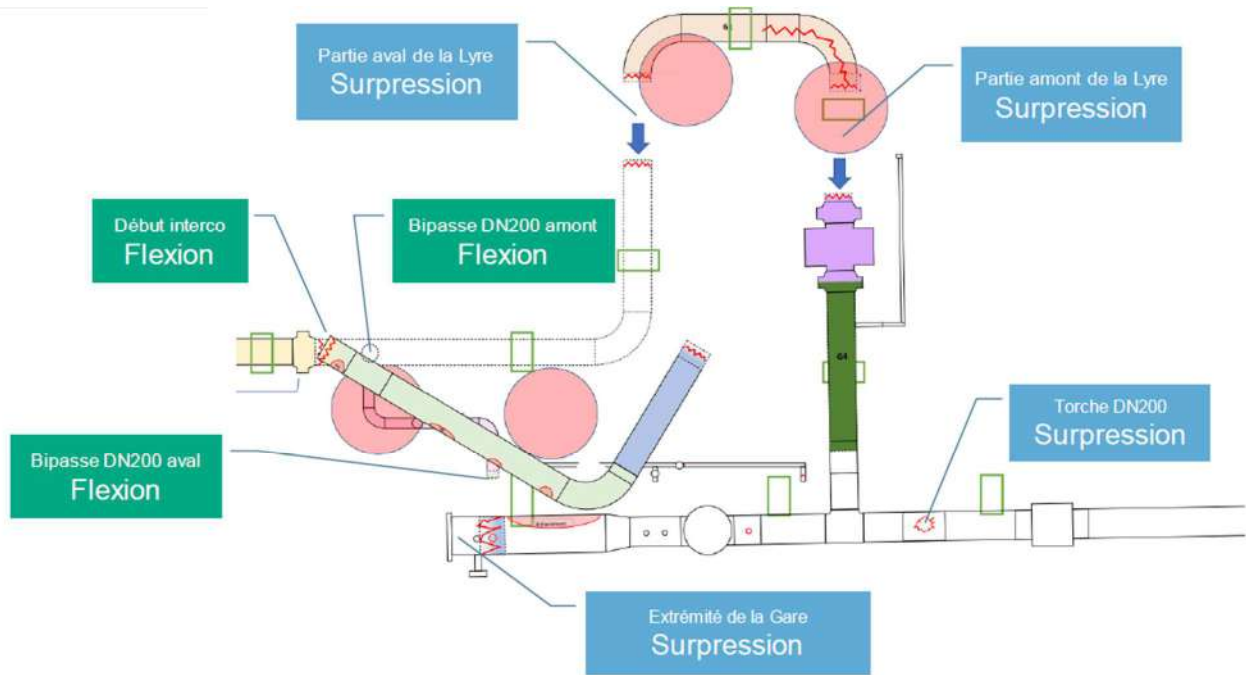


Figure 10 : Synthèse des types de rupture et mouvements des pièces (crédit GRTgaz)

- Les zones d'augmentation du périmètre de la tuyauterie les plus importantes ont été mesurées au niveau de la lyre et en amont de celle-ci.

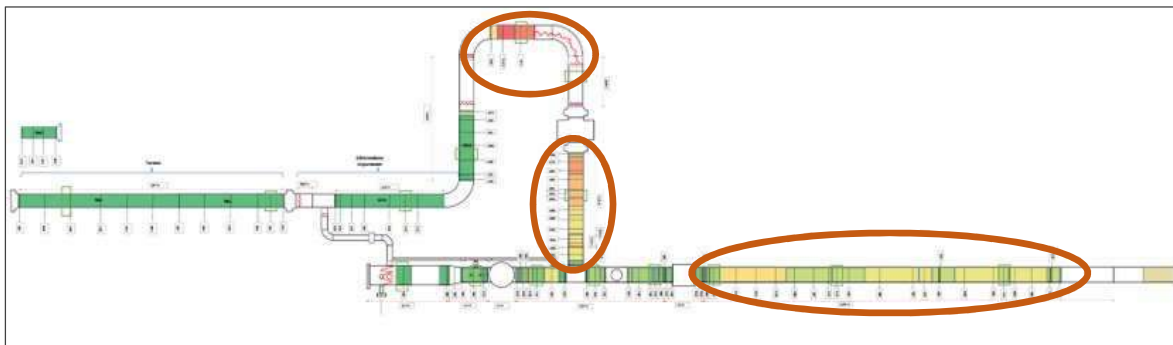


Figure 11 : En rouge, les zones où les augmentations de périmètres sont les plus importantes (crédit GRTgaz)

V.7 Expertises sur les matériels électriques

L'Ineris a expertisé les 32 équipements électriques (19 transmetteurs de pression, 6 transmetteurs de température, 2 positionneurs, 4 manomètres et une sonde transmetteur de température) qui étaient installés sur le nouveau pôle de régulation d'Étrez.

L'expertise technique a consisté à évaluer si l'un des équipements électriques pouvait être à l'origine de l'inflammation de l'ATEX présente dans la canalisation.

Les points suivants ont été examinés :

- L'adéquation du niveau de protection avec le zonage défini ;
- L'état général des équipements ;

- Leur fonctionnement ;
- Un contrôle visuel de l'électronique ;
- L'intégrité du mode de protection ;
- La présence d'indices indiquant une étincelle, un échauffement ou des traces de brûlures.

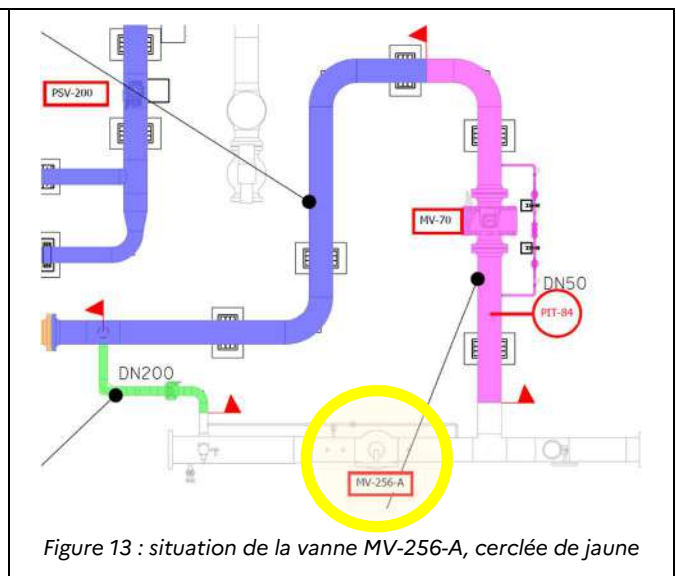
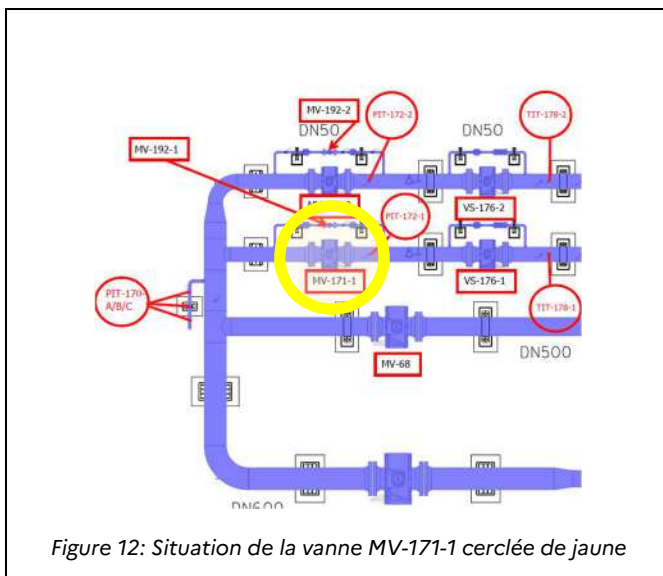
Seul un équipement a attiré l'attention de l'Ineris, ce qui a nécessité une expertise complémentaire sur le doigt de gant qui était associé à cet équipement. Mais l'examen du doigt de gant a confirmé son étanchéité et donc l'absence de lien possible avec l'inflammation. La synthèse de cette expertise figure dans le rapport Ineris joint en **annexe 4**.

Cette expertise n'a donc pas identifié de situation à risque.

V.8 Expertise des vannes MV-171-1 et MV-256-A

Lors des investigations, deux vannes ont été retrouvées, après explosion, dans des positions contraires aux consignes de manœuvre. Il s'agit de :

- La vanne MV-171-1 située au niveau de la rampe de comptage n°1 qui a été retrouvée en position partiellement fermée ; actionneur rompu et butée forcée. La vanne MV-171-2 située sur la branche parallèle n°2 n'a, par contre, pas bougé.
- La vanne MV-256-A positionnée en amont de la gare racleur retrouvée en position quasi-fermée avec l'indicateur de position en position ouverte et butée forcée.



Ces positions singulières ont motivé une expertise approfondie qui a été menée en présence du BEA-RI et de l'Ineris dans les locaux de GRTgaz à Compiègne.

L'examen de la vanne MV-171-1 a mis en évidence des déformations de l'arbre de transmission entre le motoréducteur et la sphère laissant supposer que cet arbre a subi un couple de torsion dû à l'immobilisation de l'axe en partie supérieure (par la vis sans fin qui le relie au moteur) et, en partie inférieure, aux forces générées par l'explosion qui ont eu pour effet de faire pivoter la sphère sur son axe (cf. **annexe 3**).

L'examen de la vanne MV-256-A a mis en évidence que des contraintes de même nature avaient entraîné la rupture de la transmission entre l'arbre et la sphère.

Les analyses réalisées sur ces deux vannes concluent au fait que les sphères de robinet ont tourné sous l'action du gradient de pression jusqu'à la rupture mécanique des éléments de transmission.

Si GRTgaz semble attribuer ces fermetures et ces détériorations aux seuls effets de l'explosion, le BEA-RI s'interroge sur les raisons qui expliqueraient que d'autres vannes, exposées à des effets de surpression plus forts ou équivalents, n'aient pas subi les mêmes effets (notamment MV-68, MV-70 et MV-171-2). Le BEA-RI émet donc l'hypothèse que ces vannes puissent n'avoir pas été parfaitement alignées avant l'explosion, mais aucun élément ne permet d'étayer cette hypothèse. Ces défauts d'alignement n'ont toutefois pas contribué à la survenue de l'accident mais pourraient avoir joué un rôle dans le mode de propagation de l'explosion.

V.9 Modélisations

Différentes modélisations ont été menées.

Sur la base des expertises métallurgiques réalisées, les déformations subies par les canalisations ont été modélisées par GRTgaz. Ces modélisations ont permis de réaliser une cartographie des efforts subis par les tubes en tout point de l'ouvrage.

Des travaux ont également été menés, conjointement par GRTgaz et l'Ineris, pour modéliser la formation de l'atmosphère explosive dans la canalisation et l'explosion.

Après avoir recalé les courbes de débit calculées sur les mesures enregistrées, GRTgaz a montré qu'une zone inflammable était présente depuis l'entrée de la canalisation sur le poste de régulation d'Etrez jusqu'aux bypass des vannes de sécurité, soit sur une centaine de mètres. Il est donc possible d'affirmer qu'une grande partie du poste se situait dans la plage d'inflammabilité, à l'exception de la branche du filtre où les concentrations en gaz auraient été moindres. Sur ce point, des incertitudes demeurent sur la composition des gaz dans le filtre en raison de son positionnement sur l'installation, de sa géométrie (volume important par rapport aux canalisations et design intérieur) et de la difficulté de tenir compte des phénomènes de diffusion et de convection à l'intérieur pendant l'heure ayant suivi l'injection de gaz. Néanmoins, ces résultats sont cohérents avec la cartographie des zones de dépôts des suies.

Des modélisations plus poussées visant à reconstituer le mécanisme accidentel ont été envisagées par l'Ineris. L'objectif était d'essayer de discriminer les différentes hypothèses d'inflammation en simulant au moyen du code CFD Openfoam des scénarios de propagation d'explosion en faisant varier la position du point d'inflammation, afin de déterminer les situations susceptibles de conduire à des niveaux de pression compatibles avec les dégâts observés. La démarche s'est heurtée à deux difficultés majeures : la géométrie de l'installation et les conditions initiales de l'explosion (pression initiale, gradient de pression, taille de l'installation). La simulation a été lancée mais les résultats obtenus n'étaient pas cohérents avec les dégâts observés sur le terrain :

- Pression dans la lyre trop faible par rapport aux dégâts observés ;
- Localisation du point d'inflammation identifié incohérent avec les observations terrains ;
- Pas d'effet de réflexion visible dans les coudes.

Devant ces difficultés, un maillage plus précis de l'installation a été testé mais les calculs n'ont rien donné ou simplement pas abouti.

De son côté, GRTgaz a complété ses travaux par des modélisations des effets de surpression. Les simulations réalisées ont confirmé la nécessité d'une pression de rupture très largement supérieure aux 21 bar mesurés avant l'accident, ce qui confirme l'hypothèse d'une explosion interne.

En parallèle de ces travaux, les images de la vidéo-surveillance du site voisin ont été analysées. Elles laissent apparaître deux flashes distincts successifs qui pourraient correspondre à des boules de feu, l'une en provenance de la gare puis une autre située au niveau de la lyre.

En ce qui concerne la modélisation de l'explosion interne, une démarche itérative a été adoptée pour comprendre l'impact des conditions initiales. De très nombreuses simulations ont été nécessaires pour tester l'influence de la géométrie du poste, de la pression initiale du mélange inflammable, du gradient de concentration de gaz, de la localisation du point d'inflammation, ainsi que des pressions de rupture des canalisations.

Les scénarios testés ne permettent pas de localiser de manière univoque le phénomène intervenu le jour de l'accident mais apportent un éclairage significatif sur plusieurs points :

- Une explosion interne a eu lieu, correspondant à un équivalent TNT de 5kg ;
- Les canalisations ont été soumises à un chargement dynamique de l'ordre de 50 à 100 bar ;
- Le mélange inflammable s'est propagé et homogénéisé au sein du filtre sous l'effet de la convection thermique et de la turbulence ;
- Il y a eu une très forte montée en pression sous l'effet de l'explosion interne ;
- Des boules de feu se sont formées à l'ouverture des tubes.

Les modélisations réalisées ne permettent pas de déterminer le scénario exact de l'accident mais, parmi tous les scénarios testés, le scénario d'une inflammation au 1er ou au 2ème étage du filtre causerait, d'après les simulations, des dégâts cohérents avec ceux constatés sur site.

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement

VI.1 Scénario

L'exploitation des informations relatives au déroulé de la séquence de mise en gaz ainsi que les modélisations réalisées a posteriori ont permis d'établir que la quasi-totalité de la station d'interconnexion d'Ars s'est retrouvée remplie d'un mélange air-gaz à une pression légèrement supérieure à 20 bar. Une singularité apparaît toutefois au niveau de la branche du filtre qui s'explique par la géométrie de l'équipement et par le design de l'installation qui conduit à remplir cette section par ses deux extrémités.

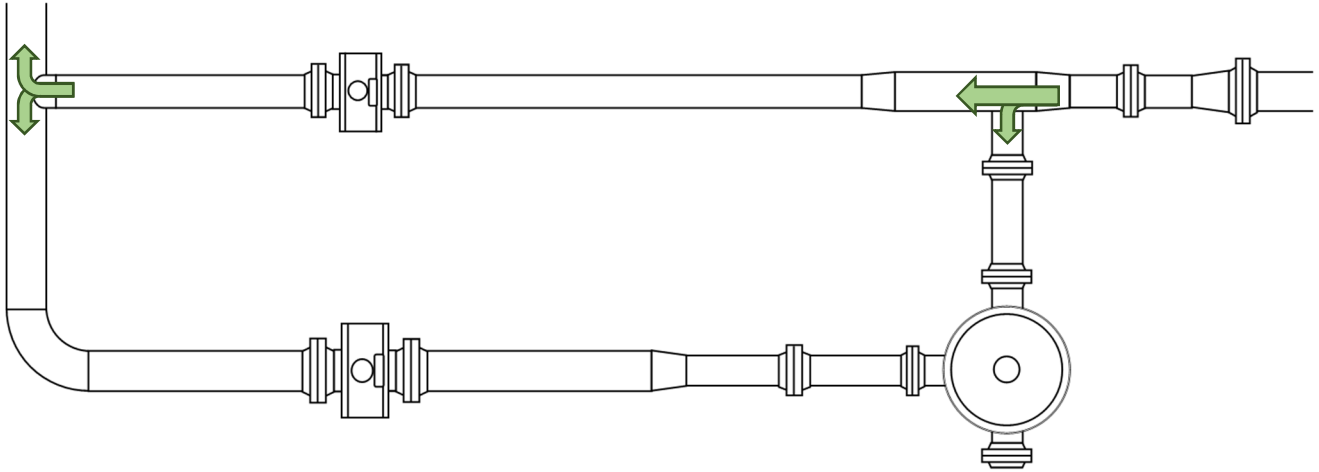


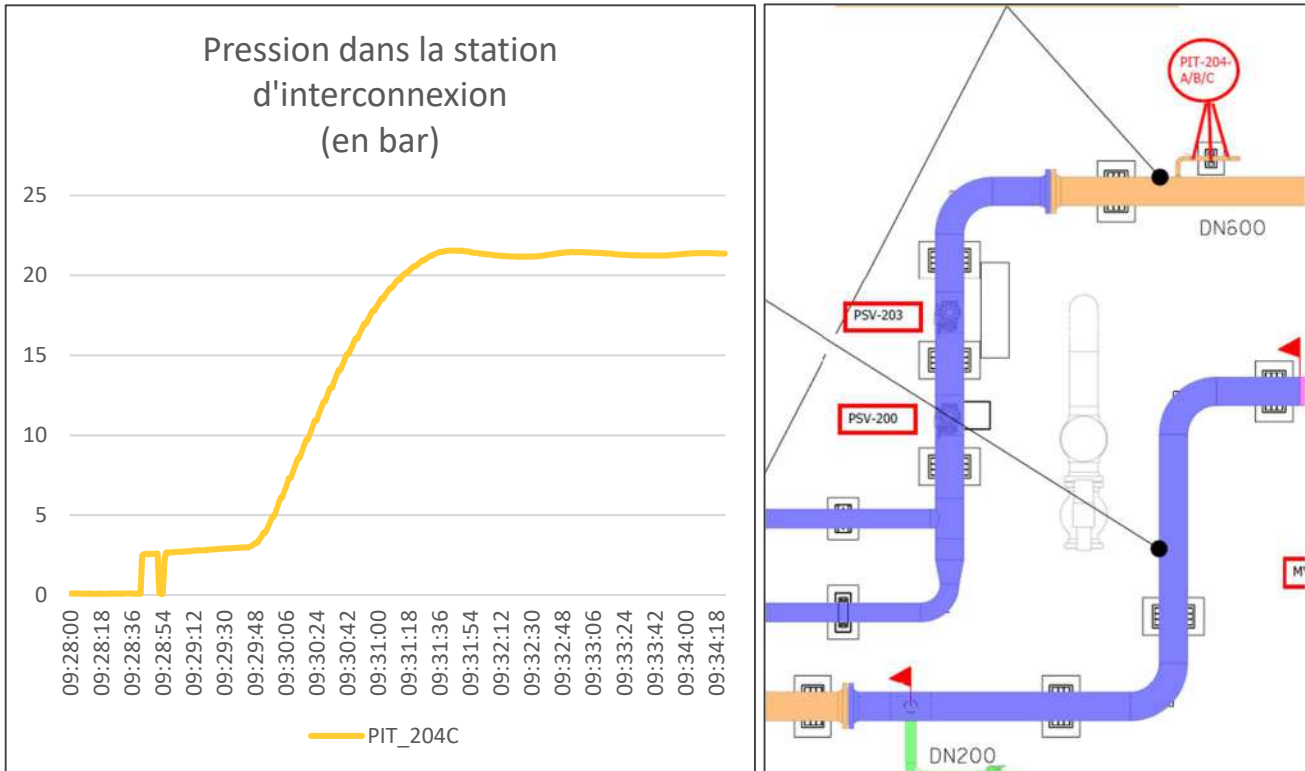
Figure 14 : mise en gaz de la branche du filtre (les flèches indiquent le sens d'écoulement du premier flux de gaz dans la station en aval de la lyre)

Ainsi les simulations réalisées par GRTgaz montrent que de l'air s'est retrouvé piégé dans cette branche. Elles montrent aussi que sa température s'est élevée à près de 100°C et que la teneur en gaz dans le filtre est restée très faible et inférieure à la LIE. Il reste néanmoins que, compte-tenu du design complexe de l'intérieur du filtre (composé de deux étages), des phénomènes de diffusion (marginiaux) et de convection (plus important en raison du gradient de température) ont eu lieu. Ce résultat a toutefois une marge d'incertitude assez forte, et il ne peut être exclu que la LIE ait pu être dépassée. On peut aussi supposer que le démarrage d'une réaction exothermique ait entraîné un mouvement de convection favorisant le mélange de l'air et du gaz.

À partir de 9h30, l'ensemble de la station d'Ars était donc dans une situation d'exploitation à risque élevé. En effet, à un peu plus de 20 bar, la plage d'inflammabilité du gaz naturel est plus importante qu'à pression atmosphérique, sa limite supérieure double. Par ailleurs, à cette pression, l'énergie minimale nécessaire à l'inflammation du mélange air-gaz naturel est très inférieure à celle de la pression atmosphérique. Les protections apportées par les matériels certifiés ATEX peuvent même s'avérer insuffisantes⁷ dans cette configuration de mélange air-gaz et de pression très spécifique. À aucun

⁷ Les modes de protection i (sécurité intrinsèque) et d (antidéflagrante) des matériels ATEX reposent respectivement sur l'EMI (l'énergie minimale d'inflammation) et l'IEMS (l'interstice expérimental maximal de sécurité) qui sont beaucoup plus faibles à 20 bar qu'à Patm (Rapport Ineris Annexe IV p 18/66), Cette information a donné lieu à une note d'information du BEA-RI en date du 1^{er} juin 2022 - https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/note_info_grtgazvdf_cle78452f.pdf

moment, les opérateurs présents n'ont eu conscience de ce risque malgré les informations données par les catharomètres. Ils n'ont pas modifié leurs pratiques.



Graphique 3 : Pression interne de la canalisation en sortie du pôle de régulation d'Etrez (bar) (crédit GRTgaz)

L'ensemble des investigations, analyses et modélisations menées, les entretiens et les constats dressés sur site nous ont conduit à examiner et écarter un certain nombre d'hypothèses d'inflammation :

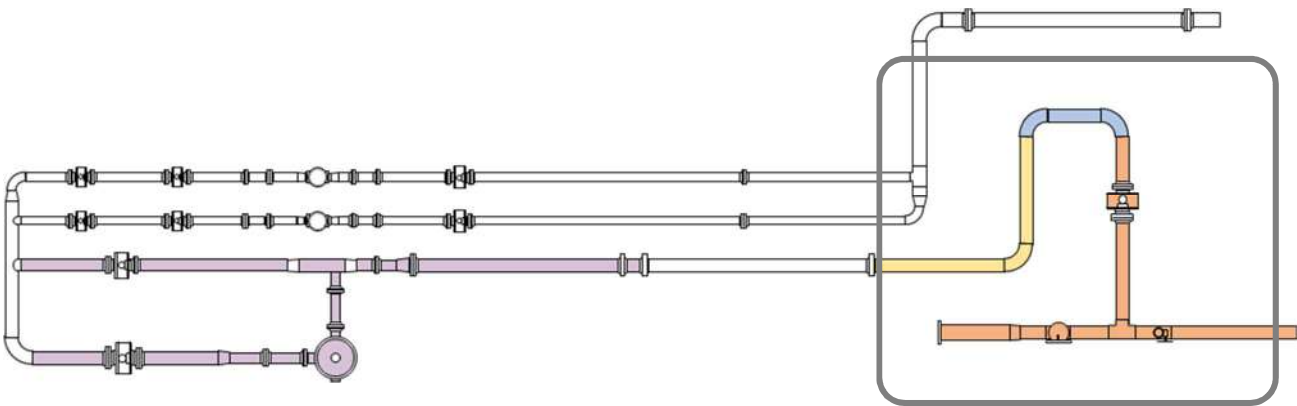
- Une cause externe à l'installation ou un acte d'origine malveillante en raison de la présence et surveillance permanente d'opérateurs ;
- L'influence de travaux par points chauds. Les dernières interventions dataient de plusieurs jours avant la mise en gaz et, dans une telle hypothèse, la station ne serait pas restée remplie d'un mélange explosif pendant près d'une heure ;
- La présence de corps étrangers (outils, pierres, ...) dont le mouvement lors de la mise en gaz aurait provoqué, par friction ou choc, des étincelles. Ici, nous retiendrons comme principal argument pour écarter cette hypothèse le fait que les mouvements de gaz avaient été stoppés depuis un peu plus d'une heure au moment de l'explosion ;
- Un arc dû à un courant de décharge électrostatique provoqué par exemple par l'intervention d'un opérateur (telle qu'une mesure de concentration à l'évent). L'ensemble des opérateurs avait été regroupé dans le bungalow et aucune opération de ce type n'était en cours ;
- L'origine électrique, les tests menés par l'Ineris sur les équipements considérés comme à risque ont montré qu'aucun des équipements testés ne pouvait être mis en cause.

Ce faisant, une dernière hypothèse ne peut être exclue de manière évidente : l'inflammation de poussières pyrophoriques⁸ présentes dans la station. Ces poussières qui peuvent se former et se déposer en petites quantités dans certaines conditions au sein des ouvrages transportant du gaz, présentent la particularité de s'oxyder très facilement. Dans la mesure où la quasi-totalité de l'installation a été refaite à neuf, ces poussières auraient soit été emportées par l'écoulement du gaz depuis la canalisation en provenance de Châtillon-sur-Chalaronne, soit été présentes dans le filtre qui n'a pas été remplacé. Cette hypothèse est développée dans le paragraphe suivant (VI.2).

Concernant la séquence d'explosion, les modélisations réalisées par GRTgaz et les constatations de terrain nous amènent à la conclusion que la séquence a été initiée en un point de la canalisation suffisamment éloigné de la lyre (zone violette) pour que le front de flamme ait pu se propager dans la canalisation en accélérant au point de générer des pressions internes susceptibles de causer la rupture des tubes au niveau de la lyre. Nous noterons que cette zone est compatible avec l'hypothèse d'une ignition de poussières pyrophoriques dans le filtre.

La pression générée par l'explosion augmentée par des facteurs aggravants au niveau des coudes de la lyre⁹ fait céder la canalisation aux points P1 et P2 et au niveau de la gare racleur (figure 14). La lyre est alors propulsée vers le nord.

