

Rapport d'enquête

Sur l'explosion d'un réservoir de
stockage au sein du site industriel
Arlanxeo situé à La Wantzenau
(67) le 4 juillet 2024

Bordereau documentaire

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur l'explosion d'un réservoir de stockage au sein du site Arlanxeo situé à La Wantzenau (67)

N° : MTE-BEARI-2025-03

Date du rapport : 26 mars 2025

Proposition de mots-clés : explosion, décharge électrostatique, acrylonitrile, butadiène, nettoyage haute-pression.

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

Le 4 juillet 2024, une opération de nettoyage haute pression est en cours dans un réservoir de recyclage sur le site Arlanxeo de La Wantzenau (67). La société Sodi spécialisée dans la maintenance et le nettoyage industriel a été mandatée par la société Arlanxeo pour nettoyer un bac de récupération d'eau de process de fabrication du caoutchouc synthétique. L'opération consiste à nettoyer, à très haute pression, depuis l'extérieur, l'intérieur du bac au moyen d'une canne introduite dans le réservoir. Les opérateurs ont pris leur poste depuis près de 4 heures, lorsque le 4 juillet à 10h44 une vive explosion se produit. Le toit du bac est projeté à près de 170 m dans une zone naturelle limitrophe du site sans présence de personnes ou de biens.

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. Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur place le mardi 9 juillet 2024. Ils ont rencontré les représentants de l'entreprise exploitante Arlanxeo et de l'inspection des installations classées. Le 8 octobre, ils ont rencontré à Strasbourg les représentants de la société Sodi, employeur des opérateurs qui intervenaient sur la cuve.

Ces échanges ainsi que les investigations menées ont permis d'établir que l'action mécanique du jet d'eau sous pression sur le résidu de fond de bac projette dans l'atmosphère des petites particules de résidus et libère les substances qui y sont présentes. Compte tenu de la composition du dépôt présent dans le fond du bac, des gouttelettes d'acrylonitrile et de composés de butadiène sont libérées. L'eau pulvérisée à très haute pression forme un nuage de gouttelettes électriquement chargées et à un instant précis, une décharge se produit au sein de ce nuage composé de substances inflammables dont les concentrations dans l'air se trouvent dans la plage d'inflammabilité. L'arc produit enflamme le mélange présent dans cet espace confiné. L'explosion est instantanée. Sous l'effet de la montée en pression du réservoir, la soudure entre la robe et le toit cède. Celui-ci est propulsé à près de 170m.

Dans le cadre de cette enquête le BEA-RI émet des enseignements de sécurité relatifs à la nécessité de prendre en compte les modalités de nettoyage des équipements dès leur conception, l'inflammabilité d'une ATEX et les limites de la liaison équipotentielle lors d'opérations de nettoyage très haute pression, ainsi qu'aux méthodes d'élaboration des analyses de risque et des permis de travail.

Dans le présent rapport, le BEA-RI recommande à la société Arlanxeo :

- **D'intégrer les contraintes du nettoyage des équipements dès leur conception ;**
- **De conduire un parangonnage auprès des deux autres sites de production du groupe pour identifier une solution technique qui permettrait de réduire les quantités de résidus dans les eaux de process;**
- **De renforcer la méthode d'analyse des risques des opérations de nettoyage afin que les risques soient bien analysés et traités notamment par la caractérisation des déchets à nettoyer ;**

- **D'élaborer au regard du retour d'expérience de l'événement du 4 juillet 2024 un nouveau protocole de nettoyage à très haute pression des bacs tenant compte du risque ATEX (abaissement du débit ou de la pression, maintien d'une atmosphère neutre, recours à une autre nature de fluide) ;**
- **De revoir la procédure de délivrance des permis de travail.**

En parallèle, le BEA-RI recommande à la société Sodi :

- **De ne procéder à une opération de nettoyage qu'après s'être assuré de disposer d'une connaissance suffisante du produit à traiter et de son environnement. Pour ce faire, une analyse récente des produits à traiter sera systématiquement demandée, et en cas de risque identifié des mesures compensatoires devront être mises en place (inertage à l'azote ou ventilation par exemple). Sans informations suffisamment précises, une contre analyse devra être réalisée ou exigée à partir de nouveaux prélèvements.**
- **D'utiliser sa propre analyse de risques de sorte à pouvoir la confronter à celle conduite par le client en vue d'en évaluer sa robustesse et son exhaustivité ;**
- **Sur les interventions où le risque d'ATEX est identifié, de vérifier par une mesure l'efficacité de la liaison équipotentielle ;**
- **D'enrichir la formation de son personnel aux risques liés au nettoyage à très haute pression par une présentation du retour d'expérience de cet accident.**