Le "L" de la tuyauterie « côté station » (en jaune) est propulsé dans le sens opposé tout comme la tuyauterie « côté Etrez » (en orange). Le "L" vient heurter la gare racleur au point P3. Sous le double effet des efforts exercés en P2 et en P3, la tuyauterie côté Etrez pivote de 90° vers le sud autour de son point de sortie de terre (flèche A). Le "L" est quant à lui propulsé à près de 300 m au sud-ouest du site.



⁸ Un solide pyrophorique est une substance ou un mélange solide qui, même en petites quantités, est susceptible de s'enflammer en moins de cinq minutes lorsqu'elle/il entre au contact de l'air (définition issue du règlement CE n°1272/2008 du 16 décembre 2008 - règlement CLP). Leur présence dans les installations de transport de gaz est possible notamment au niveau des lieux de stockage souterrain. (Accident n°45217 dans la base Aria)

⁹ Le rapport de l'Ineris sur l'accident figurant en annexe 4 mentionne deux facteurs aggravants liés à la géométrie de la canalisation :

- Une zone de stagnation de l'écoulement pouvant se former entre la flamme et le coude et induire une pré-compression locale.
- La réflexion de l'onde de choc dans le coude pouvant induire, pour une pression d'explosion de 170 bar, un coefficient de réflexion de l'ordre de 5, soit une pression réfléchie dans les coudes qui pourrait atteindre plus de 700 bar.

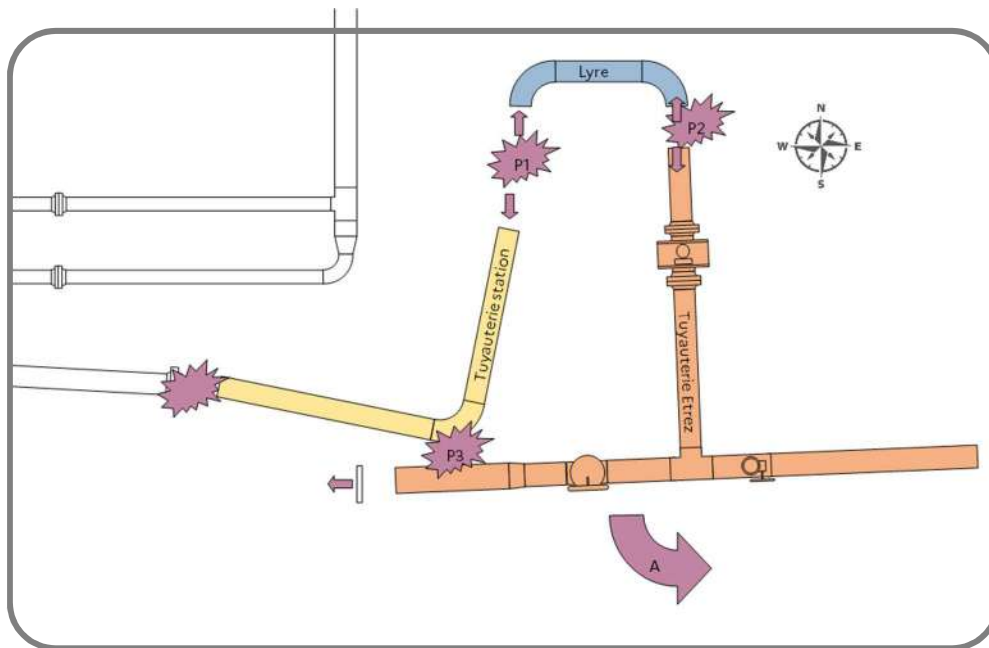


Figure 15 : description de la séquence d'explosion de la canalisation

La canalisation d'Etrez ayant pivoté de 90° vers le sud (flèche A) continue de se vider pendant encore quelques minutes (le cône de rejet de gaz est bien visible sur la photographie 6 ci-dessous) libérant ainsi la totalité du gaz présent dans la canalisation.

Plusieurs autres débris, dont certains pesant plusieurs tonnes (comme la lyre), sont alors projetés au sein du site et dans ses environs mais sans avoir de conséquences humaines. Comme le confirmera le diagnostic diligenté par GRTgaz à la demande de la DREAL, les installations des pôles Mions et Vindecy n'auront subi aucun dégât ni du fait des projections ni du fait de l'onde de choc générées par l'explosion. Hormis la destruction du pôle Etrez qui venait d'être refait à neuf, le bilan des dégâts générés par l'explosion reste par chance très limité.

VI.2 Hypothèse retenue pour la source d'ignition

Comme cela a été évoqué précédemment, la présence de poussières pyrophoriques dans l'installation est probable et peut s'expliquer de deux manières : soit elles ont été transportées par le flux de gaz au moment de la mise en gaz, soit elles étaient présentes dans le filtre.

Concernant la première explication, trop de conditions doivent être réunies pour rendre cette piste suffisamment probable :

- Les poussières doivent provenir de l'amont de la vanne de Châtillon-sur-Chalaronne (car l'aval de la canalisation est resté en air pendant plusieurs semaines) ;
- Elles doivent avoir été entraînées sur 15 km sans être mises en contact avec l'air ;
- Elles doivent avoir été déposées suffisamment loin dans le pôle pour être localisées dans la zone préférentielle de l'inflammation ;
- Elles doivent avoir été déposées dans un endroit où à l'origine régnait une atmosphère gaz et où s'est constituée, une heure plus tard une atmosphère constituée d'un mélange d'air et de gaz.

Ces conditions apparaissent suffisamment peu probables pour que le BEA-RI écarte cette première hypothèse.

La deuxième explication émise par GRTgaz, et privilégiée par le BEA-RI est que d'éventuels composés pyrophoriques étaient présents, avant les travaux, dans le filtre, et ont été préservés de l'oxydation pendant la durée des travaux. Ces poussières ont pu être conservées sous une couche de produit huileux. Cette hypothèse apparaît possible, car la fonction primaire du filtre déshuileur est de condenser les hydrocarbures lourds présents dans le gaz, ces derniers étant relativement huileux. En chimie organique, certains composés instables et réactifs en présence d'air (tels que le sodium métallique par exemple) sont simplement conservés immergés dans une huile minérale faisant parfaitement écran à l'air et prévenant ces derniers de l'oxydation.

Ce faisant, plusieurs modes de mise en contact peuvent être avancés.

Lors de la remise en gaz, la pression ayant augmenté brutalement aux environs de 20 bar, il est hautement probable, si l'air présent dans la canalisation contient de l'humidité, que des quantités significatives d'eau se soient condensées dans le filtre déshuileur. À 50% d'humidité, 12°C et pression atmosphérique (i.e. hypothèse sur la composition de l'air avant la remise en pression), chaque m³ d'air contient environ 0,55g d'eau. Si la pression augmente brutalement à 20 bar, chaque m³ d'air ne peut plus contenir que 0,06g d'eau à saturation. Il y a donc condensation (selon ces hypothèses) d'environ 490mg d'eau par m³ d'air dans la canalisation. Si cette eau se condense dans le filtre, les quantités peuvent être significatives (volume estimé du filtre : 4 m x diam 1,8 m = 10 m³, multiplié par 20 bar x 0,5g cela donne 100g d'eau condensée dans le filtre).

L'eau condensée étant plus dense que les hydrocarbures présents dans le filtre, elle peut traverser aisément la couche « protectrice » d'hydrocarbures pour se retrouver directement au contact d'éventuels composés pyrophoriques et la réaction exothermique d'oxydation pourrait se produire avec une cinétique très rapide (en raison de la pression partielle importante en oxygène dans le filtre qui est encore essentiellement en air).

Cependant, bien que l'eau favorise la cinétique d'oxydation, son importante enthalpie de vaporisation limiterait une montée en température trop rapide (il serait nécessaire de vaporiser toute l'eau présente au niveau des composés pyrophoriques pour que la température puisse atteindre celle d'auto-inflammation du mélange air/gaz). Une fois l'eau évaporée, la température continuerait d'augmenter jusqu'à « pyrolyser » les phases huileuses en présence dans le filtre (ce qui pourrait être cohérent avec la présence de « suies » à proximité du filtre). Au bout d'un certain temps, il est possible que la température dépasse la température d'auto-inflammation du mélange air/gaz.

Ce phénomène pourrait expliquer le délai d'une heure entre la mise en pression et l'inflammation du gaz.

Un autre phénomène, qui peut s'être combiné avec le précédent, pourrait avoir conduit à l'inflammation du mélange air/gaz par atteinte de la température d'auto-inflammation. En effet, lors de la remise en gaz/pression, il est possible que la couche d'hydrocarbures en surface ait été déplacée par un courant rapide de gaz lié à cette montée en pression et aussi de température (du fait de la compression de l'air), exposant alors ces composés réactifs à une oxydation sous importante pression partielle d'oxygène faisant progressivement grimper la température au niveau du filtre.

Ces différents mécanismes expliquent l'ignition retardée du mélange à l'intérieur de la canalisation.



Photographie 6 : vue aérienne du site suite à l'explosion et description sommaire des traces principales de l'explosion

VI.3 Facteurs contributifs

Le BEA-RI ne retient pas ces éléments comme des causes de l'explosion mais comme des éléments qui, sans être déterminants, ont pu jouer un rôle positif ou négatif dans la survenance ou dans l'aggravation de l'accident :

- **L'absence de contre-expertise interne**

La consigne de travaux et de manœuvre (CTM) est prévue pour être renseignée, y compris pour un chantier de l'importance de celui d'Ars, uniquement par un opérateur et son responsable hiérarchique, qui peuvent ne pas avoir d'expérience de la mise en gaz d'installations aussi complexes, ce qui était le cas ici.

L'opérateur en charge de la mise en gaz de l'ouvrage et son supérieur hiérarchique n'avaient encore jamais organisé et supervisé ce type d'opérations sur une installation aussi complexe. Ils n'avaient l'expérience que d'opérations plus simples consistant à remettre en gaz des tronçons linéaires de canalisations ou des portions d'interconnexion très peu ramifiées.

La validation de la CTM par un service ou un référent spécialisé dans ce type d'opérations aurait pu permettre d'identifier une confusion dans l'application du MOP-0032, de constater que les équipements de manœuvres et de mesures rendaient complexes cette mise en gaz, de guider les opérateurs vers le choix d'une technique de mise en gaz plus appropriée et de les appuyer dans la mise en œuvre de la procédure.

En parallèle, la préparation et la mise en œuvre de cette opération en lien avec les équipes ayant eu en charge la reconstruction du site et ayant donc une parfaite connaissance des installations rénovées auraient peut-être présenté un intérêt.

- **Une procédure à préciser**

Les modalités pratiques de mise en gaz puis en pression d'un ouvrage sont définies par le mode opératoire MOP-0032.

Ce mode opératoire identifie le cas des installations simples et complexes, et deux modes de mise en gaz : la méthode par saturation (réalisation de plusieurs cycles de montée en pression à 2 bar), et la méthode par balayage. Le document reste en revanche très général dans ses recommandations sans qu'il soit évident de comprendre les points qui nécessitent une vigilance particulière en raison du niveau de complexité de l'installation à mettre en service. En outre, dans le cas des installations complexes, il est peu prescriptif sur la pression maximale à ne pas dépasser, les moyens à mobiliser en terme d'organes de manœuvre (type de robinet à manœuvrer) ou en terme d'instrumentation (nombre d'événements, nombre de points de mesure, ...).

- **Le mode opératoire de mise en gaz**

Le MOP-0032 renvoie les modalités pratiques de mise en gaz au document dénommé "consigne de travaux et manœuvres" (CTM). Ce document de près de 18 pages consacre une quinzaine de lignes aux manœuvres à réaliser lors de la mise en gaz. Dans le cas de l'événement, il est fait mention de "balayage 3 x 2 bar" ce qui ne correspond à aucune des préconisations du MOP-0032. En effet, la notion de balayage fait appel à une technique qui n'est pas recommandée par le mode opératoire pour cette typologie d'opération, même si la notion de 3x2 bar est quant à elle bien préconisée.

Pendant les entretiens qui ont suivi l'accident, GRTgaz a confirmé que la méthode retenue n'était pas un choix habituel pour une installation de ce type, non seulement car l'ouvrage comptait plusieurs branches mais aussi car le linéaire de canalisation avant l'interconnexion était important.

La lecture de la consigne de travaux laisse apparaître une confusion entre les méthodes de mise en gaz préconisées par le MOP-0032, que la formalisation succincte de la préparation de l'opération de mise en gaz et l'absence de contre-expertise n'ont pas permis de détecter et de corriger.

- **La méconnaissance du mode opératoire**

Les opérateurs ont indiqué avoir découvert le mode opératoire MOP-0032 après l'accident, ils en connaissaient le nom mais ne l'avaient jamais consulté.

- **Le manque de formation sur cette opération de mise en gaz**

Le MOP-0032 est en vigueur depuis 2017 et était applicable au moment de l'accident d'Ars dans sa troisième révision. Il ressort des échanges et des réunions tenues avec GRTgaz que le personnel GRTgaz est informé de la publication des nouveaux modes opératoires lors des réunions d'équipes mais n'est pas spécifiquement formé à ce type d'opération. Aucune formation spécifique n'existe sur la mise en œuvre de cette procédure.

- **Conservation du filtre en l'état**

L'installation avait été complètement rénovée, seul le filtre déshuileur et la gare racleur avaient été conservés en l'état. Le filtre avait été vidangé mais pas nettoyé.

- **Un pilotage imprécis de la montée en pression**

Les opérateurs devaient procéder à 3 cycles de montée en pression à 2 bar au moyen d'une vanne (et non d'un robinet de laminage¹⁰) située à 15 km et d'un seul capteur de pression placé en sortie du pôle d'Etrez, en aval des vannes de sécurité maintenues fermées dans l'attente de leur mise en service par le fabricant. L'accumulation de contraintes techniques, non approfondies lors de la préparation de l'opération, telles que la longueur de réseau, l'absence de capteurs et de mesure de débit, le maintien de l'évent ouvert et la réduction de section induite par la fermeture des deux vannes, a notablement compliqué le pilotage de la montée en pression.

- **La méconnaissance de l'impact de la pression sur le risque lié à un mélange air-gaz**

La présence temporaire d'un mélange air-gaz au moment de la mise en service d'une installation est une situation inévitable à laquelle les personnels de GRTgaz sont régulièrement confrontés. En revanche, il ressort des témoignages recueillis après l'accident que les opérateurs n'avaient jamais été sensibilisés au risque accru d'un mélange air-gaz à haute pression et aux conséquences d'une potentielle explosion interne dans ces conditions. Une synthèse bibliographique sur l'évolution des propriétés d'inflammabilité du gaz naturel en fonction de l'augmentation de la pression figure dans le rapport de l'Ineris joint en **annexe 4**.

¹⁰ Comme prévu par les préconisations du MOP-0032

Les opérateurs ont également sous-estimé la quantité d'air résiduel dans la canalisation en considérant que la montée en pression de la canalisation impliquait la présence quasi-exclusive de gaz.

Pour autant, les modélisations réalisées a posteriori laisse supposer que la totalité de la station était dans le domaine d'explosivité. À aucun moment, malgré les informations données par le catharomètre et relevées par les opérateurs, la situation n'a donc été jugée préoccupante, au point que les opérateurs ont poursuivi les opérations de contrôle sans considérer que leur sécurité était menacée et qu'il soit nécessaire de ramener la pression aux 2 bar attendus.

- **La consigne d'évacuation de chantier dans l'attente du contrôle des robinets de purge**

Une fois la pression stabilisée à 21 bar, les deux opérateurs GRTgaz ont demandé aux salariés des entreprises sous-traitantes de libérer le chantier le temps de procéder aux purges des robinets et au contrôle des soudures et des brides. Cette consigne de sécurité a permis de limiter le nombre de personnes présentes aux abords des canalisations et, par conséquent, les conséquences humaines de cette explosion.

VII. Enseignements de sécurité

VII.1 Les risques liés à la mise en gaz

L'accident d'Ars-sur-Formans met en évidence comment une opération dont la complexité a été fortement sous-estimée peut, en cas d'écart de procédure, conduire à une situation de risque important en raison, d'une part, des conséquences que peut avoir l'explosion d'un mélange air-gaz à 21 bar et, d'autre part, de l'augmentation de la plage d'inflammabilité du gaz naturel (la limite supérieure d'inflammabilité double et l'énergie minimale nécessaire à l'inflammation du mélange air-gaz naturel est très inférieure à celle de la pression atmosphérique). L'étude bibliographique menée par l'Ineris à la demande du BEA a confirmé cette propriété du gaz à haute pression (cf. tableau 3 du rapport de l'Ineris figurant en **annexe 4**). Ces situations doivent donc être évitées, et le cas échéant, des procédures spécifiques doivent être mises en place pour sensibiliser les opérateurs et réduire le risque d'accident. Cet enseignement de sécurité a donné lieu à une note d'information¹¹ en date du 1^{er} juin 2022 jointe en **annexe 1** du présent rapport.

VII.2 Présence de matières pyrophoriques

La possibilité d'échauffement de matières pyrophoriques, notamment dans le cas de matières collectées lors d'opérations de pistonnage est identifiée au sein de la communauté gazière, il semble important d'en tenir compte également lors de la remise en service d'ouvrages ou d'équipements existants.

VII.3 La diffusion du prescrit

La formation, et le maintien de compétences sont des enjeux majeurs dans l'exploitation d'installations à risque. L'accident d'Ars-sur-Formans illustre le fait que l'existence d'une procédure écrite n'est pas suffisante pour pouvoir considérer que les opérateurs se sont appropriés cette dernière et quelle est appliquée sur le terrain.

VII.4 La mise en sécurité de l'installation après l'accident

Lorsque les services de secours localisent le lieu de l'explosion, ils n'ont pas d'information sur la gravité de l'événement et sur l'étendue du périmètre de protection à mettre en œuvre. De son côté, l'exploitant ne dispose d'aucune garantie sur le fait que les installations encore en service n'ont pas été endommagées. Le périmètre de protection sera donc défini de manière empirique, en cohérence avec les distances définies dans le PSI, puis diminué progressivement au fil du temps sur la base de mesures de concentration de gaz.

Enfin, en terme de formalisation, le plan de sécurité et d'intervention prévu à l'article R. 554-47 du code de l'environnement n'a pas été explicitement déclenché alors que le dispositif est expressément conçu pour faire face à de telles situations.

Une bonne coordination entre les services de secours locaux et l'exploitant est toujours bénéfique à travers le déclenchement d'un plan de secours.

¹¹ https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/note_info_grtgazvdif_cle78452f.pdf

VII.5 Un précédent en matière d'étude de dangers des sites complexes

L'accident d'Ars démontre que, dans des circonstances particulières, l'explosion interne au sein d'une canalisation de transport de gaz est un scénario d'accident possible qui peut produire des effets de surpression et des projections pouvant avoir des impacts à l'extérieur du site. En outre, il met également en lumière que les projections sont de tailles et de portées suffisantes pour engendrer, par effets dominos, des sur-accidents sur le reste des installations. Ce retour d'expérience (possibilité d'un phénomène d'explosion interne et impacts potentiels) devrait être pris en compte dans les études de dangers des sites comparables.

VII.6 Résistance des canalisations en régime dynamique

En régime dynamique, la résistance d'une canalisation peut être plus faible que sa pression de rupture en régime statique. En première approche, on peut considérer que la résistance à la rupture en dynamique peut être 2 fois moins importante que celle en statique, qui est généralement prise en compte dans la phase de conception de l'ouvrage.

VII.7 Majoration de la pression d'explosion

La pression maximale d'explosion pour une atmosphère explosive initialement à 21 bar est de l'ordre de 170 à 180 bar¹². Cependant, la géométrie particulière d'un ouvrage (lyre, coudes) peut induire une augmentation locale de la pression. Une zone de stagnation de l'écoulement peut se former entre la flamme et le coude et induire une pré-compression locale. La réflexion de l'onde de choc dans le coude peut induire un coefficient de réflexion de l'ordre de 5, soit une pression réfléchie dans les coudes qui pourrait atteindre plus de 700 bar¹³. La réduction de la pression de mise en gaz aurait permis de réduire de manière significative la pression d'explosion.

VII.8 Limitation des pressions

Nonobstant toutes les mesures qui pourront être mises en œuvre pour éviter la survenue d'une explosion, la pression dans la canalisation au moment du remplissage est un facteur aggravant des effets d'une potentielle explosion. Il convient donc de la limiter au maximum. L'expérimentation consistant à procéder à une mise en gaz à 6 bar a été suspendue à la suite de l'accident d'ARS. Cette expérimentation, si elle doit être reprise, doit tenir compte des enseignements de sécurité tirés de l'accident d'ARS notamment en matière de niveau de pressions générées.

¹² Tableau 3 du rapport Ineris , Lijuan Huang et al.: Experimental assessment on the explosion pressure of CH₄-Air mixtures at flammability limits under high pressure and temperature conditions, Fuel 299 (2021) 120868

¹³ Enfin, on ne peut pas tout à fait exclure, car c'est théoriquement possible, une transition à la détonation, et dans ce cas, la pression de détonation pourrait atteindre 20 à 30 fois la pression initiale, donc bien plus que la résistance des canalisations .[cf. Rapport Ineris partie 3.2.2]

VII.9 Conception des installations

Les opérations de mise en gaz d'installations complexes présentent des risques importants. Ces installations doivent être conçues pour que ces opérations puissent se dérouler dans les meilleures conditions (présence ou possibilité d'instrumentation, présence de sectionnements, robinets adaptés pour l'injection du gaz).

Il serait intéressant d'étudier la possibilité de munir les installations d'équipements qui permettraient de s'assurer qu'aucune explosion interne à faible pression et sans dommages apparents aux installations ne puisse survenir sans que les opérateurs ne s'en rendent compte.

VIII. Recommandations de sécurité à destination de l'exploitant

VIII.1 Sensibilité de la plage d'inflammabilité du gaz à la pression

Le BEA-RI recommande que le retour d'expérience de l'accident d'Ars-sur-Formans soit pris en compte et partagé avec les autres opérateurs gaziers.

VIII.2 Organisation et préparation des opérations de mise en gaz

Le BEA-RI recommande à l'exploitant, dans le cadre de l'organisation et de la préparation des opérations de mise en gaz :

- De sensibiliser les opérateurs au risque ATEX lors des phases de mise en gaz ;
- De définir la typologie des ouvrages qui devront faire l'objet d'un inertage à l'azote ;
- De préciser la conduite à tenir et la méthodologie à appliquer en fonction du type d'installation (complexité, longueur, présence de bras morts) ;
- D'enrichir le mode opératoire (MOP-0032), notamment sur les exigences minimales à respecter en matière de pression à ne pas dépasser, d'instrumentation et de manœuvre (positionnement des sectionnements à utiliser, type de robinet à utiliser pour l'injection de gaz, nombre de capteurs à installer pour le suivi de l'opération, paramètres à contrôler) ainsi que de conduite à tenir en cas de dépassement des paliers de montée en pression) ;
- De s'assurer de la bonne déclinaison de la procédure (connaissance et application) sur le terrain ;
- De s'assurer que les opérateurs susceptibles de superviser, d'organiser et de mettre en œuvre ce type de manœuvre soient formés à ce type d'opération ;
- De mettre en place une organisation spécifique chargée de préparer et de suivre les opérations de mise en gaz de sites complexes.

VIII.3 Contrôle des pressions dans le cadre des opérations de mise en gaz

Pour définir un critère acceptable de pression à ne pas dépasser dans les procédures opérationnelles de mise en gaz, le BEA-RI recommande à GRTgaz d'étudier les phénomènes d'explosion de conduites et la tenue des canalisations à des chargements dynamiques.

VIII.4 Maintien en service et suivi des filtres déshuileurs

Le BEA-RI recommande à l'exploitant, en amont des opérations de rénovation, d'évaluer l'intérêt de maintenir un filtre déshuileur sur ce type d'installation, de ré-étudier la périodicité et les modalités des opérations de vidange, de nettoyage et de remplacement des équipements maintenus et de veiller avant chaque opération de mise en gaz au nettoyage de ces équipements.

VIII.5 Mise en sécurité des installations après un accident

La mise en sécurité des installations situées à proximité du lieu de l'explosion a consisté, dans les premiers instants, à abaisser la pression d'exploitation à 50 bar sans qu'aucune information ne soit disponible sur les dégâts qu'elles avaient subis et sans qu'aucune assurance ne puisse être donnée quant à leur aptitude à tenir à cette pression.

Ce constat conduit le BEA-RI à recommander à GRTgaz de réexaminer sa doctrine de mise en sécurité des installations en cas d'accident majeur afin de s'assurer qu'elle permet bien de garantir la sécurité des primo-intervenants.

VIII.6 Plan de sécurité et d'intervention

La chronologie des événements montre que ce sont les services de secours qui ont contacté le CSR¹⁴ lors de la survenue de l'accident, ce qui va d'une certaine manière à l'encontre des schémas d'alerte communément établis. Cette situation a laissé chez les primo-intervenants et les services de l'État le sentiment d'un déficit d'information. Ces derniers ont également été gênés par l'absence de déclenchement du PSI qui, au-delà d'une décision purement formelle, pose le cadre de la gestion de crise en définissant les actions réflexes à engager en matière de mobilisation de ressources, et d'information des élus. Le BEA-RI recommande à GRTgaz de vérifier que l'articulation avec les services de secours et les services du Préfet n'a pas besoin d'être précisée ou renforcée.

VIII.7 Contrôle du bon montage des vannes

Qu'il s'agisse de la méthode par balayage, comme de celle par saturation, le succès de la mise en gaz repose sur un écoulement homogène du gaz dans l'ouvrage. À ce sujet les schémas du MOP-0032 précisent bien que les opérations de mise en gaz doivent être réalisées toutes vannes ouvertes. En pratique, il apparaît que certaines vannes peuvent être non opérationnelles lors de ces opérations. Le BEA-RI recommande à GRTgaz de préciser sa doctrine en la matière. Le BEA-RI recommande également que soient précisées les vérifications réalisées pour s'assurer du positionnement et du fonctionnement effectif des vannes lors de la remise en service d'ouvrages ayant fait l'objet de travaux de construction ou de réparation.

VIII.8 Conception des installations

Le BEA-RI recommande à GRTgaz de prévoir dès la conception des installations complexes, les équipements permettant que les manœuvres de mise en gaz puissent se dérouler dans les meilleures conditions (organe de manœuvre placé à l'entrée de l'installation complexe et adapté aux opérations de mise en gaz, présence ou possibilité d'instrumentation, ...).

¹⁴ Centre de surveillance régional

VIII.9 Révision de l'étude de danger

Le retour d'expérience de l'accident d'Ars-sur-Formans (possibilité d'un phénomène d'explosion interne et impacts potentiels) devra être pris en compte dans les études de dangers des sites comparables exploités par GRTgaz.

VIII.10 Prise en compte du phénomène d'explosion interne

La conception des installations, l'instrumentation mise en œuvre et le mode opératoire (MOP) de mise en gaz doivent, dans la mesure du possible, permettre de s'assurer qu'aucune explosion interne ne se produise.

Une réflexion devra être menée sur la possibilité d'instrumenter les installations de manière à identifier ces phénomènes d'explosion même si ceux-ci ne produisent qu'une faible surpression et sont sans dommages apparents sur les installations. Compte tenu des impacts potentiels sur les ouvrages, le mode opératoire devra alors prévoir la procédure à suivre si de tels phénomènes se produisaient.

IX. Annexes

Annexe 1	Note d'information consécutive à une explosion de gaz.....	52
Annexe 2	Plan de rénovation du pôle Etrez (crédit GRTgaz).....	54
Annexe 3	Photographies de l'examen de la vanne MV-171-1.....	55
Annexe 4	Ineris – rapport d'appui à l'expertise de l'accident	56

Annexe 1 Note d'information consécutive à une explosion de gaz



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

Ref. : 2022-012

La défense, le 01/06/2022

Note d'information consécutive à une explosion de gaz survenue à Ars-sur-Formans (01) le 20 septembre 2021

Objet de la présente note d'information

Le BEA Risques industriels a ouvert une enquête sur l'explosion survenue le 20 septembre 2021 au sein de la station d'interconnexion exploitée par GRTgaz à Ars-sur-Formans (01). L'importance des expertises engagées fait que le BEA RI ne pourra pas rendre son rapport d'enquête dans des délais courts. Toutefois l'analyse de cet événement fait d'ores et déjà apparaître l'existence d'un risque insuffisamment pris en compte.

Dès lors conformément aux dispositions de l'article L. 501-13¹ du code de l'Environnement, la présente note vise à appeler l'attention sur certains risques liés à la remise en gaz des canalisations après travaux.

Destinataires de la présente note d'information

Sans attendre la fin des expertises, des mesures ont été mises en place par GRTgaz pour éviter qu'un événement similaire ne se reproduise, et un plan d'action a été engagé. La présente note d'information s'adresse à l'ensemble des opérateurs de réseaux de transport et de distribution de gaz naturel ainsi qu'aux autorités (DGPR et DREAL) en charge du contrôle.

Nature du risque

L'opération en cours au moment de l'explosion consistait en une remise en gaz, après des travaux sur une station d'interconnexion, de 15km de canalisations de transport en DN600 et d'une partie des ouvrages de la station d'interconnexion. Contrairement aux procédures établies, la canalisation et la station d'interconnexion ont été remplies d'un mélange air-gaz jusqu'à un premier palier de pression de l'ordre de 20 bar.

Une explosion est intervenue une heure après la montée en pression et avant la première purge. Deux agents seront blessés. Toute une partie de l'installation est soufflée par l'explosion, certaines pièces étant projetées à plusieurs centaines de mètres en dehors du site. Les investigations menées conduisent à penser que l'accident résulterait de l'explosion interne du

¹ Art L 501-13

1.-Par dérogation à l'article L. 501-12, le responsable du bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels est habilité à transmettre des informations résultant de l'enquête technique, s'il estime qu'elles sont de nature à prévenir un accident :

1° Aux autorités administratives chargées de la sécurité ;

2° Aux personnes physiques et morales exerçant une activité concevant, produisant, exploitant ou entretenant des installations ou équipements tels que ceux mis en œuvre dans le cadre de l'accident.



bea-ri@developpement-durable.gouv.fr

mélange air-gaz, l'origine de l'inflammation de ce mélange n'étant pas à ce jour déterminée et faisant encore l'objet d'expertises.

Les éléments suivants ont contribué à l'accident :

- La méthode retenue pour la remise en gaz différait du mode opératoire habituel en ce sens qu'elle comportait une phase de « chasse de l'air » à pression nulle avec évent de purge ouvert, puis une phase de plusieurs cycles de faible montée en pression (2 bar). C'est au cours de cette opération que la pression s'est élevée de manière non maîtrisée aux alentours des 20 bar.
- Une montée en pression non maîtrisée jusqu'à 20 bar avec la présence d'un mélange air-gaz inflammable dans une partie des ouvrages de la station d'interconnexion a rendu la situation dangereuse. À une pression de 20 bar, la plage d'inflammabilité du gaz naturel est plus importante qu'à pression atmosphérique, sa limite supérieure double. Surtout, à cette pression l'énergie minimale nécessaire à l'inflammation du mélange air-gaz naturel est très inférieure à celle de la pression atmosphérique. Ainsi, à titre d'illustration, les protections apportées par les matériels certifiés ATEX peuvent s'avérer insuffisantes.

La présence temporaire d'un mélange air-gaz au moment de la mise en service d'une installation est inévitable. En revanche, il semble que l'explosivité particulière d'un tel mélange à haute pression n'était pas signalée, et que les opérateurs pourtant expérimentés ont dès lors pu dévier des procédures sans identifier un risque particulier.

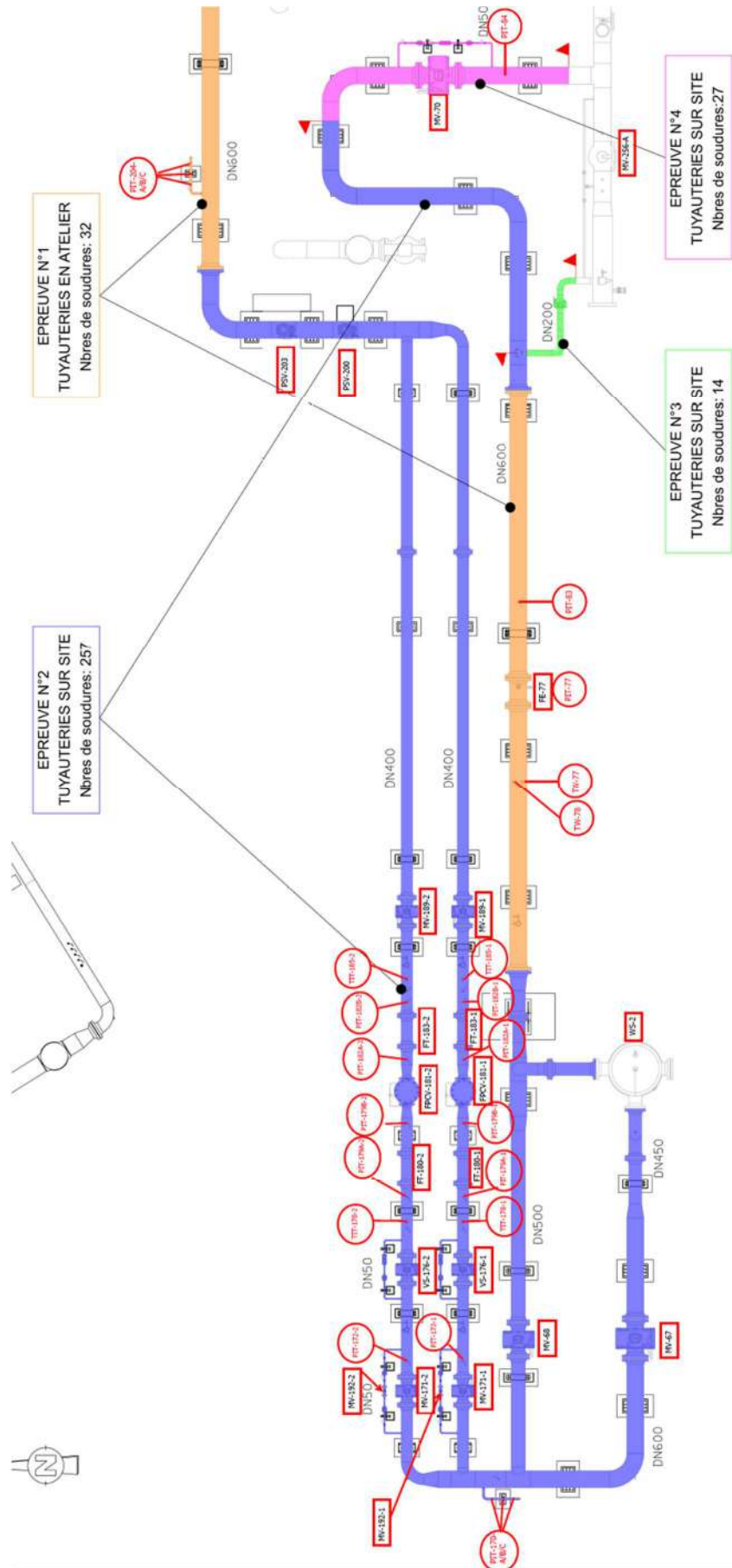
Le BEA-RI souhaite sensibiliser les autorités de contrôles et la profession sur les éléments suivants :

- **Le risque d'explosion interne au sein d'une canalisation lors de sa mise en gaz semble souvent minimisé par les acteurs du gaz. Il en résulte une sensibilisation moindre des opérateurs de terrain par rapport à d'autres types d'interventions réputées plus à risque.**
- **Dans ce contexte il apparaît important de rappeler l'importance de maîtriser la montée en pression et de contrôler la concentration de gaz dans la canalisation lors de l'opération afin d'éviter la formation d'un mélange air-gaz à des pressions moyennes ou élevées qui augmenteraient la plage d'inflammabilité du gaz et diminueraient fortement l'énergie minimale nécessaire à son inflammation.**



bea-ri@developpement-durable.gouv.fr

Annexe 2 Plan de rénovation du pôle Etrez (crédit GRTgaz)



Annexe 3 Photographies de l'examen de la vanne MV-171-1



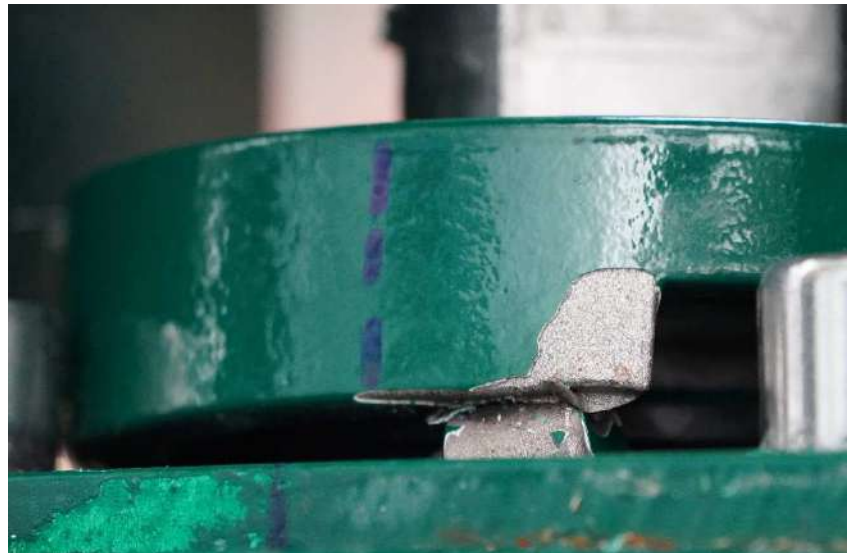
Photographie 7 : Positionnement de la vanne MV-171-1 au démontage



Photographie 8 : Position de l'arbre après l'explosion



Photographie 9 : déformation au niveau de la rainure de clavette de transmission



Photographie 10 : butée de positionnement détériorée

Annexe 4 Ineris – rapport d'appui à l'expertise de l'accident



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 206685 - 2779949 - v2.0

01/03/2024

Appui à l'expertise de l'accident survenu sur la station d'interconnexion de canalisations de transport de gaz naturel exploitée par GRTgaz à Ars-sur-Formans (Ain), le 20 septembre 2021

Rapport final

BEA-RI

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : DIRECTION GENERALE

Rédaction : LEPRETTE Emmanuel - GOY BENJAMIN

Vérification : BOUET REMY; CHAUMETTE SYLVAIN

Approbation : Document approuvé le 01/03/2024 par PIQUETTE BERNARD

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Guillaume LECOCCQ, Gaëtan PROD'HOMME, Laurent CEDARD

Table des matières

1	Introduction.....	5
1.1	Déontologie.....	5
1.2	Contexte	5
1.3	Visites et réunions d'échanges	5
2	Description de l'installation concernée et informations sur l'événement	6
2.1	Description générale du site	6
2.2	Description de l'installation	7
2.3	Description de l'accident.....	8
2.4	Relevés de dégâts	9
2.4.1	Victimes	9
2.4.2	Effets de pression	9
2.4.3	Effets thermiques	11
2.4.4	Points de rupture	11
2.4.5	Effets de projection	12
2.5	Observations complémentaires	14
2.5.1	Mesures de pression	14
2.5.2	Mesures de température.....	15
2.5.3	Traces de suies	16
2.5.4	Examen interne du filtre.....	16
3	Réponses aux questions posées par le BEA-RI.....	18
3.1	Question 1 : Evaluer la sensibilité des limites d'inflammabilité du gaz naturel à la pression 18	
3.2	Question 2 : Reconstituer le mécanisme accidentel en fonction des dégâts et déformations observés sur le site et d'outils de modélisation	19
3.2.1	Formation de l'atmosphère explosive	19
3.2.2	Estimation de la pression d'explosion.....	19
3.2.3	Recherche du sens de propagation de l'explosion	22
3.3	Recherche de la source d'inflammation	24
3.3.1	Question 3 : Evaluer la possibilité d'une cause électrique.....	25
3.3.2	Question 4 : Examiner l'hypothèse que l'énergie d'activation provienne de l'inflammation de matières pyrophoriques présentes dans le filtre.....	27
4	Conclusion.....	28
5	Annexes.....	29

Résumé

Le 20 septembre 2021, une violente explosion s'est produite lors d'une opération de remise en gaz d'une partie de la station d'interconnexion d'Ars-sur-Formans (Ain), exploitée par GRTgaz. Deux personnes ont été légèrement blessées, et des dégâts matériels très importants ont été causés. Dans le cadre de son enquête, le BEA-RI a sollicité l'Ineris pour répondre à quatre questions relatives au mécanisme accidentel, aux propriétés des mélanges air-gaz naturel sous pression, et aux possibilités d'inflammation par une cause électrique ou par un dépôt pyrophorique. Il ressort de l'analyse que l'accident résulte principalement de la présence anormale d'une atmosphère explosive à 21 bar abs dans l'installation pendant la phase de remise en gaz. Cette situation est particulièrement dangereuse car à cette pression le domaine d'inflammabilité est étendu, l'atmosphère explosive est beaucoup plus sensible à l'inflammation qu'à pression atmosphérique, et la pression d'explosion dépasse la pression de résistance des canalisations. La cause de l'inflammation n'a pu être déterminée avec certitude. Le matériel électrique expertisé par l'Ineris semble hors de cause. Une inflammation par accumulation et activation d'un dépôt pyrophorique dans le filtre est possible.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Appui à l'expertise de l'accident survenu sur la station d'interconnexion de canalisations de transport de gaz naturel exploitée par GRTgaz à Ars-sur-Formans (Ain), le 20 septembre 2021, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 206685 - v2.0, 01/03/2024.

1 Introduction

1.1 Déontologie

L'Ineris collabore régulièrement avec GRTgaz dans des projets de recherche, et a déjà réalisé des études réglementaires pour des sites exploités par GRTgaz.

Cependant l'Ineris n'a jamais réalisé d'étude, ni technique, ni réglementaire, pour le site d'Ars-sur-Formans.

1.2 Contexte

Le 20 septembre 2021, une violente explosion s'est produite lors d'une opération de remise en gaz d'une partie de la station d'interconnexion d'Ars-sur-Formans (Ain), exploitée par GRTgaz. Deux personnes ont été légèrement blessées, et des dégâts matériels très importants ont été produits.

Le BEA-RI a ouvert une enquête et a sollicité l'appui de l'Ineris pour répondre aux quatre questions suivantes, formulées dans la lettre de mission du 11 juillet 2023 qui figure en Annexe 1 :

- Evaluer la sensibilité des limites d'inflammabilité du gaz naturel à la pression (bibliographie et historique) ;
- Reconstituer le mécanisme accidentel en fonction des dégâts et déformations observés sur site et d'outils de modélisation ;
- Evaluer la possibilité d'une cause électrique ;
- Examiner l'hypothèse que l'énergie d'activation provienne de l'inflammation de matières pyrophoriques présentes dans le filtre (bibliographie et historique).

1.3 Visites et réunions d'échanges

Pour cette analyse, l'Ineris a réalisé deux visites de la station d'interconnexion d'Ars-sur-Formans :

- Une visite le 24 septembre 2021, soit 4 jours après l'accident, en présence de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes et des enquêteurs du BEA-RI ; Cette visite a permis de prendre connaissance de la chronologie de l'accident et d'établir un premier relevé de dégâts.
- Une visite le 13 décembre 2021, en présence des enquêteurs du BEA-RI, pour assister au démontage des canalisations d'entrée et de sortie du filtre. Cette visite a permis également d'examiner des équipements démontés (vannes, tronçons de canalisation) et de relever des traces de suies à l'intérieur des canalisations.

Une visite a également été réalisée au Département Opérationnel Expertise Inspection du Pôle Intégrité de GRTgaz à Compiègne, où ont été entreposés les canalisations et les matériels récupérés sur le site d'Ars après l'accident, le 11 juillet 2022. Cette visite a permis d'assister au démontage d'un robinet incriminé dans l'accident et prendre connaissance des expertises métallurgiques réalisées par GRTgaz.

Enfin, l'Ineris a participé à plusieurs réunions avec GRTgaz et le BEA-RI, au cours desquelles GRTgaz a présenté l'avancement de son enquête interne.



Figure 2 : Plan de masse de la station d'interconnexion d'Ars-sur-Formans – en bleu, les parties renouvelées du pôle Etrez

2.2 Description de l'installation

Le pôle « Etrez » est connecté en amont au stockage souterrain de gaz naturel d'Etrez, via la station de recompression de Châtillon-sur-Chalaronne, située à 15 km au Nord d'Ars-sur-Formans.

La canalisation en provenance de Châtillon (DN 600, 80 bar) est enterrée, et devient aérienne à son entrée à l'Est du site.

L'installation comprend, de l'amont vers l'aval, une gare racleur, la lyre, un filtre monté sur une dérivation de la canalisation principale, puis deux branches parallèles DN400 (les rampes de régulation) équipées chacune d'une vanne de régulation et d'une vanne de sécurité, munies d'un bypass.

Le filtre et la gare racleur ont été récupérés de l'installation précédente. Tout le reste a été changé.

Le plan de masse suivant présente le pôle Etrez après la reconstruction de 2021. Les éléments cités plus loin dans la chronologie sont repérés.

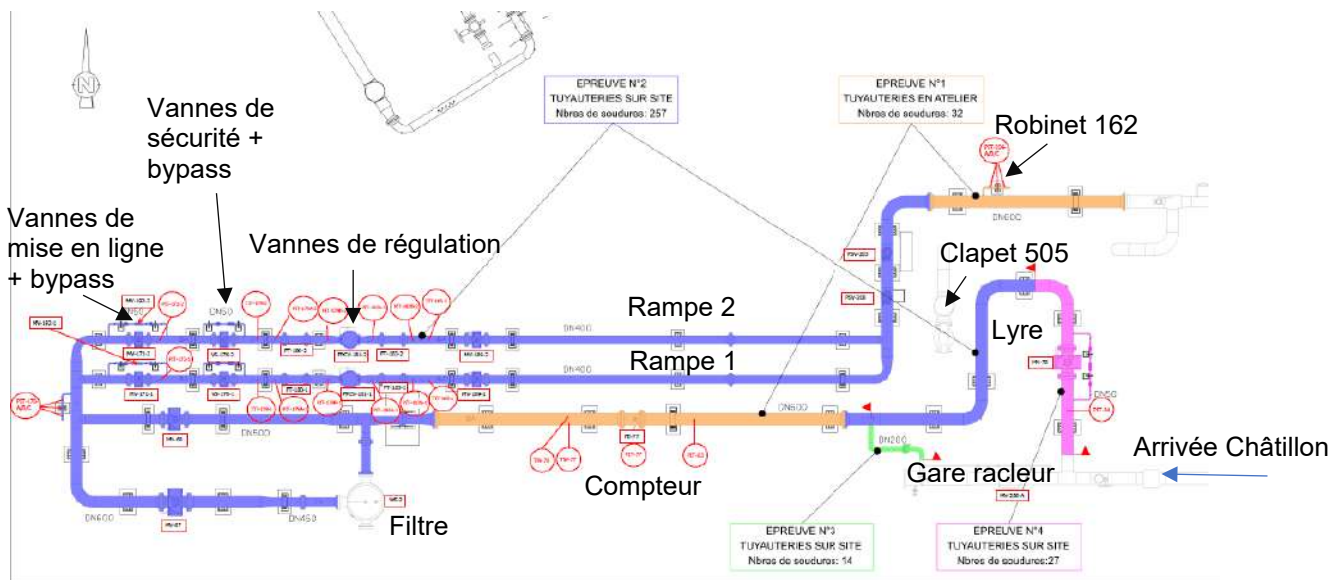


Figure 3 : Plan de masse du pôle Etrez

2.3 Description de l'accident

L'accident s'est produit lors de la remise en gaz du pôle « Etrez ». Cette opération consiste à ouvrir le robinet de sectionnement de la station de Châtillon-sur-Chalaronne et à injecter, dans des conditions maîtrisées, le gaz naturel dans la station d'Ars afin de chasser l'air initialement présent. Au cours de cette opération, la pression dans les canalisations est contrôlée, et plusieurs mesures de concentration de gaz sont réalisées. La remise en gaz est réalisée à basse pression (quelques bars), et c'est seulement lorsqu'il a été vérifié qu'il n'y a plus d'air dans les canalisations que la pression est progressivement augmentée jusqu'à la pression de service.

Il existe normalement deux types de méthode pour la remise en gaz :

- La méthode par saturation, qui consiste à alimenter l'installation neuve jusqu'à 3 bar, purger, et répéter cette opération de remplissage/purge jusqu'à ce que la concentration en gaz atteigne 90%, après quoi l'installation est remplie en gaz jusqu'à sa pression de service.
- La méthode par balayage, qui consiste à ouvrir un événement à l'extrémité de l'installation et balayer en gaz en continu jusqu'à avoir complètement chassé l'air initialement présent.

Le choix de l'une ou l'autre méthode dépend de la complexité de l'installation, et notamment de la présence d'embranchements, de changements de section, de zones mortes, etc.

La méthode choisie pour la remise en gaz du pôle Etrez était hybride : il était prévu de balayer l'installation en la pressurant plusieurs fois à 2 bar, une série de purges devant permettre d'atteindre le remplissage total en gaz.

L'opération de remise en gaz a eu lieu le 20 septembre au matin. La chronologie est la suivante :

Consignation :

- Ouverture de toutes les vannes du pôle Etrez à l'exception des vannes de sécurité dont seul le bypass est ouvert.
- Le robinet 162 (en aval sur l'installation) est ouvert pour créer un événement, afin de chasser l'air dans la canalisation.

9h06 : ouverture progressive du robinet de sectionnement à la station de Châtillon.

9h15 : les opérateurs notent l'arrivée du gaz au niveau de l'événement du robinet 162 (panache visible). La pression est de 2,7 bar.



*Figure 5 : Vue aérienne du pôle Etrez après l'explosion.
La canalisation entre l'entrée du site et la gare racleur a pivoté de 90° (flèche rouge).
La lyre n'est plus visible : elle s'est rompue en plusieurs points et a été projetée.*

Une estimation des effets de pression a été réalisée à partir des dégâts observés sur les bâtiments, sur la base du tableau de dégâts figurant en Annexe 1. Pour les façades perpendiculaires à la direction de propagation de l'onde de pression, un coefficient égal à 2 est appliqué entre la pression réfléchie, qui s'applique directement sur les façades, et la pression incidente.

Un local technique situé à 25 m du centre de l'explosion a été très fortement endommagé. Sa façade a été entièrement soufflée. A cet endroit la pression réfléchie est estimée entre 100 et 140 mbar, et la pression incidente entre 50 et 70 mbar.

A l'entrée du site, plusieurs bâtiments de structure légères (préfabriqués) ont été sérieusement endommagés (bris de toutes les vitres, chute de faux plafonds, enfoncement de parois), mais la structure porteuse de ces bâtiments est restée en place. La pression réfléchie sur la façade exposée est estimée entre 60 et 90 mbar, et la pression incidente entre 30 et 45 mbar.



Figure 6 : dégâts sur les bâtiments – à gauche, le local technique à 25 m ; à droite, locaux préfabriqués à l'entrée du site, à 70 m.

La vitre latérale brisée sur le camion circulant à 90 m, correspond à un seuil de l'ordre de 10 à 20 mbar de pression incidente.

Enfin, la projection d'un opérateur au sol, à 15 m de la lyre, correspond à un seuil inférieur à 140 mbar de pression incidente.

Une synthèse de ces estimations est reportée dans le Tableau 1.

Relevé de dégât	Distance (m)	Estimation basse (mbar)	Estimation haute (mbar)
Opérateurs projetés au sol	15	120	140
Local technique endommagé	25	50	70
Locaux préfabriqués	70	30	45
Vitre brisée sur un camion	90	10	20

Tableau 1 : Estimation des niveaux de pression incidente à partir du relevé de dégâts

2.4.3 Effets thermiques

Une caméra de vidéo-surveillance située sur une entreprise agricole à environ 800 m à l'Ouest du site a enregistré une boule de feu. Celle-ci est malheureusement masquée par un panneau solaire, si bien qu'il est difficile d'estimer sa taille. Sa durée est inférieure à 1s.



Figure 7 : Boule de feu enregistrée par une caméra de vidéo-surveillance

Aucun incendie ne s'est déclaré suite à l'explosion, et il n'y a aucune trace d'incendie visible sur le site. La fuite massive de gaz naturel qui a suivi l'explosion, alimentée par la vidange des 15 km de canalisation depuis le robinet de sectionnement de Châtillon-sur-Chalaronne, ne s'est pas enflammée.

2.4.4 Points de rupture

Au moins cinq points de rupture franche ont été identifiés au niveau de la lyre. Ils sont matérialisés en rouge sur la Figure 8.