Sommaire

I.	Rappel sur l'enquête de sécurité.....	8
II.	Constats immédiats et engagement de l'enquête	8
II.1	Les circonstances de l'accident.....	8
II.2	Le bilan de l'accident	9
II.3	Les mesures prises après l'accident.....	9
II.4	L'engagement et l'organisation de l'enquête	9
III.	Contextualisation.....	10
III.1	L'entreprise Arlanxeo	10
III.2	La société Sodi	10
III.3	Le site et l'installation	11
III.3.1	<i>Le site de La Wantzenau (67)</i>	11
III.3.2	<i>Le procédé</i>	11
III.3.3	<i>L'équipement</i>	12
III.3.1	<i>La problématique de la sédimentation des résidus de polymérisation</i>	14
IV.	Déroulement de l'évènement.....	15
IV.1	Déclenchement de l'évènement.....	15
IV.2	L'intervention des secours publics.....	15
V.	Compte-rendu des investigations menées.....	15
V.1	Nettoyage des réservoirs : une opération complexe	16
V.2	Le risque électrostatique dans les liquides	18
V.3	La norme IEC TS 60079	19
V.4	Composition de l'eau acrylonitrée.....	19
V.5	Les mesures de prévention mise en œuvre par Sodi	20
VI.	Conclusions sur le scénario de l'évènement.....	20
VI.1	Scénario	20
VI.2	Facteurs contributifs.....	21
VI.2.1	<i>L'absence de mode opératoire de référence</i>	21
VI.2.2	<i>La focalisation du personnel Arlanxeo sur l'un des dangers présentés par l'acrylonitrile</i>	21
VI.2.3	<i>Une technique de nettoyage communément pratiquée par SODI</i>	22
VI.2.4	<i>Les évolutions techniques apportées au protocole</i>	22
VI.2.5	<i>L'absence d'analyse chimique du résidu</i>	22
VI.2.6	<i>La méconnaissance des risques liés au nettoyage très haute pression</i>	22
VI.2.7	<i>L'absence d'enjeux à proximité du site</i>	23
VI.2.8	<i>L'absence d'opérateur à l'intérieur du réservoir</i>	23
VI.2.9	<i>L'existence d'une procédure de mise à la terre des équipements</i>	23
VII.	Enseignements de sécurité.....	23
VII.1	Prise en compte des modalités de nettoyage des bacs dès leur conception	23
VII.2	L'inflammabilité d'une ATEX au moyen d'un jet d'eau à très haute pression	23

VII.3 Les limites de la liaison équipotentielle dans le cas du nettoyage à très haute pression.....	24
VII.4 L'élaboration de l'analyse de risques par une équipe pluridisciplinaire	24
VII.5 Élaboration des permis de travail	24
VIII. Recommandations de sécurité	24
VIII.1 À destination de l'exploitant.....	24
VIII.2 À destination du prestataire de nettoyage haute pression	25

Rapport d'enquête sur l'explosion d'un réservoir de stockage au sein du site industriel Arlanxeo situé à La Wantzenau (67)

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

Le 4 juillet 2024, une opération de nettoyage haute pression est en cours dans un réservoir de recyclage sur le site Arlanxeo de La Wantzenau (67). La société Sodi spécialisée dans la maintenance et le nettoyage industriel a été mandatée par la société Arlanxeo pour nettoyer deux des 4 bacs de récupération d'eau de process de fabrication du caoutchouc synthétique. L'opération consiste à nettoyer, à très haute pression, depuis l'extérieur, l'intérieur du bac au moyen d'une canne introduite dans le réservoir. Les opérateurs ont pris leur poste depuis près de 4 heures, lorsque le 4 juillet à 10h44 une vive explosion se produit. Le toit du bac est projeté à près de 170 m dans une zone naturelle limitrophe du site sans présence de personnes ou de biens.

II.2 Le bilan de l'accident

Sur le plan physique, l'explosion n'aura pratiquement aucun impact sur les quatre opérateurs présents aux abords du réservoir. 3 employés ont pu rentrer chez eux sans délai, le quatrième a été transféré à l'hôpital pour un contrôle et a pu ressortir dans l'après-midi.