Ces points de rupture ont entraîné la formation de deux fragments très massifs (supérieurs à 1 tonne) :

- Un fragment de canalisation (n°60) entre les points de rupture n°1 et n°2
- Un fragment de canalisation (n°61) entre les points de rupture n°3 et n°4

Les points de rupture n°1, 2, 3, 5 présentent un profil de « rupture guillotine », selon la section droite de la canalisation. A l'inverse le point de rupture n°4 présente une déchirure axiale importante. Plusieurs fragments plus petits (entre 100 et 200 kg, n°1, 2, 3, 7) ont été identifiés comme provenant de la lyre entre les points de rupture n°2 et n°3 d'une part, et les points de rupture n°4 et n°5 d'autre part.

Il est donc probable que l'éclatement se soit produit entre les points 2 et 3, et entre les points 4 et 5.

Il existe un sixième point de rupture au niveau de la culasse de la gare, qui constitue un cul de sac dans le réseau.

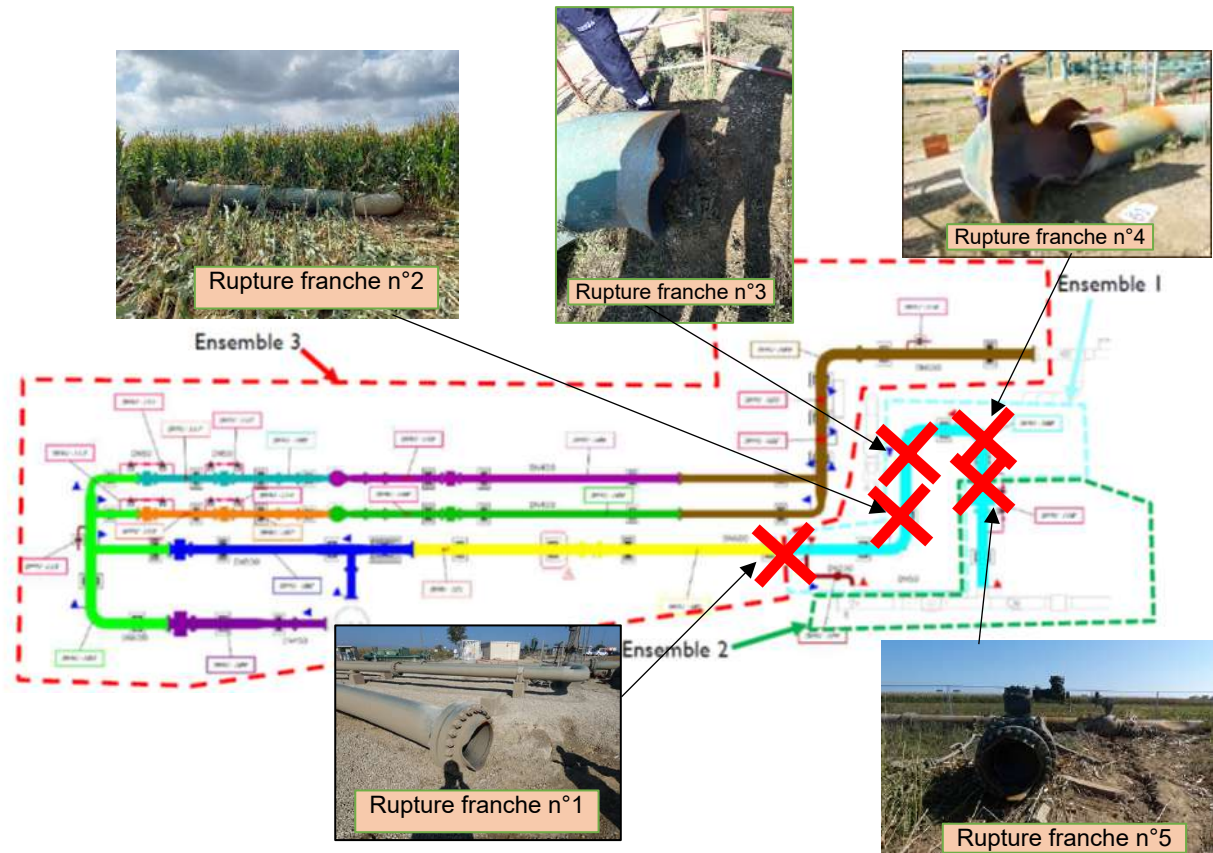


Figure 8 : Points de rupture au niveau de la lyre

2.4.5 Effets de projection

De très nombreux projectiles ont été retrouvés à l'extérieur du site. GRTgaz a réalisé un recensement exhaustif et une cartographie des fragments. L'origine de la majorité des fragments a pu être identifiée. Les fragments ont tous été numérotés, mesurés et pesés, et pour certains expédiés au Centre d'Expertise de GRTgaz à Compiègne.

Le Tableau 2 et la Figure 8 présentent quelques-uns des fragments retrouvés, utilisés pour évaluer l'énergie mise en jeu dans l'explosion. Les numéros indiqués suivent la numérotation réalisée par GRTgaz lors du recensement des pièces.

Numéro	Fragment	Origine	Masse (kg)	Distance de projection (m)
61		Morceau de la lyre DN600, (longueur 3 m), entre les points de rupture n°2 et 3	1850	54

60		Sortie de la lyre entre les points de rupture n°1 et 2	3000	145
1		Morceau de la lyre	~100	197
2		Morceau de la lyre	~150	100
3		Morceau de la lyre	~150	170
7		Morceau de la lyre	~200	297
8		Culasse de la gare	300	225

Tableau 2 : Caractéristiques de quelques fragments

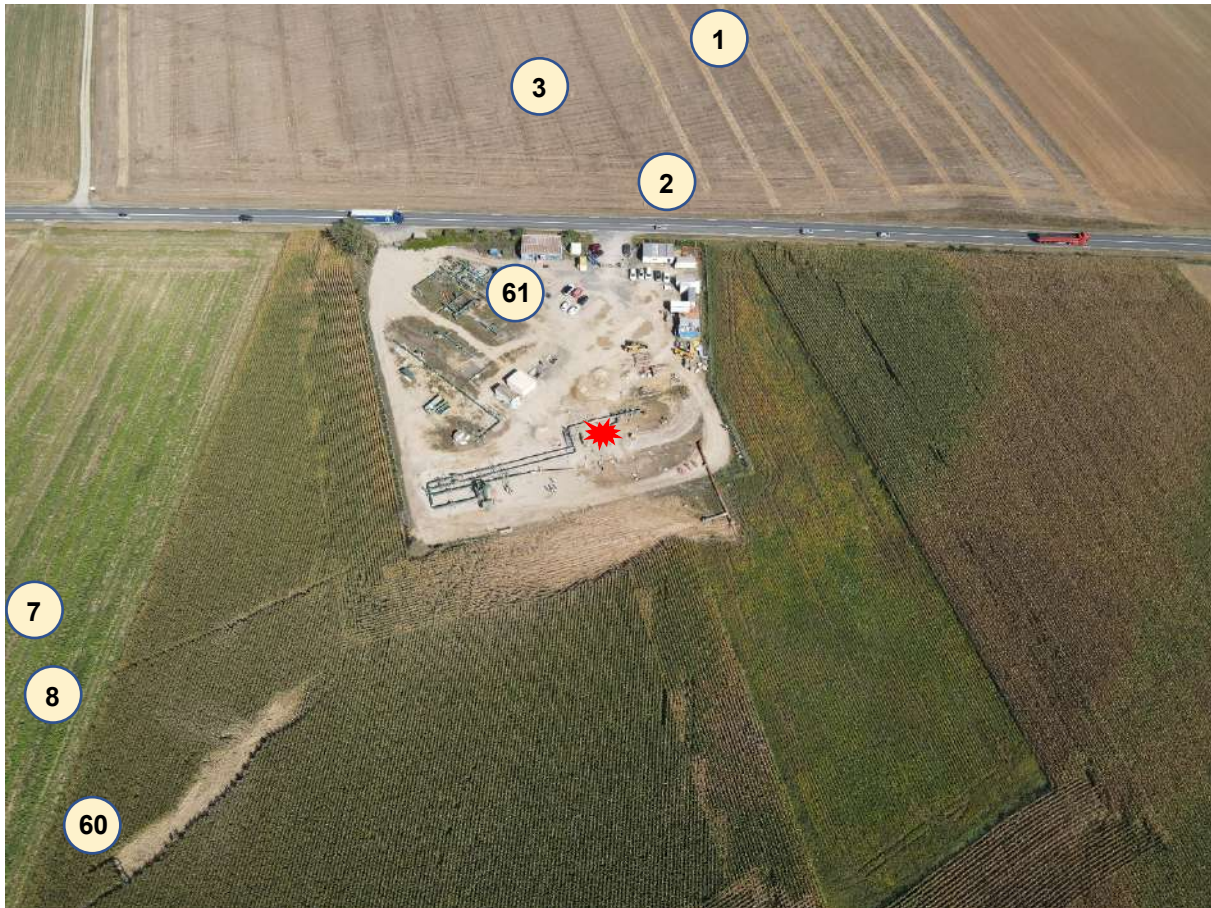


Figure 9 : Localisation des fragments figurant dans le tableau 1

2.5 Observations complémentaires

2.5.1 Mesures de pression

L'enregistrement des sondes de pression est représenté à la Figure 10. Avant l'explosion, tous les capteurs indiquent une pression de 21 bar abs dans l'installation. Le pic de pression d'explosion est détecté par les capteurs, mais ceux-ci n'ont pas la résolution suffisante pour mesurer la pression maximale engendrée par l'explosion. Les capteurs situés en aval des vannes de sécurité réagissent avant les capteurs situés en amont. Les capteurs situés en amont montrent une décharge très rapide de la pression d'explosion à travers les brèches situées au niveau de la lyre, au contraire des capteurs situés en aval qui enregistre une décharge lente. Une décharge aussi lente ne peut pas s'expliquer par la seule perte de charge induite par les by-pass. Ceux-ci ont été partiellement refermés par l'explosion.

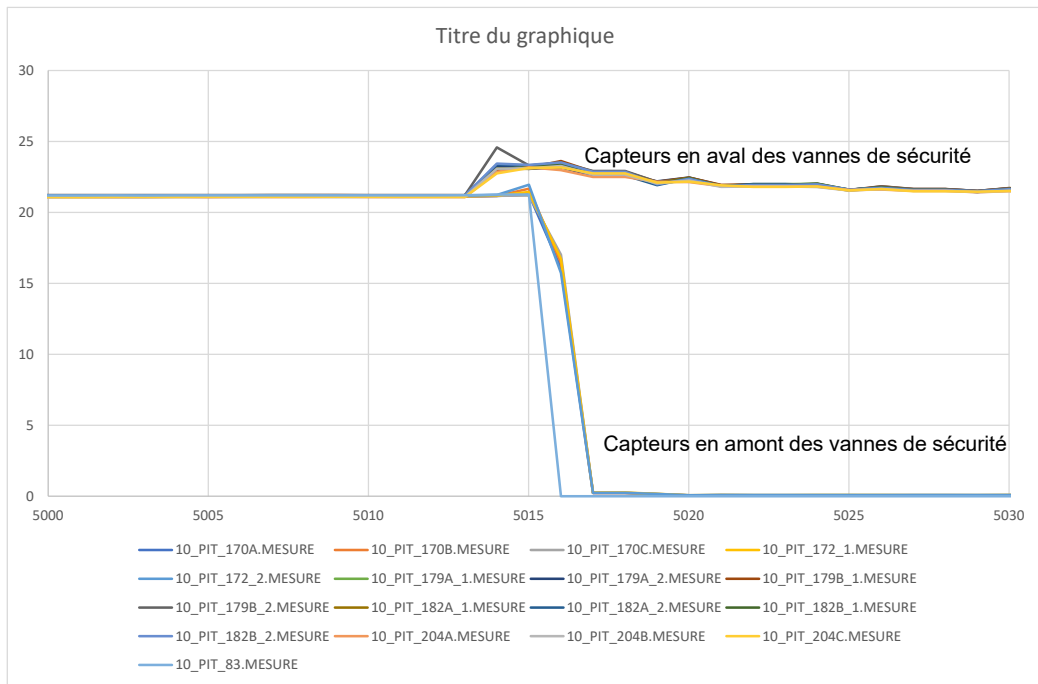


Figure 10 : Enregistrements de pression (fréquence d'acquisition 1 Hz)

2.5.2 Mesures de température

L'enregistrement des sondes de température est représenté sur la Figure 11. Toutes les valeurs de température atteignent la valeur de saturation des capteurs (60°C) au moment de l'explosion, à l'exception des capteurs TIT178-1 et TIT185-1 situés sur la rampe de régulation n°1 en aval de la vanne de sécurité. Cela suggère que la flamme ne s'est pas propagée jusqu'à ces capteurs, soit parce qu'il n'y avait pas d'atmosphère explosive dans la rampe n°1, soit parce que la flamme, venant de l'amont, s'est éteinte au passage du bypass de la rampe n°1.

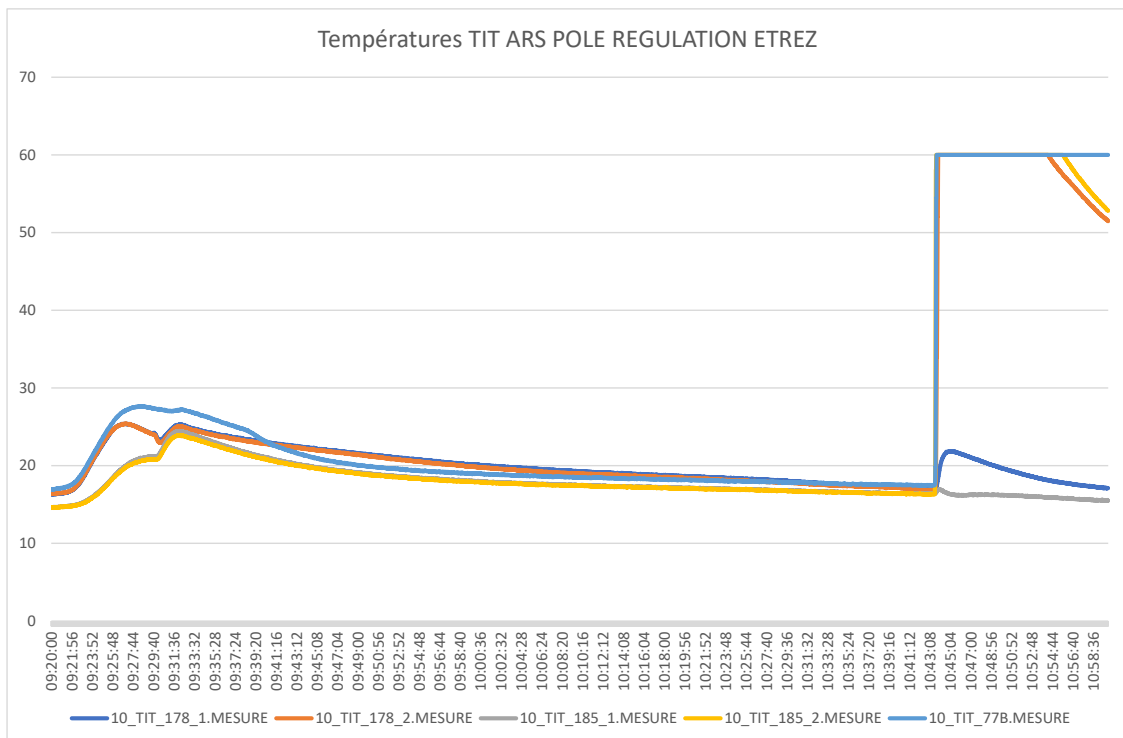


Figure 11 : Enregistrement de température sur les rampes de régulation

2.5.3 Traces de suies

Des traces de suies ont été retrouvés dans les canalisations, depuis la lyre jusqu'aux vannes de sécurité, ainsi que dans la dérivation du filtre. Des traces plus légères sont également visibles dans la rampe 2 au-delà de la vanne de sécurité.

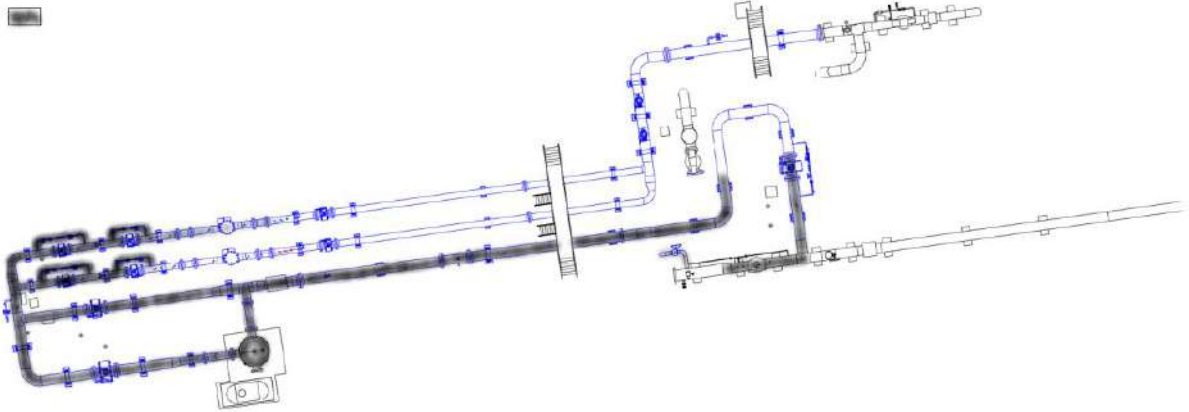


Figure 12 : Localisation des traces de suie

La présence des suies pourrait être due à la combustion d'huiles ou d'hydrocarbures autres que le gaz naturel, mais elle peut aussi s'expliquer par la combustion du gaz naturel. En effet, dans des conditions normales (flamme de diffusion, conditions atmosphériques), la combustion du méthane produit normalement peu de suies. Mais dans les conditions de l'accident (mélange inflammable couvrant tout le domaine d'inflammabilité, avec notamment une LSE beaucoup plus élevée sous 21 bar, donc beaucoup de mélange riche), les schémas cinétiques sont a priori différents et peuvent causer la formation de molécules plus complexes avec des liaisons C-C (éthylène, acétylène par exemple) dont la combustion produit davantage de suies.

2.5.4 Examen interne du filtre

L'examen du filtre a révélé beaucoup de dégâts à l'intérieur. Dans la partie basse les tôles ont été tordues. Dans la partie haute, les lamelles de filtration ont été éjectées. Plusieurs d'entre-elles ont été retrouvées dans les canalisations, et quelques-unes ont même été retrouvées à plusieurs dizaines de mètres à l'extérieur.

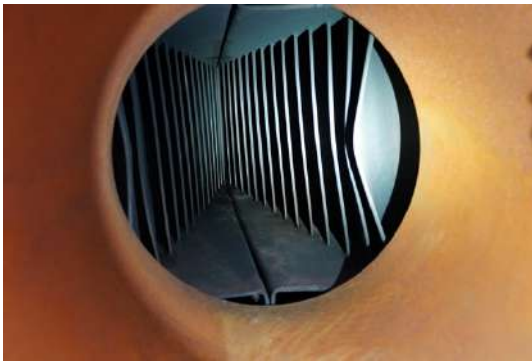


Figure 13 : Photos du filtre. En haut vue extérieure, en bas à gauche intérieur de la partie basse, vue à travers la canalisation d'entrée ; en bas à droite intérieur de la partie haute, vue de la canalisation de sortie

3 Réponses aux questions posées par le BEA-RI

3.1 Question 1 : Evaluer la sensibilité des limites d'inflammabilité du gaz naturel à la pression

Il est avéré que lors de l'explosion, la pression dans les canalisations était égale à 21 bar abs. Une recherche bibliographique a été réalisée pour étudier l'influence de la pression initiale sur les propriétés d'inflammabilité du gaz naturel. On notera que la plupart des données récoltées se rapportent à des mélanges méthane/air et non au gaz naturel.

Propriété	A P _{atm}	A 21 bar abs	Source
Limite inférieure d'inflammabilité (LIE)	5%	4%	L. Huang et al: <i>Effect of elevated pressure on the explosion and flammability limits of methane-air mixtures</i> , Energy 186 (2019) 115840
Limite supérieure d'inflammabilité (LSE)	15%	35%	
Energie minimale d'inflammation (EMI)	0,5 mJ	~0,005 mJ	G. Cui et al. : <i>Experimental study of minimum ignition energy of methane/air mixtures at elevated temperatures and pressures</i> , Fuel 175 (2016) 257-263
Température d'auto-inflammation (TAI)	600°C	~400°C	Caron et al. : <i>Pressure dependence of the auto-ignition temperature of methane/air mixtures</i> , J. Haz. Mat. 65 (1999) 233-244
Taux d'expansion	7,6	7,7	Calcul thermodynamique
Pression maximale d'explosion	8,6 bar	180 bar (théorique) 167 bar (mesuré)	Lijuan Huang et al.: <i>Experimental assessment on the explosion pressure of CH4-Air mixtures at flammability limits under high pressure and temperature conditions</i> , Fuel 299 (2021) 120868
Vitesse de combustion laminaire	0,36 m/s	~0,1 m/s	E. Hu et al, <i>Laminar flame speeds and ignition delay times of methane-air mixtures at elevated temperatures and pressures</i> , Fuel 158 (2015) 1-10

Tableau 3 : Propriétés d'inflammabilité de mélanges méthane/air à pression atmosphérique et à 21 bar abs (en italique, données extrapolées)

On peut déduire du Tableau 2 les observations suivantes concernant l'évolution des propriétés d'inflammabilité du gaz naturel fonction de l'augmentation de la pression :

- Une **augmentation du domaine de l'inflammabilité**, et notamment de la LSE ;
- Une **très forte diminution de l'énergie minimale d'inflammation**, d'un facteur de l'ordre de 100 ;
- Une **diminution de la température d'auto-inflammation** ;
- Une diminution de la vitesse de combustion laminaire.

D'une manière générale, une pression initiale élevée est donc un facteur aggravateur du risque d'explosion, à l'exception de la vitesse de combustion laminaire qui diminue lorsque la pression augmente.

La diminution de l'EMI et de la TAI révèle que l'atmosphère explosive présente dans l'installation, sous réserve qu'elle se situait bien dans le domaine d'inflammabilité, était très facilement inflammable. En pratique, cela signifie aussi que les matériels électriques et non électriques montés sur l'installation, bien que certifiés ATEX vis-à-vis d'un risque de présence d'atmosphère explosive air/gaz naturel à pression atmosphérique, auraient pu constituer une source d'inflammation au contact d'une ATEX sous 21 bar.

On notera que l'EMI est particulièrement faible, du même ordre de grandeur que celle de l'hydrogène en concentration stœchiométrique. L'atmosphère explosive était donc particulièrement sensible à l'inflammation même par des sources de très faible énergie, comme une décharge électrostatique ou un choc mécanique.

3.2 Question 2 : Reconstituer le mécanisme accidentel en fonction des dégâts et déformations observés sur le site et d'outils de modélisation

L'amorçage d'une explosion nécessite les deux conditions suivantes :

- La présence d'une atmosphère explosive ;
- La présence d'une source d'inflammation.

3.2.1 Formation de l'atmosphère explosive

Concernant la présence d'une atmosphère explosive, les mesures réalisées par les opérateurs en charge de la remise en gaz ont montré que la LIE était atteinte au niveau de deux prises de mesures situées en aval des bypass (par rapport au sens du flux de gaz). L'étendue du domaine inflammable est plus difficile à déterminer. Lorsque le robinet de sectionnement est ouvert à la station de Châtillon-sur-Chalaronne, un front de gaz naturel pousse devant lui l'air initialement présent dans l'installation. Il se forme une couche de mélange par diffusion turbulente, dont la longueur dépend de nombreux paramètres : la vitesse du front de gaz, le diamètre de la canalisation, la différence de densité entre l'air et le gaz naturel, ... Au niveau du pôle Etrez le problème devient encore plus complexe à cause des changements de section et des embranchements (notamment vers le filtre).

L'Ineris ne dispose pas de modèle de calcul adéquat pour simuler ce régime transitoire dans un réseau de canalisations aussi étendu. De son côté, GRTGaz a mis en œuvre les logiciels SIMONE et SYMETRY, utilisés pour la régulation des flux de gaz dans le réseau, afin d'estimer la distribution du gaz pendant la phase de remplissage. Les logiciels permettent notamment de prendre en compte les variations de débit de gaz en fonction du taux d'ouverture du robinet de la station de Châtillon, et SYMETRY calcule également la couche de mélange entre l'air et le gaz naturel. Il ressort de ces calculs que :

- Le domaine inflammable (4-35% à 21 bar abs) était étendu à la quasi-totalité du pôle Etrez, avec atteinte de la LIE en aval des deux rampes de régulation (ce qui est cohérent avec les mesures de gaz effectuées par les opérateurs), et atteinte de la LSE à l'entrée du site.
- Après la fermeture du robinet de Châtillon, l'effet de diffusion est très marginal et ne conduit pas une homogénéisation du mélange air-gaz naturel dans le pôle Etrez.
- La dérivation vers le filtre était remplie d'un mélange pauvre, peut-être non inflammable. Cependant la prise en compte du volume du filtre est assez délicate dans l'outil SYMETRY, si bien que la concentration calculée dans cette dérivation doit être considérée avec prudence.

Pour la suite de l'étude, il a donc été supposé, sur la base des modélisations de GRTGaz, que le mélange inflammable remplissait tout le réseau du pôle Etrez, avec un gradient de concentration entre le robinet 162 (LIE) et l'entrée sur le site (LSE).

3.2.2 Estimation de la pression d'explosion

La pression de rupture en statique de la canalisation DN600 constituant la lyre est estimée par calcul¹ à 260 bar. Lors de sa construction, cette canalisation a été soumise à épreuve hydraulique à 187 bar.

Cependant en régime dynamique, la résistance peut être plus faible, ou plus élevée, selon la forme du signal de pression (vitesse de montée en pression et impulsion). En première approche on considère généralement que la pression de rupture en dynamique est comprise entre la moitié et deux fois la pression de rupture en statique, soit ici entre 130 bar et 520 bar.

La pression maximale d'explosion, pour une atmosphère explosive initialement à 21 bar abs, est de l'ordre de 170 à 180 bar (Tableau 3). Cependant, la géométrie particulière de la lyre, avec deux coudes, peut induire une augmentation locale de la pression :

- Une zone de stagnation de l'écoulement peut se former entre la flamme et le coude et induire une pré-compression locale.
- La réflexion de l'onde de choc dans le coude peut induire, pour une pression d'explosion de 170 bar, un coefficient de réflexion de l'ordre de 5, soit une pression réfléchie dans les coudes qui pourrait atteindre plus de 700 bar.

¹ Hypothèses de calcul (données GRTgaz) : acier L360, épaisseur 17,5 mm, limite élastique 360 MPa, limite à la rupture 460 MPa.

Enfin, on ne peut tout à fait exclure une transition à la détonation. H.P Schildberg², qui a étudié la transition déflagration détonation dans des canalisations de 43 mm de diamètre avec des mélanges homogènes CH₄/O₂/N₂, n'a pas observé de détonation dans des mélanges CH₄/air jusqu'à 12 bar de pression initiale. Cependant, la présence d'un gradient de concentration dans la canalisation favorise l'accélération de la flamme et est susceptible d'entraîner une transition à la détonation. Quelques études numériques publiées^{3,4} montrent que c'est théoriquement possible. Dans ce cas, la pression de détonation pourrait atteindre 20 à 30 fois la pression initiale, donc bien au-delà de la résistance des canalisations.

Ainsi, cette première comparaison démontre qu'une explosion initiée sous 20 bar était largement de nature à dépasser le seuil de résistance de la canalisation et entraîner son éclatement, notamment au niveau des coudes de la lyre qui sont des points de concentration de la pression.

Cependant pour affiner l'estimation de la pression maximale atteinte, il est nécessaire de compléter cette analyse par l'étude des effets de pression constatés et des projections de fragments.

Un calcul d'éclatement de la lyre a été réalisé avec l'outil PROJEX⁵ développé à l'Ineris, avec plusieurs hypothèses de pression d'éclatement : 150 bar, 200 bar, 250 bar. On suppose que le volume de canalisation impliqué dans l'éclatement est une longueur de 3 m de canalisation DN600, ce qui correspond à peu près à la longueur de la déchirure sur la pièce n°61 et des tronçons manquants de la lyre. Les effets de pression dans l'environnement sont comparés au relevé de dégâts présenté au §2.4.2.

La méthode est peu précise, car elle n'est basée que sur les 4 points d'estimation de pression présentés au §2.4.2. Il semble cependant que la pression d'éclatement serait de l'ordre de 150 à 200 bar au maximum, donc inférieure à la pression de résistance en statique de la canalisation.

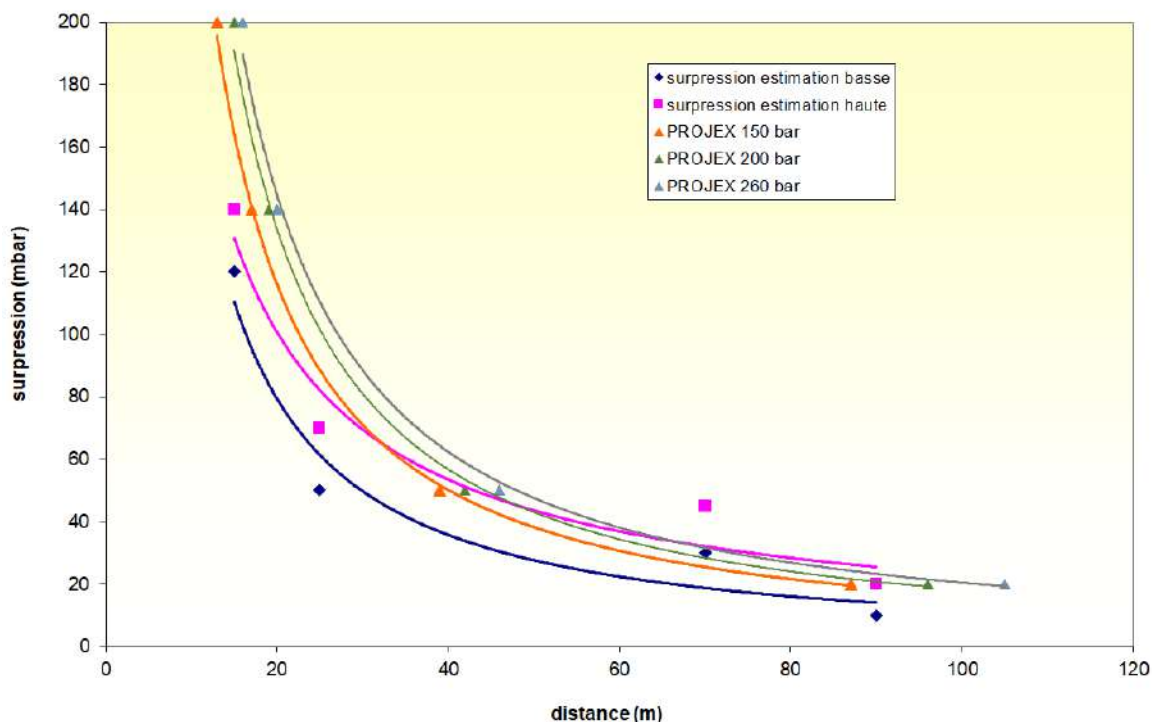


Figure 14 : Comparaison des effets de pression estimés d'après le relevé de dégâts, et des pressions calculées pour différentes hypothèses de pression d'éclatement

² H.P Schildberg (2016): *Gas-Phase Detonations in Pipes: the 8 Possible Different Pressure Scenarios and their Static Equivalent Pressures Determined by the Pipe Wall Deformation Method*, Chemical Engineering Transaction, vol. 48

³ W. Zhen, C.R Kaplan, R.W. Ouim, E.S. Oran : *Flame acceleration and transition to detonation: Effects of a composition gradient in a mixture of methane and air*, Proceedings of the Combustion Institute 37 (2019) 3521–3528

⁴ P. Hohnar, C.R Kaplan, R.W. Ouim, E.S. Oran: *Role of reactivity gradients in the survival, decay and reignition of methane-air detonations in large channels*, Combustion and Flame, vol. 222, pp. 152-169

⁵ Rapport Oméga 15, *Les éclatements de réservoir : phénoménologie et modélisation des effets*, téléchargeable sur www.ineris.fr

Des calculs de projection ont également été réalisés pour les fragments n°1, 2, 3 et 7 (Tableau 4) qui sont assez semblables. Ils proviennent tous de la lyre et pèsent entre 100 et 200 kg. Les calculs ont également été réalisés avec PROJEX, pour différentes pressions d'éclatement. Pour le calcul, on suppose une masse surfacique de 136 kg/m² (acier L360, épaisseur 17,5 mm) un éclatement radial, et un coefficient de traînée de 1,2 d'après la forme des fragments. Une hypothèse supplémentaire est nécessaire sur l'angle de projection, qui n'est pas connu. Certains fragments ont été projetés avec un angle très faible par rapport au sol (cas des fragments n°60 et 8, dont la trace est visible dans le champ de maïs), mais d'autres ont dû être projetés avec un angle plus important. C'est le cas d'un fragment (peut-être la pièce numéro 7) faiblement visible à grande hauteur sur la vidéo dont est extraite la Figure 7.

Pression d'éclatement (bar)	Angle de projection	Distance de projection calculée (m)	Distance de projection mesurée
150	15	326	Entre 103 et 297 m
	30	357	
	45	328	
	60	254	
	80	94	
200	15	378	
	30	404	
	45	367	
	60	281	
	80	104	
260	15	421	
	30	444	
	45	399	
	60	304	
	80	112	

Tableau 4 : Calcul des distances de projection

Les distances de projection calculées sont donc globalement supérieures aux distances observées sur le terrain, sauf si l'on considère un angle de projection d'au moins 60°. Cela suggère que la pression d'explosion était certainement inférieure à 200 bar, et plutôt de l'ordre de 150 bar.

Enfin, d'autres dégâts mécaniques relevés sur l'installation permettent de préciser l'estimation de la pression d'explosion :

- **Bride du clapet anti-retour 505** : il s'agit d'un point en cul-de-sac le plus éloigné en aval de l'installation, donc très loin de la lyre en suivant le réseau. Sur cette bride DN600, 3 vis de diamètre 25 mm ont été rompues en traction, sur 24 vis au total. Cela correspond à une pression réfléchie appliquée sur la bride de 250 bar, soit 80 bar de pression incidente avec un coefficient de réflexion de 3,8.
- **Ruptures franches en traction axiale au niveau de la lyre** : Cette rupture nécessite un effort de 530 bar exercé dans les coudes⁶. Cette valeur très élevée est compatible avec une onde de pression incidente de 150 à 200 bar se propageant dans la canalisation, si l'on considère qu'à ce niveau de pression le coefficient de réflexion d'une onde de pression peut atteindre jusqu'à 5, donc un niveau de pression local de l'ordre 700 bar.

⁶ Hypothèses : canalisation DN600, épaisseur 17,5mm, limite à la rupture en traction de l'acier L360 : 460 MPa



Figure 15 : A gauche la bride du clapet 505 avec 3 vis manquantes – à droite, rupture en traction axiale au niveau de la lyre

Ainsi, en conclusion, une pression d'éclatement de l'ordre de 150 bar dans la lyre semble compatible avec les dégâts observés.

On rappelle que cette valeur est nettement inférieure à la pression de résistance en statique (260 bar), mais qu'il est connu qu'en régime impulsionnel la résistance peut être plus faible qu'en régime statique. Par ailleurs, cette pression d'éclatement est une valeur moyenne dans la lyre, mais il est probable que la pression réfléchie dans les coudes ait atteint une valeur beaucoup plus élevée. Enfin, cette valeur est inférieure à la pression d'explosion maximale théorique pour un mélange méthane-air initialement à 21 bar abs.

3.2.3 Recherche du sens de propagation de l'explosion

La figure suivante présente les sens possibles de propagation de l'explosion.

Les traces de suie observées dans le compteur indiquent clairement une direction de propagation de l'explosion de l'aval vers l'amont, remontant vers la lyre. Cela semble écarter l'hypothèse d'une inflammation en amont de la lyre ou dans la gare.

De petites pièces métalliques cylindriques (diamètre 1 cm, longueur 2 cm), identifiées comme des entretoises provenant de la partie haute du filtre, ont été retrouvées dans la partie la plus à l'Ouest du pôle de régulation, ce qui semble indiquer un sens de propagation du filtre vers les rampes de régulation.

En revanche, il n'est pas possible de déterminer si l'explosion s'est propagée dans la rampe n°2 et si oui, dans quel sens. De même, s'il semble certain que l'explosion soit passée par le filtre, il n'est pas possible de déterminer dans quel sens elle s'est propagée dans la canalisation d'entrée du filtre.

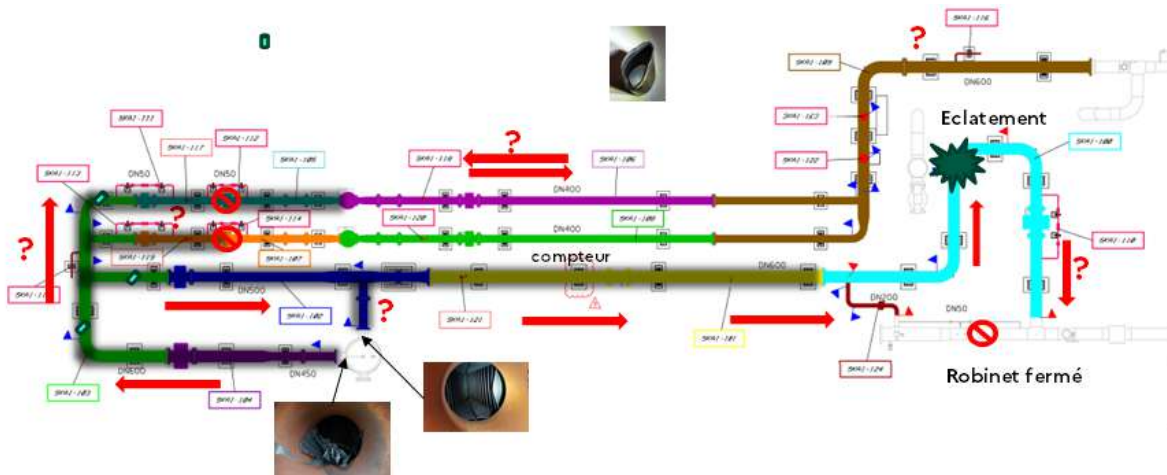


Figure 16 : Sens possibles de propagation de l'explosion

Pour essayer de discriminer ces différentes hypothèses d'inflammation, il a été proposé de simuler, au moyen du code CFD Openfoam, des scénarios de propagation d'explosion en faisant varier la position du point d'inflammation, afin de déterminer les situations susceptibles de conduire à des niveaux de pression compatibles avec les dégâts observés, et notamment les points de rupture dans la lyre. Cette démarche se heurte toutefois à deux difficultés majeures :

- Le domaine géométrique est étendu (une centaine de mètres de canalisation), avec des diamètres très variables (de DN50 à DN600) ce qui rend le maillage du domaine particulièrement difficile si l'on veut conserver une résolution suffisante dans les portions de petits diamètres sans augmenter exagérément le nombre de mailles dans les grands diamètres.
- Les conditions initiales (pression initiale de 21 bar abs, gradient de concentration dans tout le domaine, canalisations de très grand diamètre) sont très inhabituelles, si bien qu'il n'a pas été possible de trouver dans la littérature des données expérimentales permettant de valider l'approche proposée.

Par conséquent, ces calculs doivent être considérés comme exploratoires et les résultats obtenus avec une grande prudence, et uniquement de manière qualitative.

Une première série de calculs a été réalisée avec une géométrie simplifiée depuis l'entrée dans le pôle Etrez jusqu'aux bypass des rampes de régulation. Les changements de section de canalisation sont pris en compte. Le filtre est représenté, mais pas son encombrement interne. Une condition aux limites en pression est imposée à l'entrée du pôle Etrez (21 bar abs). Les bypass sont supposés fermés. Différents points d'enregistrement de la pression sont positionnés, dans la lyre et la gare d'une part (P1 à P5), et autour des rampes de régulation et du filtre d'autre part (P6 à P10).

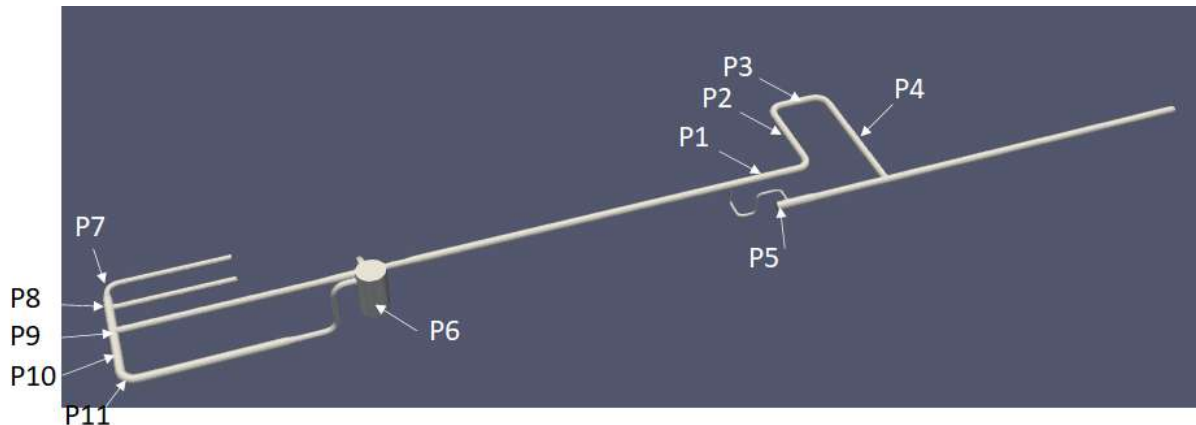


Figure 17 : Domaine de calcul et points de mesure de pression

Un raffinement est réalisé dans la lyre, avec des points en paroi de part et d'autre des coudes en plus des points dans l'axe de la canalisation.

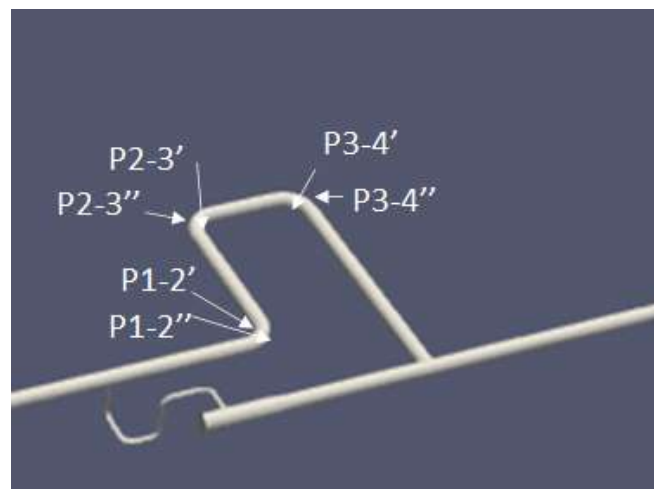


Figure 18 : Points de mesure de pression dans la lyre

Le mélange est supposé homogène et stœchiométrique dans tout le domaine de calcul. Le gradient de concentration n'est donc pas pris en compte.

Quatre points d'inflammation ont été considérés :

- Au niveau du compteur (PI1)
- Dans le filtre (PI2)
- Dans la rampe n°1 (PI3)
- En amont de la lyre (PI4)

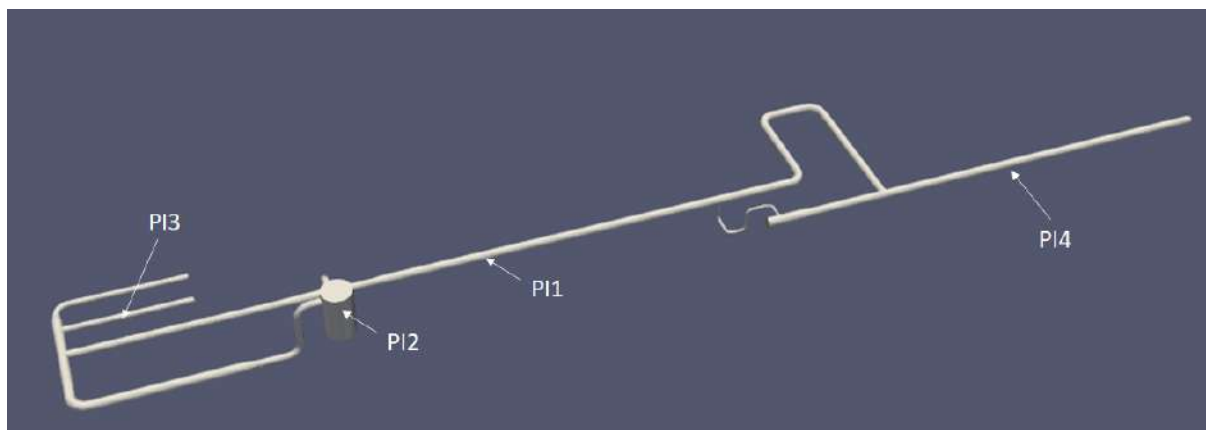


Figure 19 : Localisation des points d'inflammation

Les pressions maximales calculées sont présentées dans le tableau suivant :

	LYRE - centre des lignes				LYRE - COUDES						BOUT	FILTRE	PARTIE GAUCHE				
	1	2	3	4	12'	12''	23'	23''	34'	34''	5	6	7	8	9	10	11
PI1	61,6	58,7	59,3	59,4	56,4	64,2	55,9	72,3	56,0	66,9	59,4	93,7	NA	179,5	161,3	112,8	133,8
PI2	30,8	31,1	31,6	29,8	30,0	31,2	31,3	32,7	29,9	31,4	31,0	32,4	NA	33,3	32,6	32,0	32,1
PI3	50,8	50,8	51,1	49,9	49,7	53,3	49,4	53,9	48,5	53,2	136,5	67,0	NA	88,5	84,6	85,3	84,8
PI4	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,6	20,3	NA	20,3	20,3	20,3	20,3

Tableau 5 : Pressions d'explosion calculées

Ces résultats ne sont pas cohérents avec les observations de terrain :

- La pression maximale dans la lyre n'excède pas quelques dizaines de bar, ce qui est nettement insuffisant pour expliquer sa rupture ; elle est peu sensible à la position du point d'inflammation.
- Le point d'inflammation au niveau du compteur donne les pressions les plus élevées près des rampes de régulation, ce qui est contraire à ce qui a été observé.
- Il n'y a aucun effet de réflexion visible dans les coudes de la lyre.

Devant l'échec relatif de ces simulations, un deuxième jeu de calcul a été démarré avec un maillage plus fin, en se concentrant sur l'inflammation dans le filtre. Malheureusement de nombreux problèmes d'instabilités numériques sont apparus avec ce maillage, qui n'ont pas permis de mener les calculs à leur terme. Le sens de propagation de l'explosion n'a donc pu être déterminé.

3.3 Recherche de la source d'inflammation

L'amorçage de l'explosion nécessite la présence d'une source d'inflammation en contact avec l'atmosphère explosive. On rappelle qu'il n'y avait pas de mouvement de gaz au moment de l'explosion. Dès lors, trois explications sont possibles :

- Une source d'inflammation « transitoire » (par exemple une étincelle, un choc, un frottement) est apparue quelque part dans le mélange de gaz inflammable.
- Une source d'inflammation « permanente » (par exemple un point chaud) a été atteint, avec retard, par un mélange de gaz inflammable longtemps après la fermeture des vannes sous l'effet de la diffusion lente du gaz naturel dans l'air.
- Une source d'inflammation « lente » (par exemple un auto-échauffement, la combustion d'un dépôt pyrophorique) a été activée par l'opération de remise en gaz et a déclenché l'explosion avec retard.

La norme EN1127-1 « Atmosphères explosives - Prévention de l'explosion et protection contre l'explosion - Partie 1 : notions fondamentales et méthodologie » liste les sources d'inflammation possibles. Une analyse de ces différentes sources a été réalisée et est présentée en Annexe 3. Elle permet d'identifier 9 scénarios possibles d'inflammation :

- **Scénario 1 - inflammation par un choc mécanique** : choc d'une pièce métallique à grande vitesse à l'intérieur d'une canalisation. Ce scénario est très peu probable car il n'y avait pas de gaz en mouvement au moment de l'explosion. Les fragments métalliques retrouvés dans les canalisations sont vraisemblablement une conséquence et non une cause de l'explosion.
- **Scénario 2 - inflammation par frottement** : manœuvre d'une vanne qui aurait généré un point chaud ou une particule incandescente. Ce scénario est très peu probable car d'après le témoignage des opérateurs il n'y avait pas de manœuvre de vanne au moment de l'explosion.
- **Scénario 3 – inflammation par un équipement électrique** : ce scénario fait l'objet de la question 3.
- **Scénario 4 : inflammation par étincelle** due à un défaut de la protection cathodique. D'après le témoignage des opérateurs, la protection cathodique était installée et fonctionnelle. Ce scénario n'a pas été étudié plus avant.
- **Scénario 5 : inflammation** par étincelle due à une décharge électrostatique dans les canalisations. Ce scénario est très peu probable car il n'y avait pas de gaz en mouvement au moment de l'explosion. De plus toutes les canalisations sont métalliques, donc conductrices.
- **Scénario 6 : inflammation par étincelle due à une décharge électrostatique provoquée par une intervention humaine**. Ce scénario est peu probable si l'on admet, conformément au témoignage des opérateurs, qu'il n'y avait aucune intervention en cours au moment de l'explosion.
- **Scénario 7 : inflammation par ondes ultrasoniques au niveau du compteur à ultrasons**. Ce scénario est très peu probable car le compteur était neuf et certifié.
- **Scénario 8 : inflammation par compression adiabatique et onde de choc**. Ce scénario est très peu probable car il n'y avait pas de gaz en mouvement au moment de l'explosion.
- **Scénario 9 : inflammation par des dépôts pyrophoriques**. Ce scénario est discuté à la question 4.

3.3.1 Question 3 : Evaluer la possibilité d'une cause électrique

La recherche de la source d'inflammation conduit à s'interroger sur la possibilité d'une mise en cause des différents matériels électriques montés sur les canalisations. Un recensement de ces matériels a été réalisé lors de la visite du 13 décembre 2021. On trouve notamment :

- Les commandes de vannes ;
- Les sondes de température ;
- Les sondes de pression ;
- Divers matériels de contrôle.

Tous ces matériels ont été installés neufs.

Une inflammation à l'extérieur des canalisations paraît très peu probable, car l'étanchéité de l'installation a été entièrement vérifiée avant la remise en gaz. De plus aucune fuite enflammée n'a été observée.

Les commandes de vanne ne sont pas en contact avec l'intérieur de la canalisation, elles ne peuvent donc pas être à l'origine d'une inflammation interne.

Les autres matériels ont fait l'objet d'une mission d'expertise confiée à l'Ineris, dont le rapport détaillé figure en Annexe 2. Cette expertise a été réalisée au Laboratoire des Matériels ATEX. Elle a porté sur les matériels électriques suivants :

- 19 sondes de pression PIT,
- 6 sondes de température TIT,
- 2 positionneurs,
- 4 manomètres,
- 1 capteur de température TE et son doigt de gant.

L'expertise a comporté :

- Une inspection visuelle extérieure.
- Une vérification du marquage et de son adéquation avec le zonage défini.
- Une mise sous tension, pour vérifier si les matériels sont restés fonctionnels après l'accident.
- Le démontage et l'inspection visuelle interne, pour rechercher notamment la présence d'indices indiquant une étincelle, des traces d'échauffement ou de combustion.
- Un test d'étanchéité sur le doigt de gant.

Les conclusions de cette analyse sont les suivantes :

Sondes PIT

- Toutes les sondes de pression PIT ont été installées selon le mode de protection antidéflagrante Ex d. Les équipements encore pourvus d'un câblage électrique indiquent que les exigences de câblage de la norme EN 60079-14 ont été respectées.
- Hormis quelques impacts sur certaines têtes des transmetteurs, sûrement consécutifs à l'explosion, tous les équipements sont fonctionnels et le mode de protection Ex d ne semble aucunement dégradé.
- **Aucun élément ne laisse penser que les sondes PIT puissent être à l'origine de la source d'inflammation.**

Sondes TIT

- Toutes les sondes de température TIT ont été installées selon le mode de protection Ex d. Aucun équipement n'a été livré au laboratoire avec les câbles, si bien qu'il n'a pas été possible de vérifier la conformité de l'installation électrique des sondes TIT aux exigences de la norme EN 60079-14. Cependant toutes les sondes PIT, TIT et PE sont de conception identique.
- Hormis quelques impacts sur certaines têtes des transmetteurs, sûrement consécutifs à l'explosion, tous les équipements sont fonctionnels et le mode de protection Ex d ne semble aucunement dégradé.
- Les sondes TIT possèdent un marquage ATEX avec certificat pour l'assemblage de la sonde, des raccords et de la tête.
- **Aucun élément ne laisse penser que les sondes TIT puissent être à l'origine de la source d'inflammation.**

Positionneurs

- Les deux positionneurs installés sont certifiés selon les modes de protection Ex d et Ex e. Le câblage interne à l'équipement est conforme aux exigences de la norme EN60079-7. Les câblages externes n'étant pas présents, il n'a pas été possible de conclure sur la conformité de l'installation électrique des équipements aux exigences de câblage de la norme EN60079-14:2014.
- **L'intégrité des modes de protection des positionneurs est préservée et aucun élément ne laisse penser que ces équipements puissent être à l'origine de la source d'inflammation**, d'autant plus que leur installation n'est pas réalisée directement sur la conduite de gaz, mais sur le dessus de vannes pilotées.