Sur le plan matériel, l'explosion a provoqué la destruction du bac et l'endommagement de son système d'inertage. Le toit du bac a été projeté à près de 170 m dans une zone naturelle, propriété de l'entreprise, où ne se situait aucun enjeu humain ou matériel. La projection du toit a provoqué des dégâts matériels au niveau des passerelles et des équipements qui surplombent les bacs. Aucune pollution de l'environnement n'a été rapportée aux enquêteurs ni par l'exploitant ni par l'inspection des installations classées.

II.3 Les mesures prises après l'accident

Les mouvements de produits au sein du site ont été stoppés. Les bacs qui pouvaient l'être ont été maintenus sous atmosphère inerte (azote). Un tapis de mousse a été rapidement mis en œuvre dans le bac endommagé pour éviter l'émission de vapeur d'acrylonitrile, substance CMR¹ et très inflammable. Ce tapis a été entretenu dans l'attente de la vidange complète du bac. Une surveillance environnementale en périmètre proche a été mise en place pour prévenir tout risque de contamination.

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.

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur place le mardi 9 juillet 2024. Ils ont rencontré les représentants de l'entreprise exploitante Arlanxeo et de l'inspection des installations classées. Le 8 octobre, ils ont rencontré à Strasbourg les représentants de la société Sodi, employeur des opérateurs qui intervenaient sur la cuve.

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

¹ Certains agents chimiques ont, à moyen ou long terme, des effets cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction. Ils sont dénommés agents CMR

III. Contextualisation

III.1 L'entreprise Arlanxeo

Arlanxeo est une entreprise spécialisée dans la production de caoutchouc synthétique et de produits chimiques associés. Elle a été créée en 2016 en tant que coentreprise entre Lanxess (société chimique allemande) et Saudi Aramco. En 2018, Saudi Aramco a acquis l'intégralité des parts de Lanxess, devenant ainsi l'unique propriétaire d'Arlanxeo.

Arlanxeo est l'un des leaders mondiaux dans la production de caoutchoucs synthétiques. Ses produits sont utilisés dans diverses industries, notamment dans l'automobile, la construction, le pétrole et le gaz, ainsi que dans la conception de biens de consommation. L'entreprise produit plusieurs types de caoutchoucs synthétiques, dont le NBR (nitrile butadiène rubber), le butyl rubber (IIR), le polybutadiène rubber (BR), le chloroprene rubber (CR), et le styrène-butadiène rubber (SBR).

Arlanxeo possède des sites de production dans plusieurs pays, dont l'Allemagne, les États-Unis, le Canada, le Brésil, la Chine, Singapour, et les Pays-Bas.

III.2 La société Sodi

Sodi est une entreprise spécialisée dans la maintenance industrielle, notamment dans les secteurs de la pétrochimie, de la sidérurgie, du nucléaire et de l'automobile. Créée en 1984, elle est une filiale du groupe Véolia.

Les activités principales de Sodi incluent le nettoyage industriel (nettoyage haute pression (HP) et très haute pression (THP), l'hydrodécoupe, l'hydrodémolition, ...), la maintenance générale, le montage, la métallurgie et la gestion des arrêts d'unités industrielles. Elle offre aussi des services de gestion globale des déchets dangereux et non dangereux. L'entreprise met en avant son savoir-faire technique et sa capacité à innover dans le domaine de la maintenance. Au-delà des prestations habituellement rencontrées dans le secteur du nettoyage industriel, la société développe des techniques innovantes adaptées aux besoins de ses clients.

Elle dispose de plusieurs implantations sur le territoire français qui couvrent les bassins industriels métropolitains et s'adaptent à la demande et au contexte local. Toutefois, en cas de besoin, la structure internationale du groupe auquel elle appartient lui permet de créer et d'offrir une gamme de solutions techniques en tout point du territoire.

En termes de sécurité, chaque implantation dispose d'un représentant HSE (Hygiène Sécurité Environnement) dédié qui permet de veiller à la bonne application des règles de protection des travailleurs, à la sécurité et à la santé des opérateurs lors des interventions.

III.3 Le site et l'installation

III.3.1 Le site de La Wantzenau (67)

Le site de La Wantzenau (67) a été créé en 1961 par Polymer Corp Ltd, entreprise chimique canadienne. Dans les années 1990, l'usine de La Wantzenau est intégrée à Bayer. En 2004, Bayer scinde ses activités chimiques et de polymères pour former une nouvelle entité appelée Lanxess. Le site de La Wantzenau passe sous "pavillon" Lanxess jusqu'à la création d'Arlanxeo en 2016.

Arlanxeo La Wantzenau est le plus grand site de production de caoutchouc nitrile butadiène (NBR) du monde. Ce caoutchouc synthétique est principalement utilisé dans des applications industrielles telles que la fabrication de câbles, joints, tuyaux, ainsi que dans les semelles de chaussures de sécurité et de sport. Les principaux secteurs utilisateurs de ces produits incluent l'industrie automobile, la construction, ainsi que l'industrie pétrolière et gazière.

La plateforme emploie 250 salariés environ. Des sous-traitants sont également à plein temps sur le site. C'est le cas de la société Sodi qui y dispose de plusieurs équipes pour assurer des tâches de nettoyage des installations, en recourant régulièrement à des techniques de nettoyage haute pression.

III.3.2 Le procédé

La polymérisation en émulsion est un procédé chimique utilisé pour fabriquer des polymères, tels que le caoutchouc synthétique NBR, en dispersant des monomères (en l'occurrence l'acrylonitrile et le butadiène) dans un milieu aqueux sous forme de fines gouttelettes stabilisées par des agents tensioactifs (émulsifiants). Les quatre constituants de la réaction sont :

- **Les monomères** : ici l'acrylonitrile (C_3H_3N) et le butadiène (C_4H_6). Ce sont les molécules de base qui vont se lier pour former le polymère de base du NBR;
- **L'eau** : Elle sert de milieu de dispersion pour les monomères;
- **Les tensioactifs** : Ils permettent de stabiliser les gouttelettes de monomère dans l'eau en formant une émulsion, où les monomères sont dispersés sous forme de petites gouttelettes;
- **Les initiateurs** : Ce sont des substances chimiques (souvent des peroxydes ou des persulfates) qui déclenchent la réaction de polymérisation en produisant des radicaux libres.

Les produits issus de ce procédé se présentent sous les formes suivantes:

- **Latex** : Le produit final de la polymérisation en émulsion est souvent une dispersion stable de particules polymères dans l'eau, appelée latex. Le latex issu du procédé de polymérisation est nettoyé des monomères résiduels, qui sont récupérés pour être réutilisés dans la chaîne de polymérisation : le butadiène est flashé et l'acrylonitrile est récupéré par une opération de stripping. L'acrylonitrile ainsi récupéré est en solution dans de l'eau, à hauteur de 7% (appelée eau-ACN). Ce latex peut ensuite être traité pour isoler le polymère solide (caoutchouc) ou être utilisé directement sous forme de latex.

- **Forme coagulée** : Pour obtenir le caoutchouc solide, le latex est coagulé, c'est-à-dire que les particules de polymère sont agrégées pour former une masse solide. Cette masse est ensuite lavée, séchée et traitée pour obtenir le produit final.