Manomètres

- Les manomètres à tube de bourdon sont exclus du champ de la directive ATEX2014/34/UE car ne possédant aucune source d'inflammation propre.

Capteur de température 10-TE-77

- Ce capteur est protégé par le mode de protection Ex d et le câblage encore présent sur l'équipement semble indiquer que les exigences de câblage de la norme EN 60079-14 :2014 ont été respectées.
- L'expertise de ce capteur a révélé plusieurs anomalies :
 - o La tête de raccordement de la sonde PT100 possède un marquage ATEX composant et non un marquage ATEX matériel ;
 - o Un marquage ATEX équipement existe, mais celui-ci est le même que celui des assemblages des sondes TIT.
 - o La sonde PT100 est tordue et le raccord est cisailé à la base.
 - o Il y a une présence importante de rouille sur une des connexions électriques. Cependant celle-ci a pu se former après l'explosion (il s'est écoulé plusieurs mois entre la date de l'explosion et la date de réception du capteur à l'Ineris).
 - o Il y a un jeu sur le joint cylindrique anti-déflagrant du passage de la sonde PT100.
 - o On note la présence de dépôts blancs dans la tête.

- Ce capteur était monté sur un doigt de gant, juste en aval du compteur. Le test d'étanchéité réalisé sur ce doigt de gant n'a mis en évidence aucune fuite. **Aussi il est très peu probable que cette sonde ait pu jouer le rôle de source d'inflammation, même dans l'hypothèse où elle aurait été défailante.**

En conclusion, aucun des équipements électriques expertisés ne semble être la cause de l'inflammation.

3.3.2 Question 4 : Examiner l'hypothèse que l'énergie d'activation provienne de l'inflammation de matières pyrophoriques présentes dans le filtre

Une autre hypothèse consiste à envisager que l'amorçage de l'explosion proviendrait de l'inflammation d'un dépôt pyrophorique. Toute l'installation étant neuve à l'exception du filtre, c'est dans le filtre que la présence d'un dépôt pyrophorique est la plus probable.

La présence d'un dépôt pyrophorique proviendrait de l'accumulation lente, au fond du filtre, de sulfure de fer FeS par réaction d'impuretés soufrées (notamment H₂S) contenues dans le gaz naturel avec des oxydes de fer présents dans la cuve du filtre. Ce phénomène, bien connu dans l'industrie gazière⁷ a été étudié par GRTgaz. Le scénario envisagé est le suivant :

Le sulfure de fer est pyrophorique c'est-à-dire qu'il brûle spontanément en présence de l'oxygène de l'air. Cependant on peut imaginer que dans le filtre, le sulfure de fer ait été protégé de l'oxydation par les dépôts d'hydrocarbures lourds piégés tout au long de l'exploitation de l'installation, avant sa reconstruction de 2021.

En revanche, lors de la remise en gaz, le mouvement du gaz aurait mis en contact les dépôts pyrophoriques avec l'air ambiant dans le filtre tandis que l'augmentation de la pression partielle d'oxygène d'une part, et la condensation de la vapeur d'eau présente dans l'air du filtre d'autre part, aurait favorisé l'oxydation des dépôts pyrophoriques, éventuellement avec retard. L'inflammation de ces dépôts au contact de l'atmosphère explosive aurait ensuite amorcé l'explosion.

Ce scénario est plausible, mais résulte d'un enchaînement de circonstances qui reste très difficile à prouver. Aucun indice ne permet de démontrer que des dépôts pyrophoriques étaient présents dans le filtre, mêmes si les observations de terrain (traces de suie, dégâts observés) sont compatibles avec une inflammation dans le filtre. Néanmoins, les dégâts observés dans le filtre, et notamment les projections des éléments filtrants situés en partie supérieure montrent que l'explosion s'est propagée dans le filtre et a donc pu aussi y démarrer.

⁷ Zhan Dou, Li-Li Li, Zhe Liu, Yi-Meng Min, Shi-Jie Guo, Liang-Chao Chen, Qian-Lin Wang, Jing-Hai Li, Jian-Feng Yang, Jian-Wen Zhang, Jun-Cheng Jiang, Chi-Min Shu : *Oxidation to spontaneous combustion of pyrophoric iron sulphides in the process industries: A review*, J. Loss Prev. Proc. Ind. 85 (2023) 105171

4 Conclusion

L'accident résulte principalement de la présence anormale d'une atmosphère explosive à 21 bar abs dans l'installation pendant la phase de remise en gaz. Cette situation est particulièrement dangereuse pour les raisons suivantes :

- Le domaine d'inflammabilité est plus étendu qu'à pression atmosphérique ;
- L'atmosphère explosive est beaucoup plus sensible à l'inflammation qu'à pression atmosphérique ;
- En cas d'explosion, la pression d'explosion dépasse la pression de résistance des canalisations, notamment au niveau des coudes où des phénomènes de réflexion et de focalisation des ondes de pression peuvent se produire.

Il n'a pas été possible de déterminer avec certitude l'origine et la localisation de l'inflammation. Le matériel (électrique et non électrique) semble hors de cause. L'absence de mouvement de gaz et d'intervention humaine rend peu probable une inflammation par décharge électrostatique. Un défaut électrique sur la protection cathodique ne peut pas être complètement écarté, même si aucun fait ne permet de l'étayer. Finalement un faisceau de présomptions incite à penser que celle-ci aurait pu s'amorcer dans le filtre, sans que cela soit pour autant une certitude :

- Des traces de suies ont été relevées dans les canalisations autour du filtre ;
- Des pièces mécaniques légères (entretoises, lamelles de filtration) initialement présentes dans la partie haute du filtre ont été entraînées dans les canalisations et même à l'extérieur ;
- Le filtre (avec la gare racleur) est la seule installation récupérée de l'installation précédente. Des dépôts pyrophoriques ont pu s'y accumuler et amorcer la combustion lors de la remise en gaz (scénario discuté à la question 4).

5 Annexes

Liste des annexes :

- Annexe 1 : Lettre de mission
- Annexe 2 : Tableau de relevé de dégâts typiques
- Annexe 3 : Evaluation des différents scénarios d'inflammation à partir de la norme EN 1127-1
- Annexe 4 : Expertise du matériel électrique

Annexe 1 : Lettre de mission



Inspection générale de l'environnement
et du développement durable
Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
sur les risques industriels

BEA-RI
Risques industriels

Le 22/09/2021, le BEA-RI a ouvert une enquête sur l'évènement survenu le 20/09/2021 au sein de la station d'interconnexion de canalisations de transport de gaz exploitée par GRTgaz et située à Ars-sur-Formans (01).

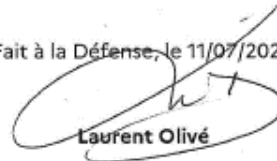
Deux enquêteurs du BEA-RI, accompagnés de deux experts de l'INERIS se sont rendus sur site le 24/09/2021. Selon les premiers éléments de l'enquête, cet accident semble être la conséquence d'une explosion interne, dans le cadre d'une procédure de mise en gaz après travaux, de l'installation.

Dans la continuité des constats conjoints dressés lors de cette visite, nous souhaiterions mobiliser l'expertise de l'INERIS, dans le cadre de sa coopération avec le BEA-RI, pour :

- Évaluer la sensibilité des limites d'inflammabilité du gaz naturel à la pression (bibliographie et historique) ;
- Reconstituer le mécanisme accidentel en fonction des dégâts et déformations observés sur site et d'outils de modélisation ;
- Évaluer la possibilité d'une cause électrique ;
- Examiner l'hypothèse que l'énergie d'activation provienne de l'inflammation de matières pyrophoriques présentes dans le filtre (bibliographie et historique).

Nous souhaiterions pouvoir disposer de vos conclusions au travers d'un rapport (au format pdf) selon un calendrier qui sera défini entre vos équipes et les enquêteurs en charge de l'affaire.

Fait à la Défense, le 11/07/2023



Laurent Olivé

Annexe 2 : Suppressions en fonction de dégâts types observés

Numéro	Type de dégâts constatés	Seuil (mbar)
1	Bruit de fond (137 dB, si basse fréquence 10-15Hz)	1 à 2
2	Bris de vitre occasionnel pour des vitres fragiles c'est-à-dire de grandes vitres peu épaisses	2
3	Bruit important (143 dB), "boum" sonique avec bris de glaces	2 à 3
4	Bris de vitre de grande dimension (INRS), (baies vitrées)	5 à 10
5	5% des vitres cassées (BIT), ces vitres sont prises au hasard petites ou grandes	7 à 10
6	10% des vitres brisées et limites des petits dommages (INRS)	20
7	50% des vitres cassées (BIT)	14 à 30
8	Dégâts structurels mineurs, cloisons et éléments de menuiserie arrachés, tuiles soufflées (BIT)	30 à 60
9	Bris notables de vitres (à 70 mbar a priori presque toutes cassées, petites et grandes) et parfois dislocation des châssis (INRS)	40 à 70
10	Portes et fenêtres enfoncées (BIT)	60 à 90
11	Le toit d'un réservoir de stockage a cédé	70
12	Joints entre des tôles ondulées en acier ou en aluminium arrachés	70 à 140
13	Lézardes et cassures dans les murs légers (plâtre, fibrociment, bois, tôle) toiture en fibrociments quasiment détruite	70 à 150
14	Dommages mineurs aux structures métalliques	80 à 100
15	Fissures dans la robe d'un réservoir métallique	100 à 150
16	Limite inférieure des dégâts graves (la plupart des dégâts sont « facilement » réparables et correspondent à des tuiles projetées, des vitres cassés, des panneaux tordus, ceci étant les premières fissures dans les murs apparaissent, ...)	140
17	Effondrement partiel de murs de 20cm d'épaisseur (INRS) – limite inférieure des dommages sérieux aux structures	140 à 150
18	Murs en parpaings ou en béton non armé détruits	150 à 200
19	Lézardes et cassures dans les murs béton ou parpaings non armés de 20 à 30 cm	150 à 250
20	Destruction de 50% des maisons en briques (INRS)	160 à 200
21	Maisons inhabitables, effondrement partiel ou total de la toiture, démolition d'1 ou 2 murs extérieurs, dégâts importants aux murs porteurs intérieurs (INRS)	140 à 280
22	Rupture des structures métalliques et déplacement des fondations	200
23	Rupture de réservoirs de stockage	200 à 500 / 250
24	Bardage acier des bâtiments arrachés, détruits	200 à 270
25	Rupture des structures métalliques autoporteuses industrielles	200 à 300
26	Fissure dans des réservoirs de stockage d'hydrocarbures vides	200 à 300
27	Déformations légères sur un rack de canalisations	200 à 300
28	Déplacement d'un rack de canalisations, rupture des canalisations	350 à 400
29	Maisons d'habitation détruites	350 à 500
30	Revêtement des bâtiments industriels légers soufflé	300
31	Destruction d'un rack de canalisations,	400 à 550
32	Dégâts sur une colonne de distillation	350 à 800
33	50-75% de la maçonnerie extérieure est détruite ou rendue instable (INRS)	350 à 800
34	Retournement de wagons chargés	500
35	Murs en briques, d'une épaisseur de 20 à 30 cm, détruits	500 à 600
36	Déplacement d'un réservoir de stockage circulaire, rupture des canalisations connectées	500 à 1 000
37	Renversement de wagons chargés, destruction de murs en béton armé	700 à 1 000
38	La structure porteuse d'un réservoir de stockage circulaire a cédé	1 000

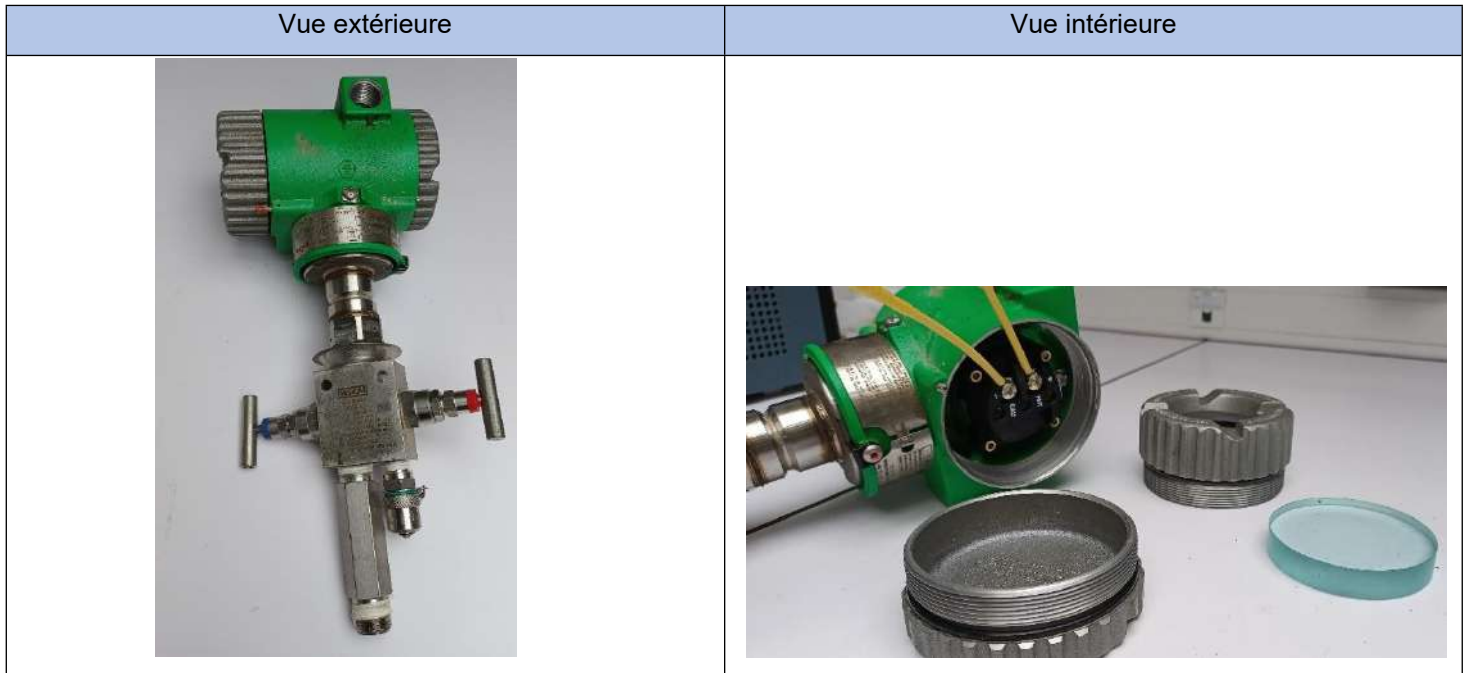
Annexe 3 : Evaluation des différents scénarios d'inflammation en considérant les sources d'inflammation listées dans la norme EN 1127-1 : 2019

Source d'inflammation	Scénario	Commentaires
Surfaces chaudes	Pas de scénario avec surfaces chaudes possible selon la description de l'accident	
Flammes et gaz chauds (y compris les particules chaudes)	Pas de scénario avec flammes et gaz chauds possible selon la description de l'accident	
Friction, choc et abrasion d'origine mécanique	Scénario 1 : des pièces métalliques ont été retrouvées à l'intérieur de la canalisation. Ces pièces projetées à une certaine vitesse pourraient avoir impacté les parois internes des canalisations, arrachant un morceau de matière oxydé et générant une paille incandescente.	<ul style="list-style-type: none"> Le rapport d'accident indique qu'il n'y avait pas de flux dans les conduites au moment de l'explosion. Aucune raison alors que les pièces métalliques soient projetées dans la conduite Si contrairement à ce qui est indiqué la purge avait débuté, sous 20 bar, alors les pièces métalliques auraient pu être déplacées à haute vitesse dans les conduites
	Scénario 2 : manœuvre d'une vanne qui aurait générée un point chaud ou une particule incandescente. Selon la description de l'accident pas de manœuvre de vanne au moment de l'explosion	<ul style="list-style-type: none"> Toutes les vannes sont d'un type certifié Vitesse de rotation des clapets très faible Les réducteurs sont d'un type certifié
Appareils électriques	Scénario 3 : étincelle ou point chaud venant d'un équipement électrique	<ul style="list-style-type: none"> Les équipements qui n'étaient pas en contact avec l'intérieur des canalisations peuvent être exclus du scénario car des tests d'étanchéités venaient d'être réalisés, donc pas de gaz autour des canalisations Les équipements restants sont tous certifiés Ex d. Il aurait donc dû avoir la concomitance d'un défaut électrique et d'un défaut sur la traversée antidéflagrante entre la tête de connexion et la canalisation Les sondes de température sont installées dans un doigt de gant donc pas en contact avec le gaz
Courants électriques vagabonds, protection cathodique contre la corrosion	Scénario 4 : étincelle due à un dysfonctionnement du système de protection cathodique. A priori une protection cathodique était installée et fonctionnelle au moment de l'explosion	<ul style="list-style-type: none"> En cas d'application d'un système de protection cathodique à courant imposé, les risques d'étincelles existent en cas de dysfonctionnement. Toutefois, si des anodes sacrificielles sont employées, les risques d'inflammation dus aux étincelles électriques sont improbables, sauf si les anodes sont en aluminium ou en magnésium.
Électricité statique	Scénario 5 : étincelle due à une décharge électrostatique dans les canalisations.	<ul style="list-style-type: none"> Le rapport d'accident indique qu'il n'y avait pas de flux dans les conduites avec un état statique L'ensemble des canalisations sont métalliques et donc conductrices, aucune matière ne peut se charger et donc se décharger

Source d'inflammation	Scénario	Commentaires
		<ul style="list-style-type: none"> • Si contrairement à ce qui est indiqué la purge avait débuté, sous 20 bar, alors possibilité de créer une capacité avec un élément métallique non relié à la terre ? pour cela il faudrait que les liaisons à la terre soient mal réalisées et que le gaz soit chargé en particules fines • Possibilité de générer une charge en sortie de robinet à 20 bar lors de la mesure de LIE ?
	Scénario 6 : étincelle due à une décharge électrostatique générée par l'intervention humaine	<ul style="list-style-type: none"> • Possible durant une manipulation sur un point d'ouverture gaz (purge, prise de mesure...). Il est indiqué dans la description de l'accident qu'il n'y avait aucune intervention humaine au moment de l'explosion
Foudre	Pas de scénario avec la foudre. Pas d'impact foudre enregistré ce jour là (source <i>Kaureanus.org</i>)	
Ondes électromagnétiques radiofréquences (RF) de 10 4 Hz à 3 × 10 11 Hz	Pas de scénario avec ondes électromagnétiques RF possible selon la description de l'accident	
Ondes électromagnétiques de 3 × 10 11 Hz à 3 × 10 15 Hz	Pas de scénario avec ondes électromagnétiques possible selon la description de l'accident	
Rayonnement ionisant	Pas de scénario avec rayonnement ionisant possible selon la description de l'accident	
Ondes ultrasoniques	Scénario 7 : échauffement liée aux ondes ultrasoniques du compteur SICK	<ul style="list-style-type: none"> • Equipement est d'un type certifié
Compression adiabatique et ondes de choc	Scénario 8 : une onde de choc s'est produite dans les canalisations générant un échauffement. Des ondes de choc sont produites, par exemple, lors de la décharge brutale de gaz sous haute pression dans les réseaux de canalisations. Pendant ce processus, les ondes de choc se propagent dans les zones de plus faible pression à une vitesse supérieure à la vitesse du son. Lorsque ces ondes sont diffractées ou réfléchies par les coudes des canalisations, les rétrécissements, les brides de raccordement, les vannes fermées, etc., de très hautes températures peuvent survenir	<ul style="list-style-type: none"> • Le rapport d'accident indique qu'il n'y avait pas de flux dans les conduites avec un état statique. • Si contrairement à ce qui est indiqué la purge avait débuté, celle-ci était sous 20 bar, est ce suffisant pour générer des compression adiabatique ou quasi adiabatique et/ou des ondes de choc
Réactions exothermiques, y compris l'auto-inflammation des poussières	Scénario 9 : présence de produits pyrophoriques dans le filtre qui auraient provoqué une inflammation ou présence d'un métal alcalin dans le fond du filtre qui aurait réagi avec de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Le gaz vient de la station de stockage et de compression d'Etrez, le gaz est réputé comme étant propre • Le filtre n'a pas été remplacé ni nettoyé pendant les travaux, des produits pyrophoriques ont pu s'y accumuler

Annexe 4 : Rapport d'expertise du matériel électrique

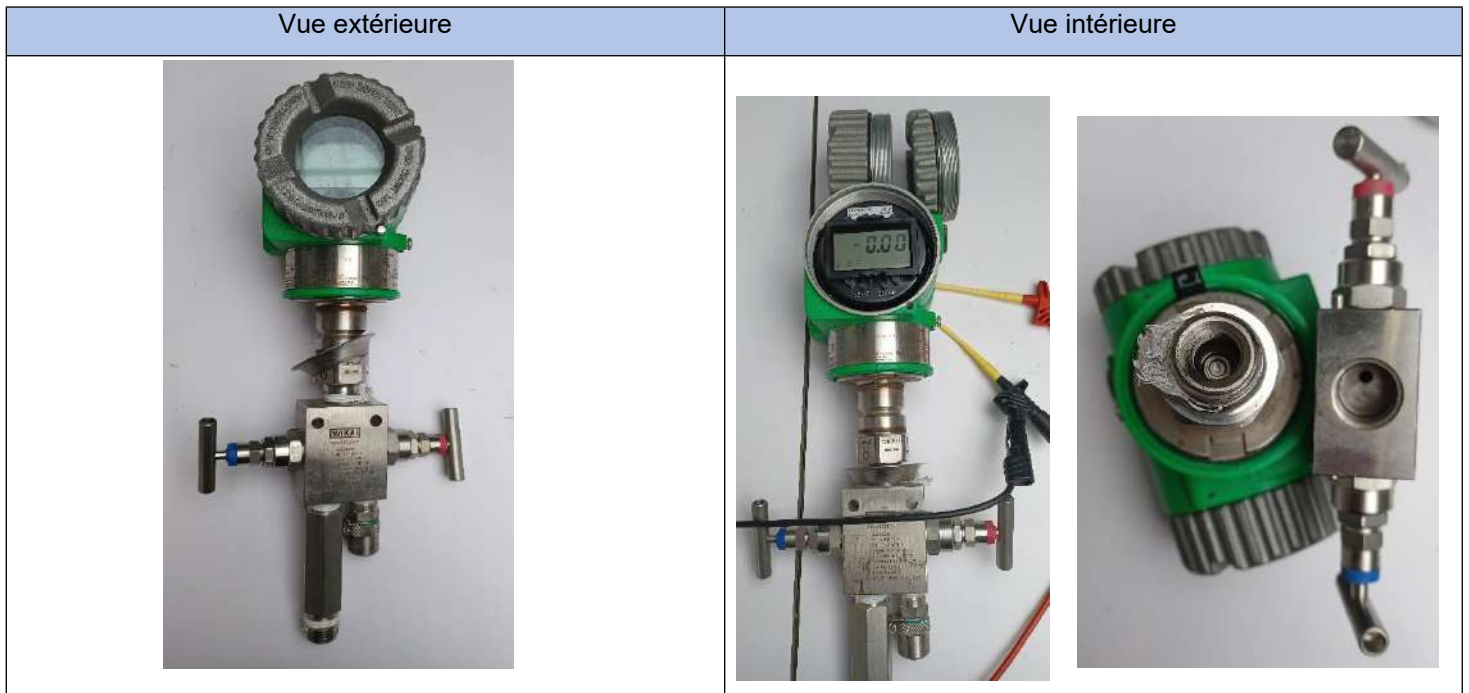
Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
07.04.2022		10-PIT-172-1



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312108	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de trace de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

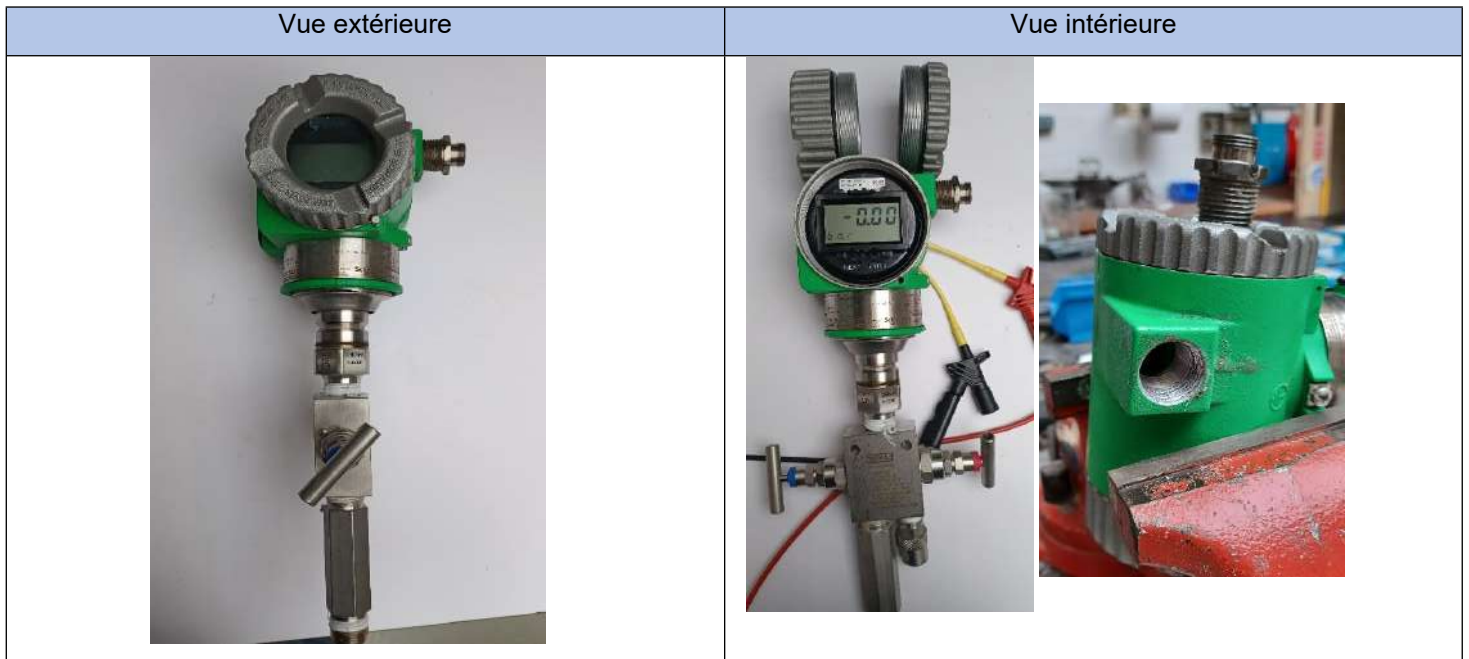
Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
07.04.2022		10-PIT-170B



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312103	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble de mise à la terre - Présence de suie dans le manifold <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

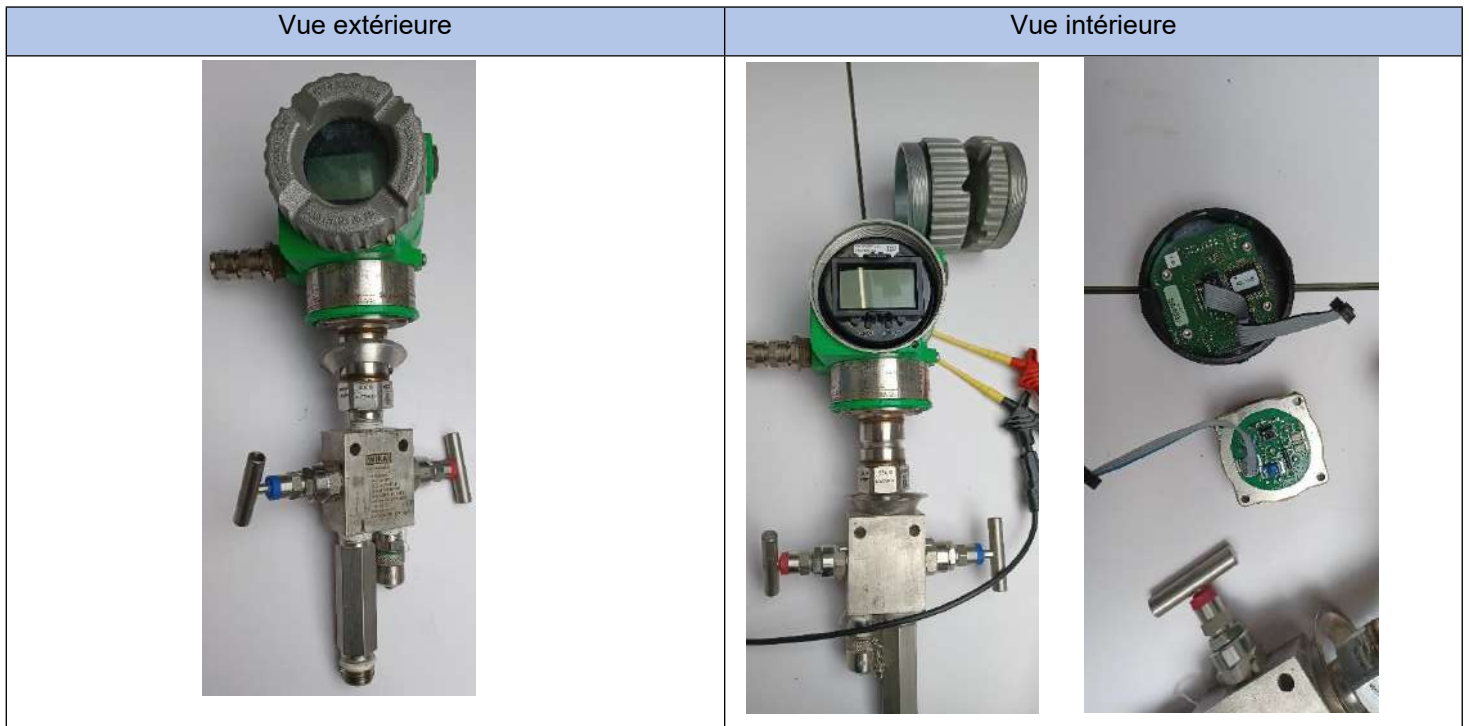
Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
07.04.2022		10-PIT-170C



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312104	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Présence d'une partie de l'entrée de câble (partie réduction). Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Présence d'une partie de l'entrée de câble (partie réduction). Entrée de câble supposée EATON ADE4F INERIS 12ATEX0032X. Lorsque le PE est desserré, les filets sont abimés du fait du serrage INOX sur aluminium. - Pas de câble de mise à la terre - Présence de suie dans le manifold <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel - Sur les matériels arrivés sans PE il n'y a pas la dégradation INOX/ALU, PE différent installé ?

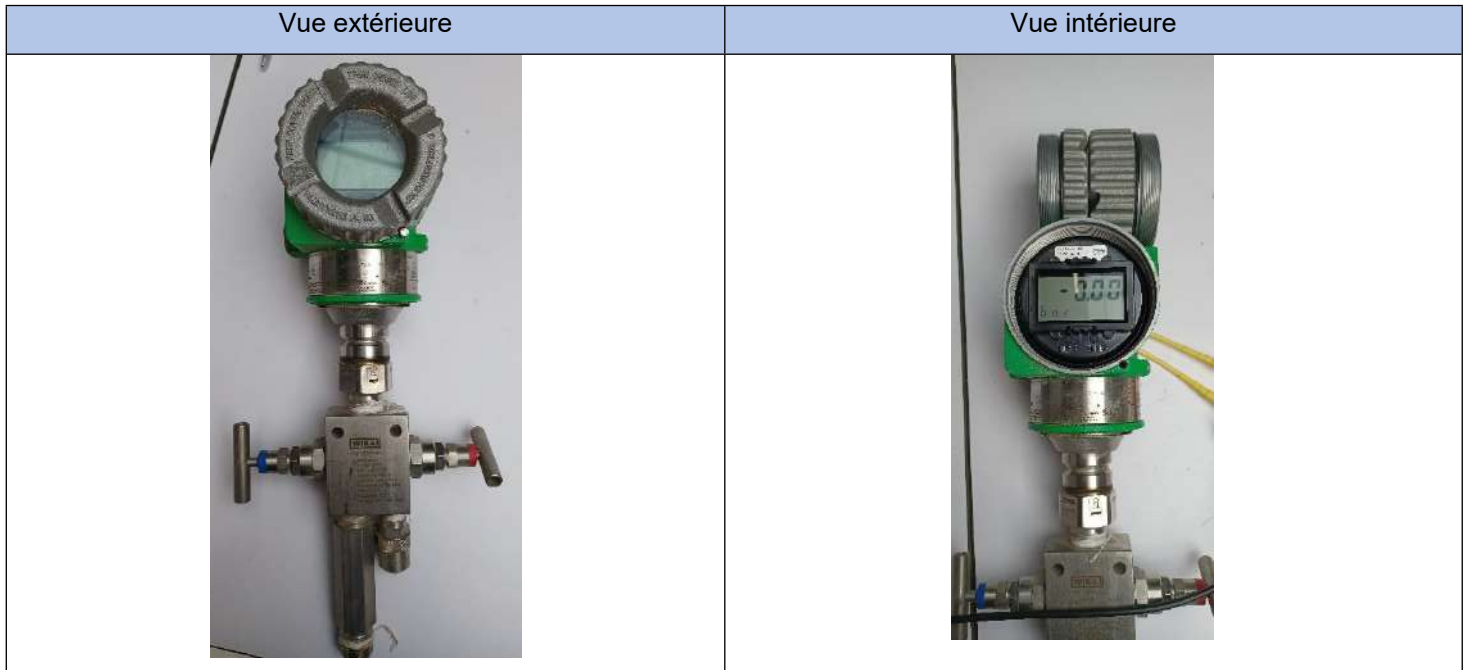
Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
07.04.2022		10-PIT-170A



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312102	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Entrée de câble EATON ADE4F INERIS 12ATEX0032X. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de présence de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
07.04.2022		10-PIT-182A-1



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312111	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de présence de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

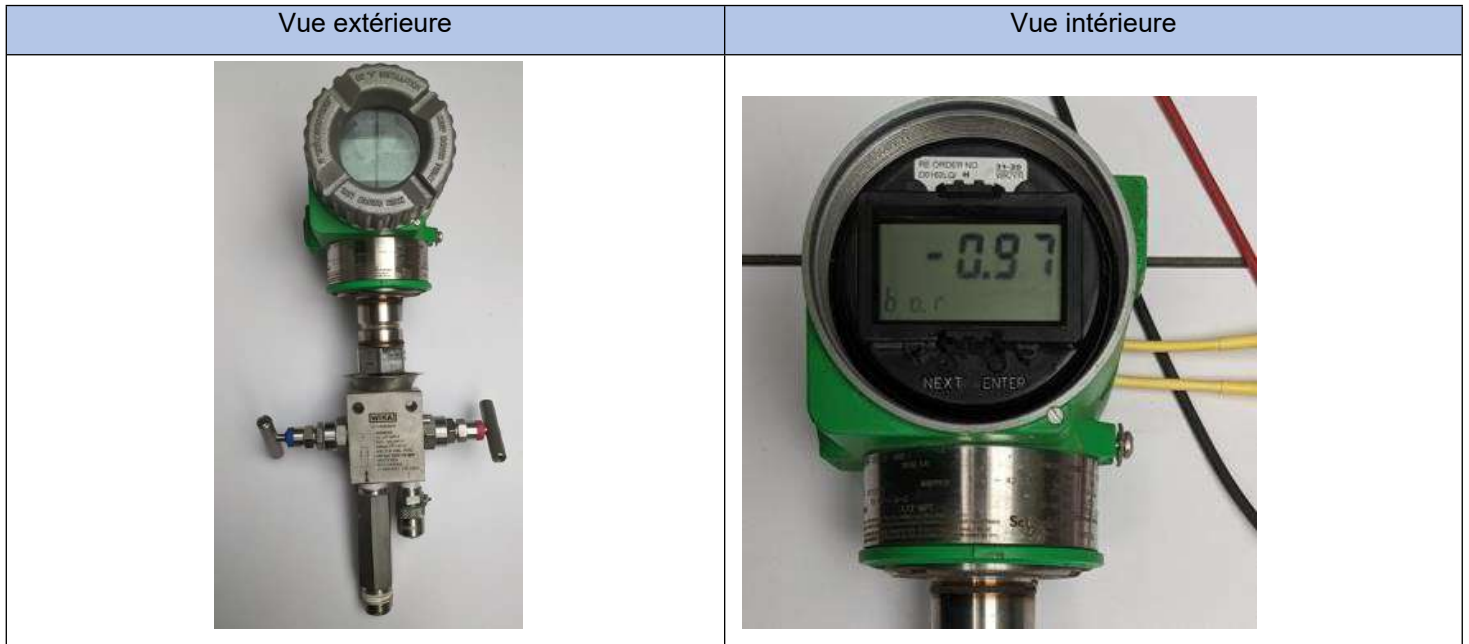
Date		TAG
12.04.2022	TRANSMETTEUR DE PRESSION	10-PIT-182B-2



Fabricant	Type	Numéro de série	Localisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312117	
Marquage ATEX	Numéro de certificat	T. Amb. utilisation	Entrées de câble et bouchons
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de présence de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

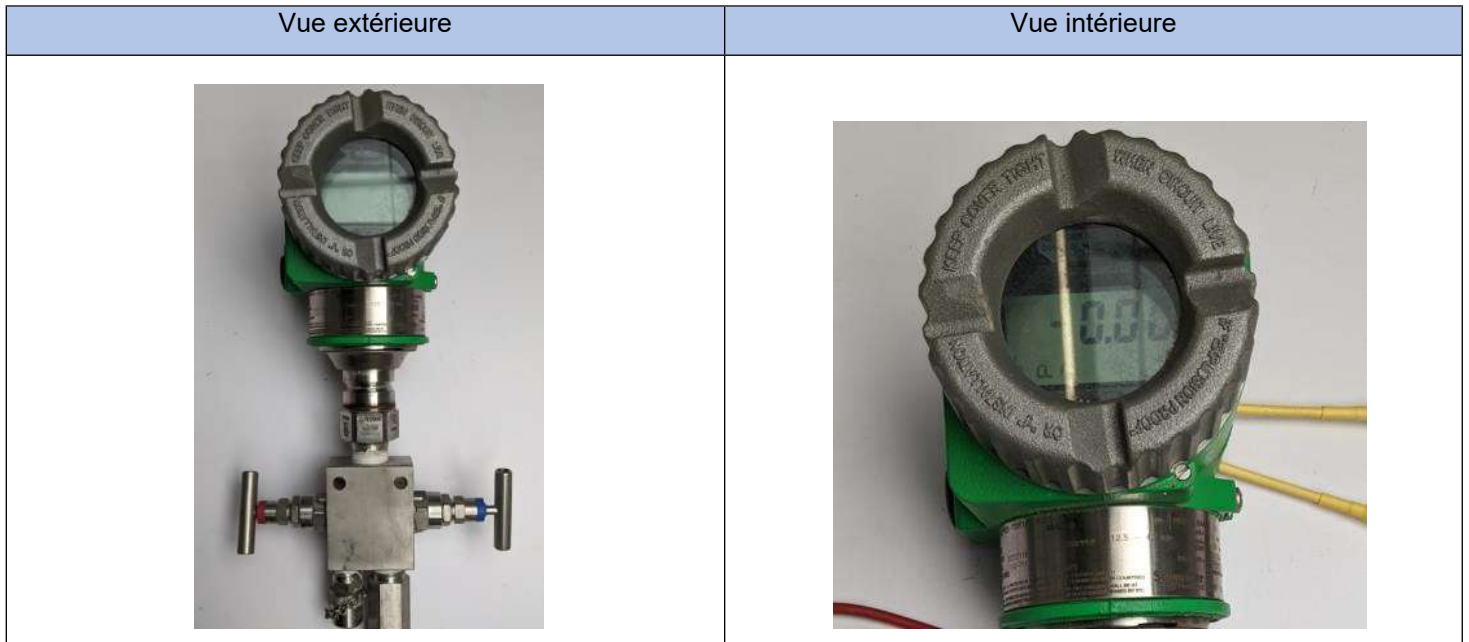
Date		TAG
12.04.2022	TRANSMETTEUR DE PRESSION	10-PIT-172-2



Fabricant	Type	Numéro de série	Localisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312114	
Marquage ATEX	Numéro de certificat	T. Amb. utilisation	Entrées de câble et bouchons
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC	SIRA 13ATEX4014X	-40°C ; +80°C	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon
Ou	Ou	Ou	
Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX1013X	-40°C ; +75°C	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de présence de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verre abimé - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

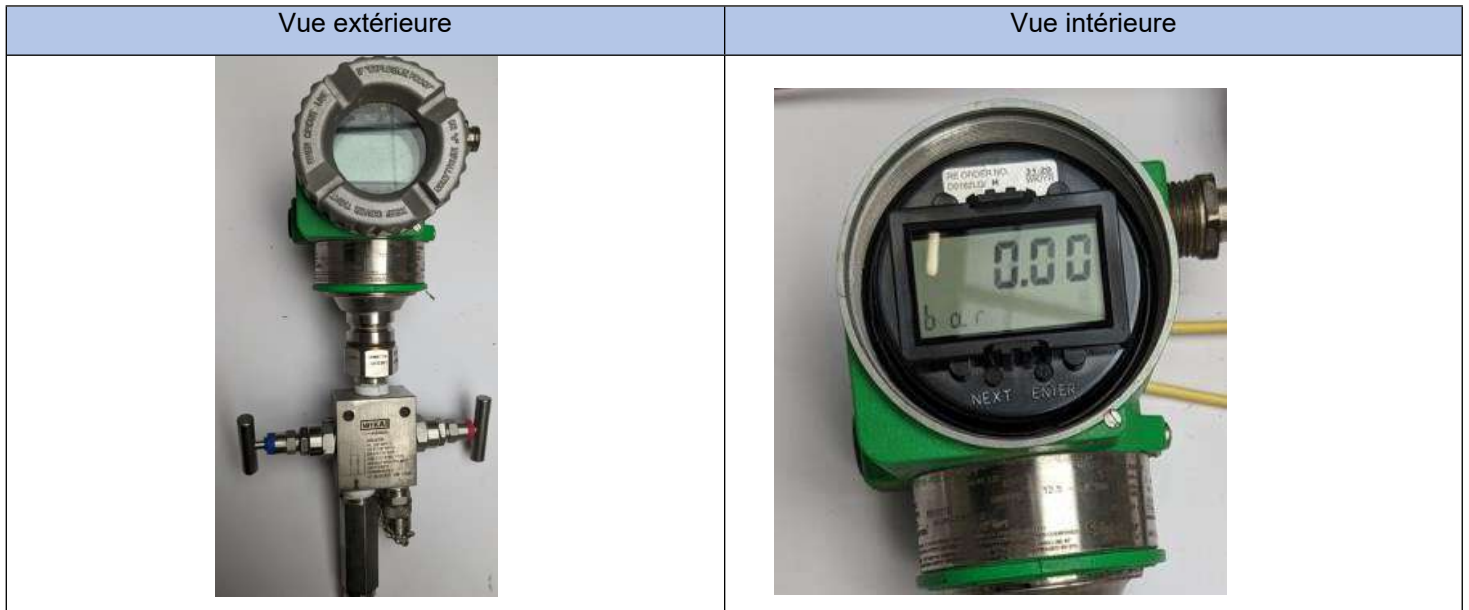
Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
12.04.2022		10-PIT-182A-2



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312116	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de présence de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
12.04.2022		10-PIT-179B-2



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312115	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Présence d'une partie de l'entrée de câble (partie réduction). Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de présence de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Présence d'une partie de l'entrée de câble (partie réduction). Entrée de câble supposée EATON ADE4F INERIS 12ATEX0032X. Lorsque le PE est desserré, les filets sont abimés du fait du serrage INOX sur aluminium. - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

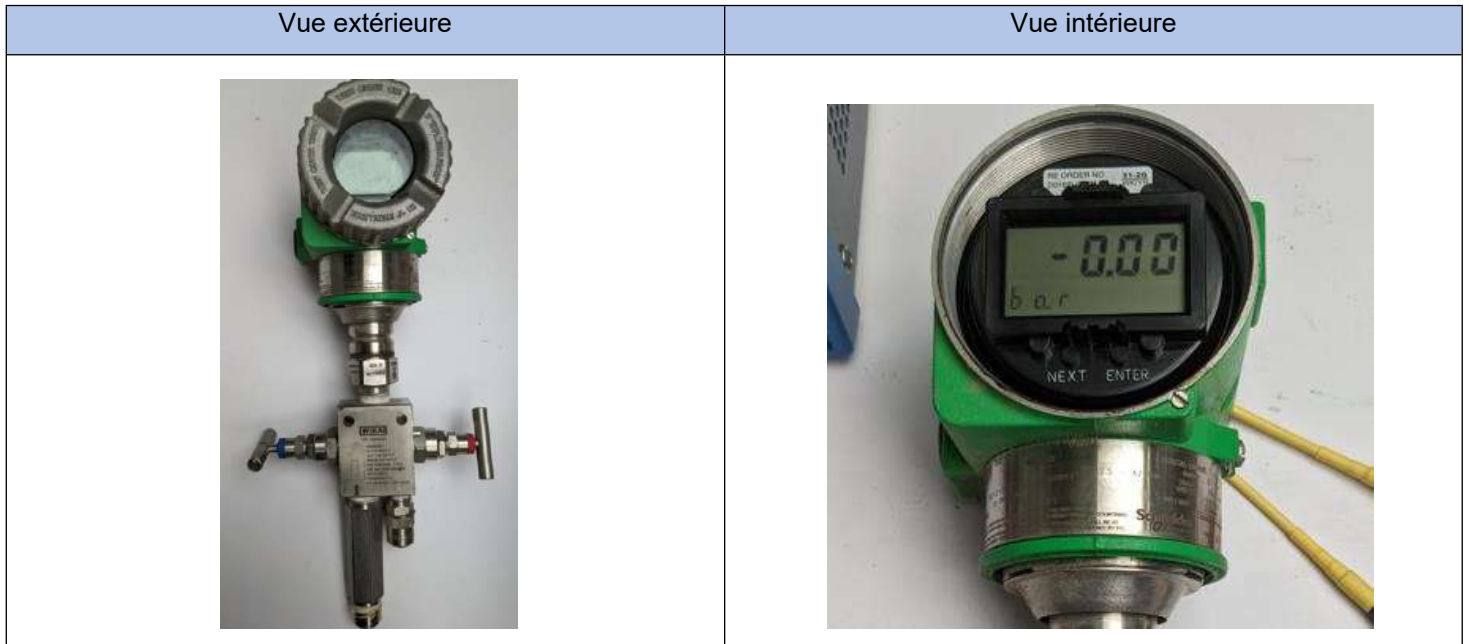
Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
12.04.2022		10-PIT-179A-2



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312113	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de présence de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verre abimé - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

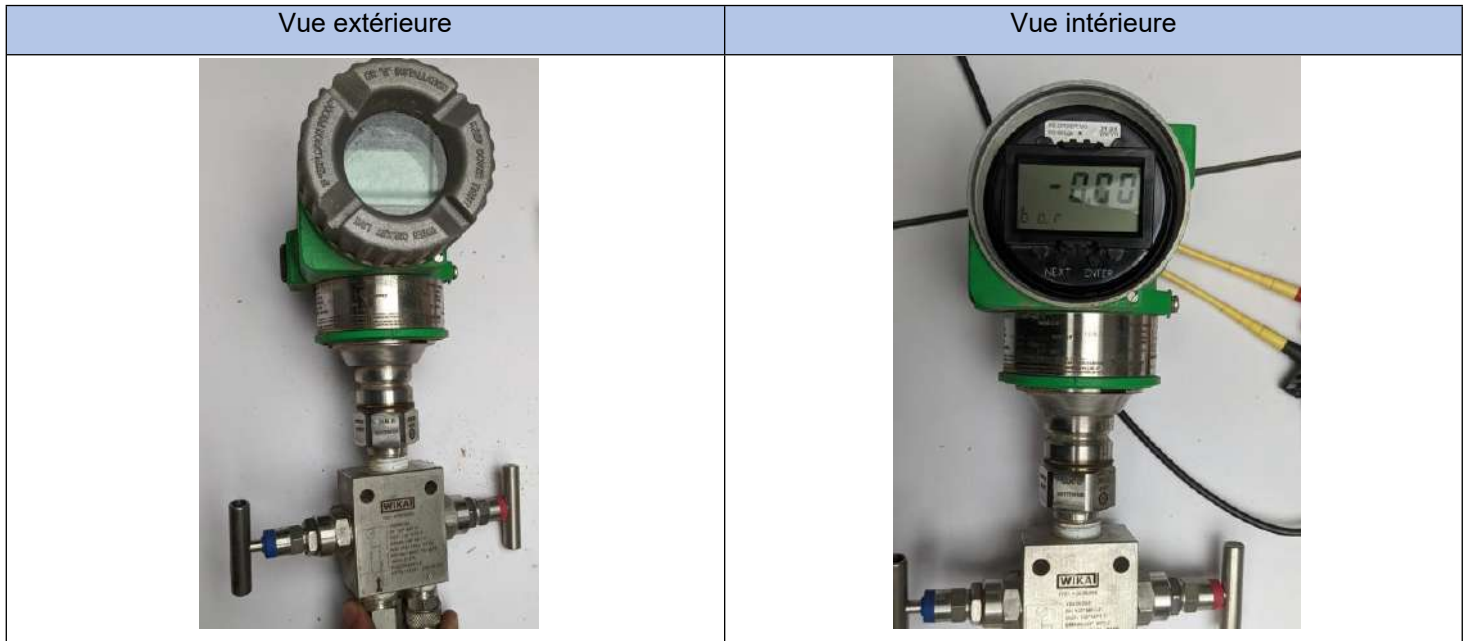
Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
12.04.2022		10-PIT-179A-1



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312109	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de présence de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente. Filet partiellement arraché / dégradé (inox/alu ?) - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
12.04.2022		10-PIT-179B-1



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312110	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de présence de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente. Filet partiellement arraché / dégradé (inox/alu ?) - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

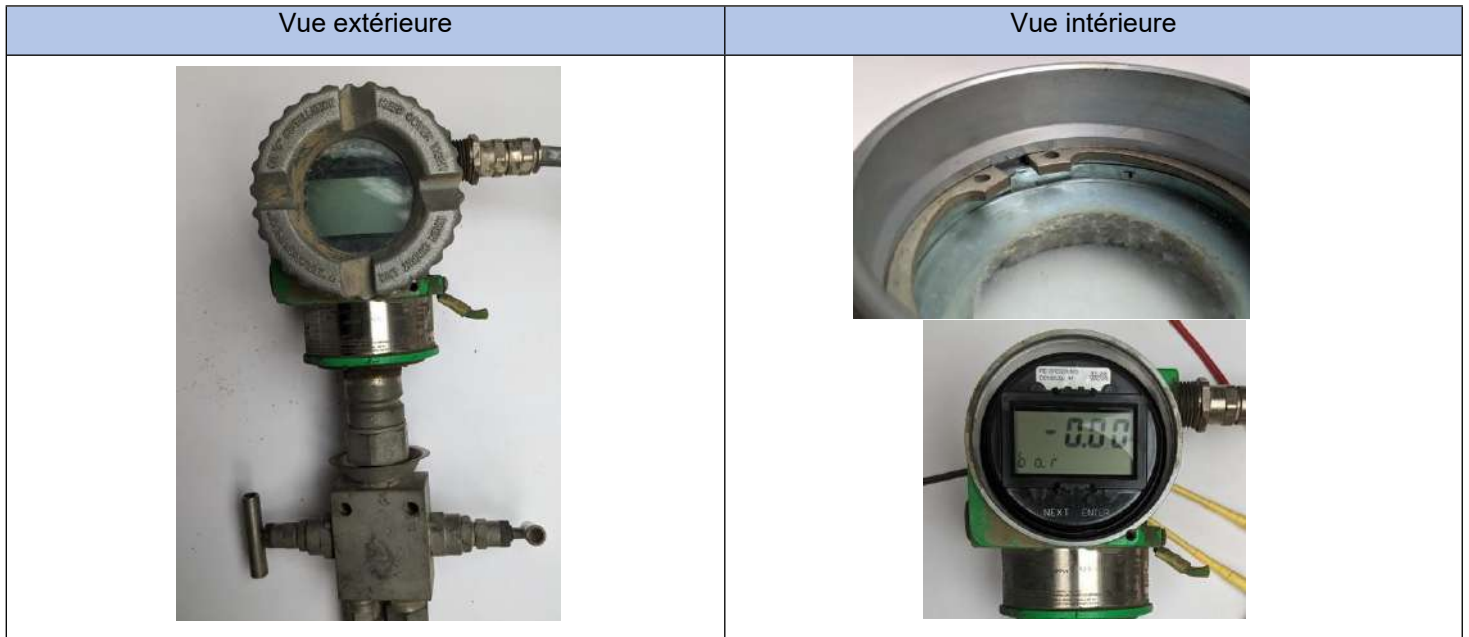
Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
12.04.2022		10-PIT-182B1

Vue extérieure	Vue intérieure
	 

Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312112	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Bonne intégrité du matériel - Pas de présence de suie dans le manifold <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corrosion sur la bague de maintien de vitre. - Pas d'entrée de câble présente. - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

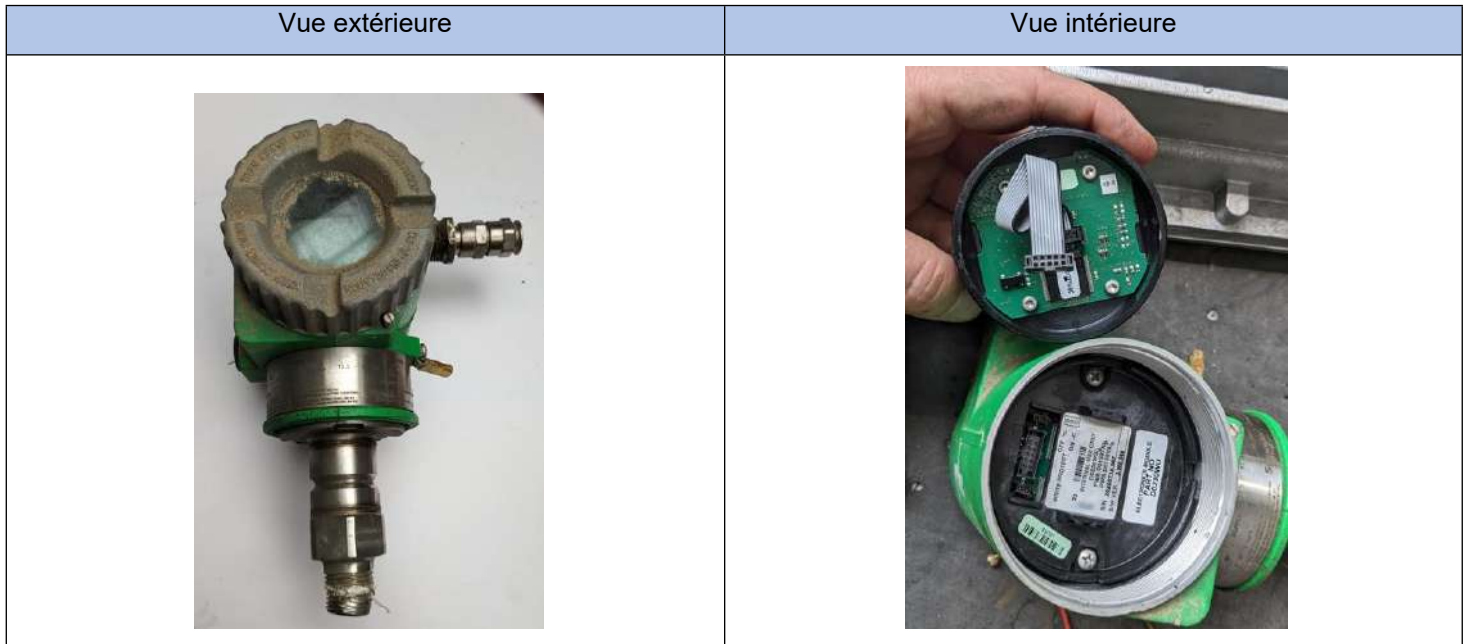
Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
12.04.2022		10-PIT-204C



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312107	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Entrée de câble EATON ADE4F INERIS 12ATEX0032X. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipement fonctionnel - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Pas de présence de suie dans le manifold - Cable de mise à la terre - Le démontage du PE ne laisse pas de trace sur les filets du corps. Bon graissage ? - Cable + PE correctement monté <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas de vis anti rotation - Verre abimé - Présence d'impacts sur enveloppe extérieure - Montage difficile capot arrière. Marque d'impact sur filetage depuis l'extérieur <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
12.04.2022		10-PIT-83



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312122	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Entrée de câble EATON ADE4F INERIS 12ATEX0032X. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Pas de présence de suie dans le manifold - Cable de mise à la terre - Cable + PE correctement monté <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipement non fonctionnel. Démontage des cartes électroniques faites, pas de composant grillé - Présence d'impacts sur enveloppe extérieure - Manifold non présent car cassé <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel



Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
12.04.2022		10-PIT-204B



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312106	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Entrée de câble EATON ADE4F INERIS 12ATEX0032X. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Pas de présence de suie dans le manifold - Cable de mise à la terre - Cable + PE correctement monté <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Présence d'impacts sur enveloppe extérieure - Montage difficile capot avant. Marque d'impact sur filetage depuis l'extérieur - Impact sur filetage du capot arrière lié à la déformation du capot <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel



Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
12.04.2022		10-PIT-204A

Vue extérieure	Vue intérieure
	

Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	IGP10S-T52E1APM8L1	20312105	-40°C ; +80°C Ou -40°C ; +75°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 3 G Ex ic IIC T4 GC Ou Ex II 2 G Ex db IIC T6 Gb	SIRA 13ATEX4014X Ou SIRA 13ATEX1013X	Entrée de câble EATON ADE4F INERIS 12ATEX0032X. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Pas de présence de suie dans le manifold - Cable de mise à la terre - Cable + PE correctement monté <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en ic ou en db - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel

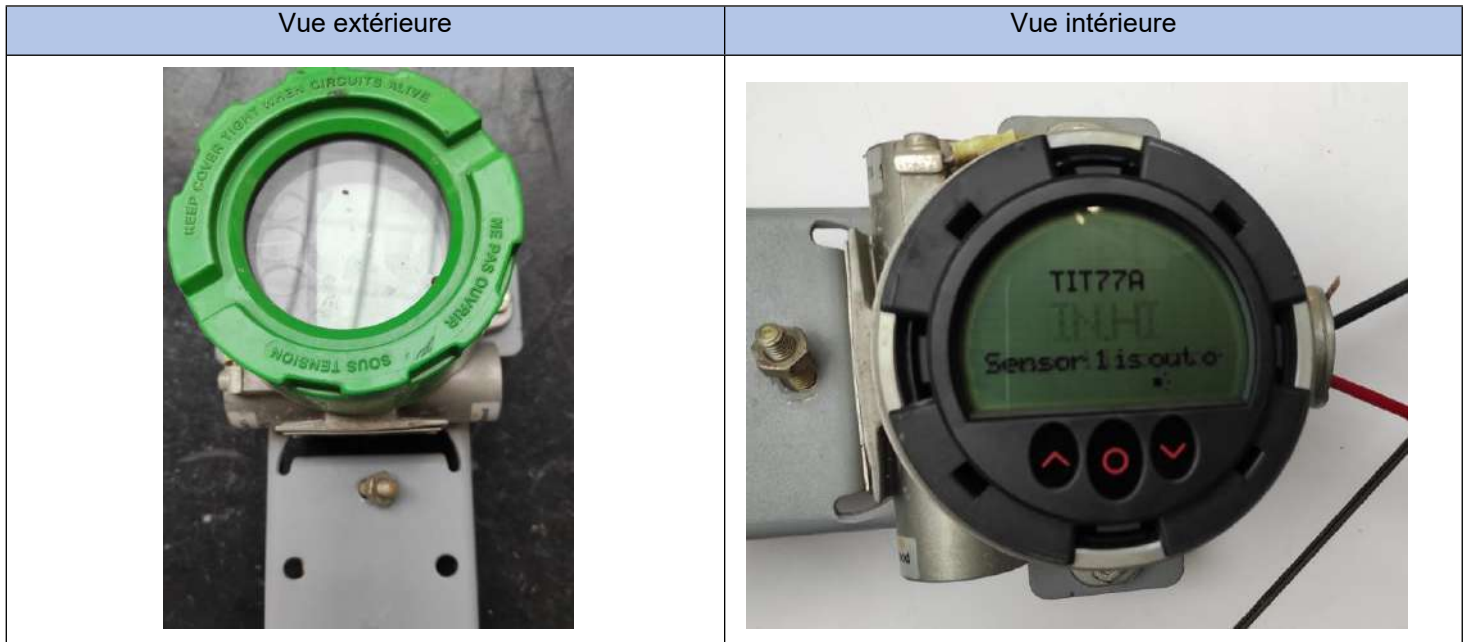
Date	TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE	TAG
12.04.2022		10-TIT-77B

Vue extérieure	Vue intérieure
	

Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	RTT15S-T1S11ANAADL1M1	20312146	-20°C ; +85°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 2 G Ex d IIC T6...T4 Gb	DEKRA 16ATEX0076X	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble de mise à la terre <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel



Date	TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE	TAG
13.04.2022		10-TIT-77A



Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
SCHNEIDER ELECTRIC	RTT15S-T1SA1ANAADL1M1	20312145	-20°C ; +85°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 2 G Ex d IIC T6...T4 Gb	DEKRA 16ATEX0076X	Pas d'entrée de câble installée. Pas de marquage lisible sur le bouchon	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête - Présence câble terre externe et fil terre interne <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suivi maintenance du matériel - Bouchon inclus dans la certification du matériel




Date	SONDE + TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE	TAG
13.04.2022		10-TIT-185-2

Vue extérieure	Vue intérieure
	

Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
Berger	CSADF modèle 1P252T1	85111-005	-20°C ; +60°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 2 G Ex d IIC T6 Gb	LCIE 11ATEX3020X	Pas d'entrée de câble installée. Bouchon Rosemount Ex d IIC : KEMA 07ATEX0074	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble terre externe ni fil de terre interne <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Est-ce que la certification LCIE 11ATEX3020X couvre l'assemblage composé des éléments suivants : ○ Transmetteur Schneider RTT15S-T1SA1ANAAD-L1 s.n. 20312151 ○ Adaptateur Cortem CESI 99ATEX034U ○ Bouchon Rosemount KEMA 07ATEX0074 ○ Sonde de température - Suivi maintenance du matériel




Date	SONDE + TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE	TAG
13.04.2022		10-TIT-178-2

Vue extérieure	Vue intérieure
	 

Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
Berger	CSADF modèle 1P252T1	85111-003	-20°C ; +60°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 2 G Ex d IIC T6 Gb	LCIE 11ATEX3020X	Pas d'entrée de câble installée. Bouchon Rosemount Ex d IIC : KEMA 07ATEX0074	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble terre externe ni fil de terre interne <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Est-ce que la certification LCIE 11ATEX3020X couvre l'assemblage composé des éléments suivants : <ul style="list-style-type: none"> o Transmetteur Schneider RTT15S-T1SA1ANAAD-L1 s.n. 20312149 o Adaptateur Cortem CESI 99ATEX034U o Bouchon Rosemount KEMA 07ATEX0074 o Sonde de température - Suivi maintenance du matériel




Date	SONDE + TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE	TAG
13.04.2022		10-TIT-178-1

Vue extérieure	Vue intérieure
	 

Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
Berger	CSADF modèle 1P252T1	85111-002	-20°C ; +60°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 2 G Ex d IIC T6 Gb	LCIE 11ATEX3020X	Pas d'entrée de câble installée. Bouchon Rosemount Ex d IIC : KEMA 07ATEX0074	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble terre externe ni fil de terre interne <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Est-ce que la certification LCIE 11ATEX3020X couvre l'assemblage composé des éléments suivants : <ul style="list-style-type: none"> ○ Transmetteur Schneider RTT15S-T1SA1ANAAD-L1 s.n. 20312148 ○ Adaptateur Cortem CESI 99ATEX034U ○ Bouchon Rosemount KEMA 07ATEX0074 ○ Sonde de température - Suivi maintenance du matériel



Date	SONDE + TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE	TAG
13.04.2022		10-TIT-185-1

Vue extérieure	Vue intérieure
	 

Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
Berger	CSADF modèle 1P252T1	85111-004	-20°C ; +60°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 2 G Ex d IIC T6 Gb	LCIE 11ATEX3020X	Pas d'entrée de câble installée. Bouchon Rosemount Ex d IIC : KEMA 07ATEX0074	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Equipement fonctionnel - Aucune marque sur le verre - Aucune trace d'inflammation / d'explosion dans la tête <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble terre externe ni fil de terre interne <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Est-ce que la certification LCIE 11ATEX3020X couvre l'assemblage composé des éléments suivants : <ul style="list-style-type: none"> o Transmetteur Schneider RTT15S-T1SA1ANAAD-L1 s.n. 20312150 o Adaptateur Cortem CESI 99ATEX034U o Bouchon Rosemount KEMA 07ATEX0074 o Sonde de température - Suivi maintenance du matériel

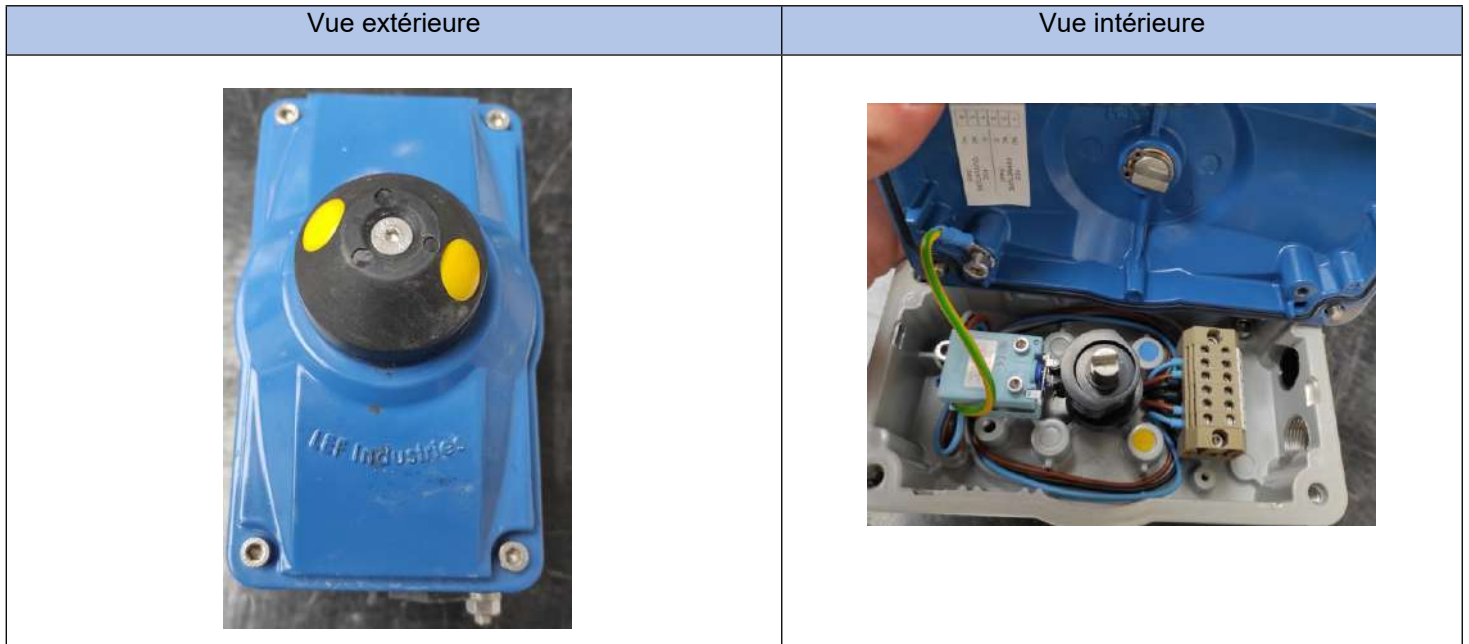
Date	LEF 730-LC1-2GD INTERRUPTEURS MÉCANIQUES	TAG
27.04.2022		Pas de TAG

Vue extérieure	Vue intérieure
	

Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
LEF Industries	LEF 730-00-22-26-21-21LC1	RI 147964-2021	-20°C ; +60°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
II 2 G Ex ed IIC T6	INERIS 03ATEX0183X	Pas d'entrée de câble installée. Bouchon certifié LCIE 03ATEX0033U	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etanchéité assurée, bon état du joint - Aucune trace d'inflammation / d'explosion - Terre interne, continuité couvercle corps <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble terre externe <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suivi maintenance du matériel - TAG du matériel

Date	LEF 730-LC1-2GD INTERRUPTEURS MÉCANIQUES	TAG
27.04.2022		Pas de TAG

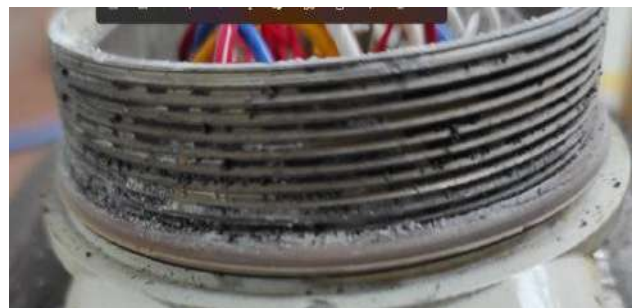
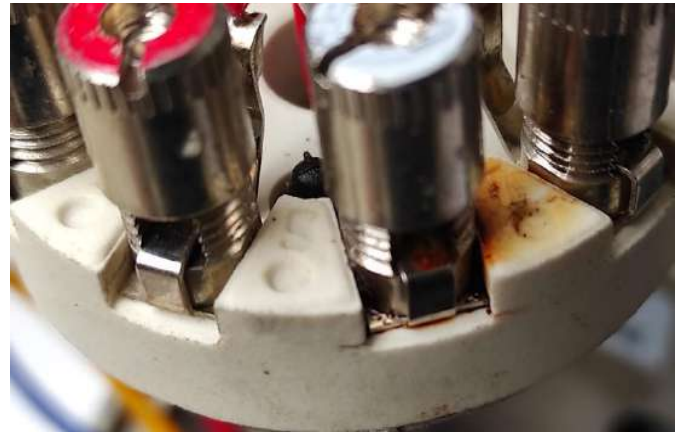


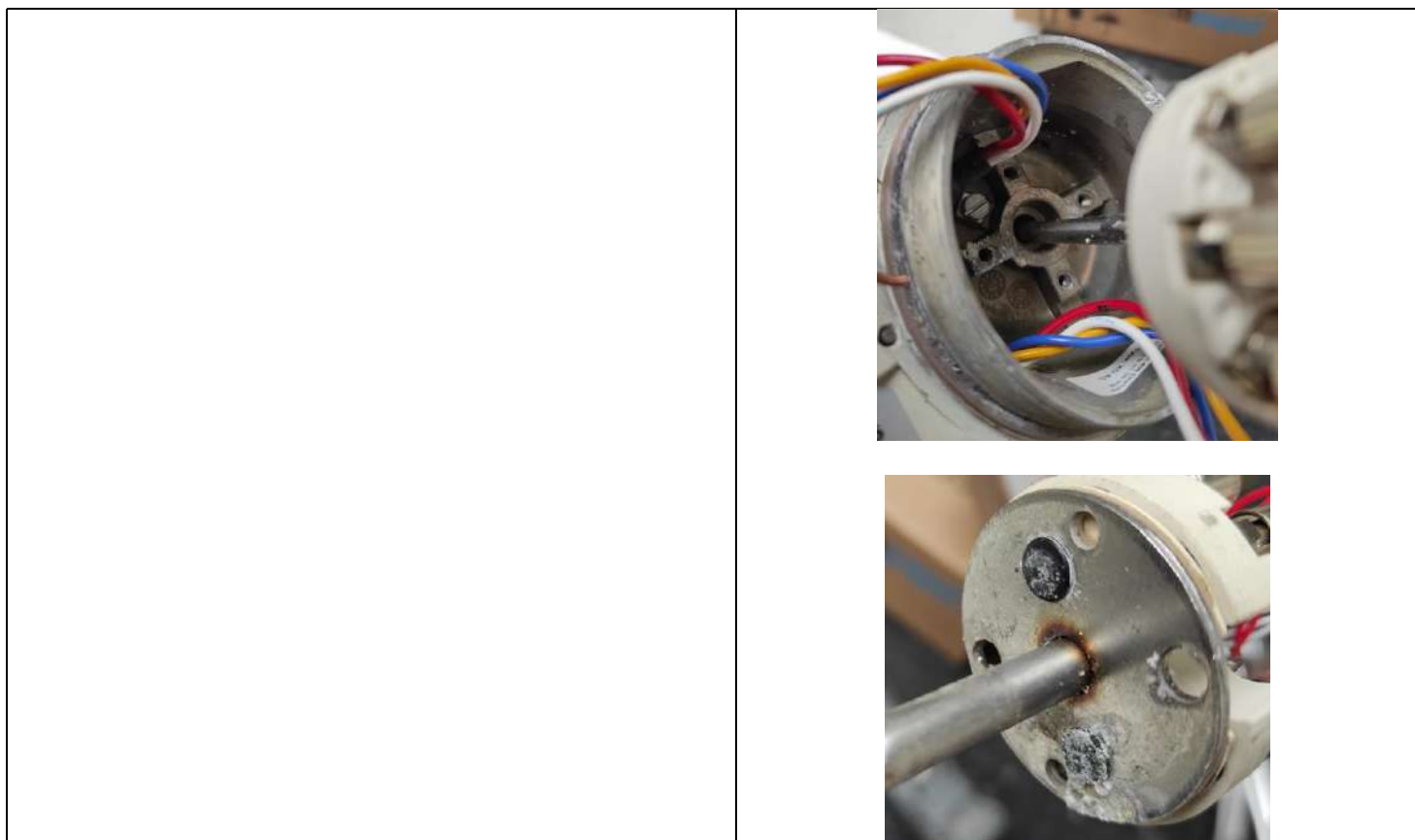
Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
LEF Industries	LEF 730-00-22-26-21-21LC1	RI 147965-2021	-20°C ; +60°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
II 2 G Ex ed IIC T6	INERIS 03ATEX0183X	Pas d'entrée de câble installée. Bouchon certifié LCIE 03ATEX0033U	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etanchéité assurée, bon état du joint - Aucune trace d'inflammation / d'explosion - Terre interne, continuité couvercle corps <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'entrée de câble présente - Pas de câble terre externe <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suivi maintenance du matériel - TAG du matériel

Date		TAG
27.04.2022	SONDE + TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE	10-TE-77

Vue extérieure	Vue intérieure
----------------	----------------





Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
Berger	CSADF modèle 1P232B1	85111-004	-20°C ; +60°C
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Ex II 2 G Ex d IIC T6 Gb	LCIE 11ATEX3020X	Pas d'entrée de câble installée. Bouchon Rosemount Ex d IIC : KEMA 07ATEX0074	

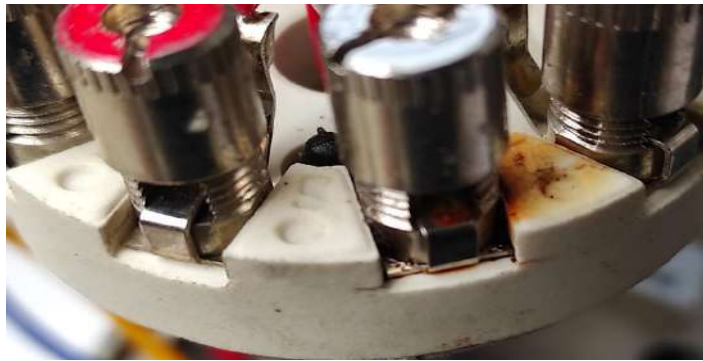
Inspection

Positif :

- Terre externe

Négatif :

- Mauvais état du matériel, sonde pliée, tube coupé
- Pas de plaque de marquage ATEX sur le transmetteur –
- Présence de corrosion au niveau d'un plot de borne



- Beaucoup de jeu pour le joint Ex entre le corps et la tuyauterie



Questions :

- Suivi maintenance du matériel
- TAG non identifié dans le plan
- Caractère antidéflagrant du matériel, besoin du dossier du LCIE pour effectuer un contrôle dimensionnel et vérifier dans leur assurance qualité fabrication que le contrôle dimensionnel a bien été effectué.
- Certification ATEX de l'équipement, il possède la même plaque de marquage que les autres sondes + transmetteurs Berger CSADF modèle 1P252T1 certificat LCIE 11ATEX3020X, alors que le transmetteur est différent :





Dans ce cas le transmetteur semble posséder uniquement une certification de composant FTZU 03ATEX0074U



- Nécessité d'analyser le dossier de certification du dossier LCIE 11ATEX3020X.
- Vérifier que cet équipement soit bien couvert par l'assurance qualité du LCIE (CE0081).



Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
27.04.2022		10-PIT-77

Vue extérieure	Vue intérieure
	

Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
YOKOGAWA	EJX610A	91X319986	Dépend de la température du process et du mode de protection, non identifié sur la plaque
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Dépend du mode de protection selon installation, non identifié sur la plaque : Ex db IIC T6...T4 Gb ou Ex ic IIC T4 Gb	KEMA 07ATEX0109X	Pas d'entrée de câble installée.	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Aucune trace d'inflammation / d'explosion - Pas de présence de suie - Cable de mise à la terre - Equipment fonctionnel <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Présence d'impacts sur enveloppe extérieure - Choix du mode de protection selon installation non identifié <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en db ou en ic - Suivi maintenance du matériel

Date	TRANSMETTEUR DE PRESSION	TAG
27.04.2022		10-PIT-84

Vue extérieure	Vue intérieure
	

Fabricant	Type	Numéro de série	T. Amb. utilisation
YOKOGAWA	EJX610A	90X715305	Dépend de la température du process et du mode de protection, non identifié sur la plaque
Marquage ATEX	Numéro de certificat	Entrées de câble et bouchons	
Dépend du mode de protection selon installation, non identifié sur la plaque : Ex db IIC T6...T4 Gb ou Ex ic IIC T4 Gb	KEMA 07ATEX0109X	Pas d'entrée de câble installée.	

Inspection
<p>Positif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aucune rayure sur les filets des capots - Aucune trace d'inflammation / d'explosion - Pas de présence de suie - Câble de mise à la terre - Equipement fonctionnel (partiellement car partie sonde arrachée) <p>Négatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Présence d'impacts sur enveloppe extérieure - Equipement arraché en deux - Choix du mode de protection selon installation non identifié <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation en db ou en ic - Suivi maintenance du matériel



**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>