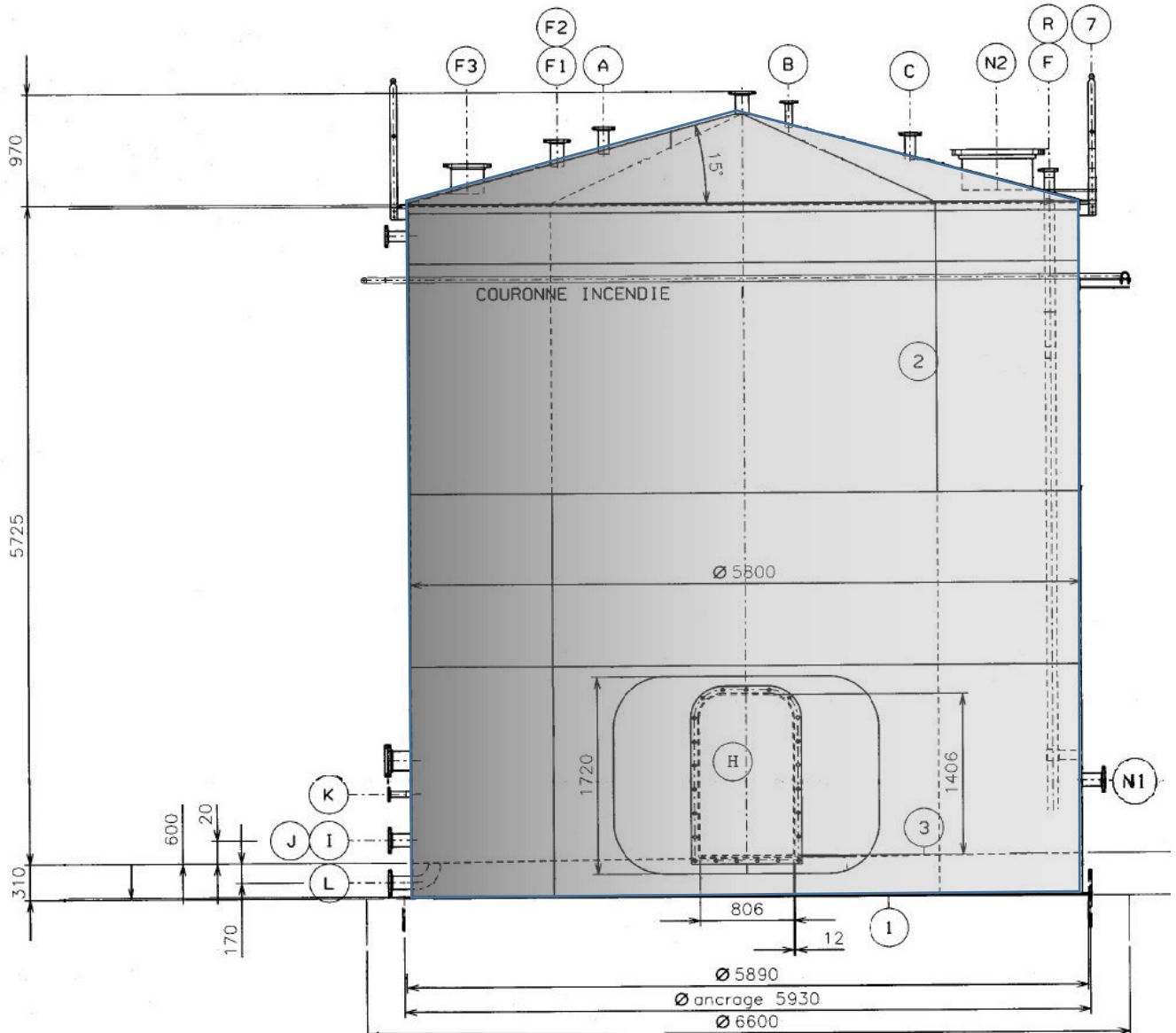
Lorsque les chaînes de polymérisation ne fonctionnent plus et que l'eau-ACN issue de la récupération des monomères, ne peut être réutilisée, elle est expédiée du ballon tampon vers quatre bacs de recyclage (dénommés D1450 A, B, C et D) en vue d'une réutilisation ultérieure. Lorsque la production reprend, l'eau ainsi stockée peut être réinjectée dans le processus de polymérisation.

III.3.3 L'équipement

L'équipement mis en cause dans l'accident est l'un des quatre bacs de recyclage qui stockent de l'eau acrylonitrée (D1450 C). Il s'agit d'un bac en inox d'un volume de 150 m³ de 5,8 m de diamètre qui permet le stockage à pression atmosphérique des eaux issues du processus.

Comme les 3 autres bacs, il est équipé d'un détecteur de niveau haut, d'un radar, d'un capteur de température et de 3 soupapes de sécurité. Ces bacs, en fonctionnement nominal, sont maintenus sous atmosphère inerte (azote).

Au fil des années d'utilisation, des résidus de polymérisation finissent par s'accumuler en fond de cuve en formant une couche polymérisée suffisamment épaisse pour rendre problématique le soutirage et donc la réutilisation de l'eau acrylonitrée (encrassement des pompes).



Nomenclature	Désignation	Nomenclature	Désignation
F1, F2, F3	Soupapes	L	Sortie Eau ACN
F	Entrée Eau ACN	R	Recirculation
H	Porte de visite	N1	Vidange
J	Sortie Eau ACN	N2	Nettoyage buse
K	Température	7	Garde-corps

Figure n°1 : schéma du bac D1450 C impliqué dans l'accident (crédit Arlanxeo)

III.3.1 La problématique de la sédimentation des résidus de polymérisation

L'eau acrylonitrée (ou l'eau ACN) qui est stockée dans le bac D1450 C est une eau collectée depuis le mélange produit dans les réacteurs en sortie des chaînes de polymérisation, à diverses étapes du procédé de fabrication du latex et du caoutchouc. L'ACN n'ayant pas réagi est séparé du latex par injection de vapeur dans les tours de stripping. En principe, le butadiène n'ayant pas réagi a déjà été dégazé de ce mélange en amont des tours de stripping. Le flux récupéré en tête des colonnes, constitué d'un mélange de vapeur et d'acrylonitrile gazeux est condensé et recyclé vers les réacteurs via les cuves eau-ACN. L'indisponibilité des unités de polymérisation peut nécessiter de détourner le mélange eau-ACN vers les réservoirs tampons D1450 A, B, C et D, où il est accumulé avant que l'unité de polymérisation ne redémarre.

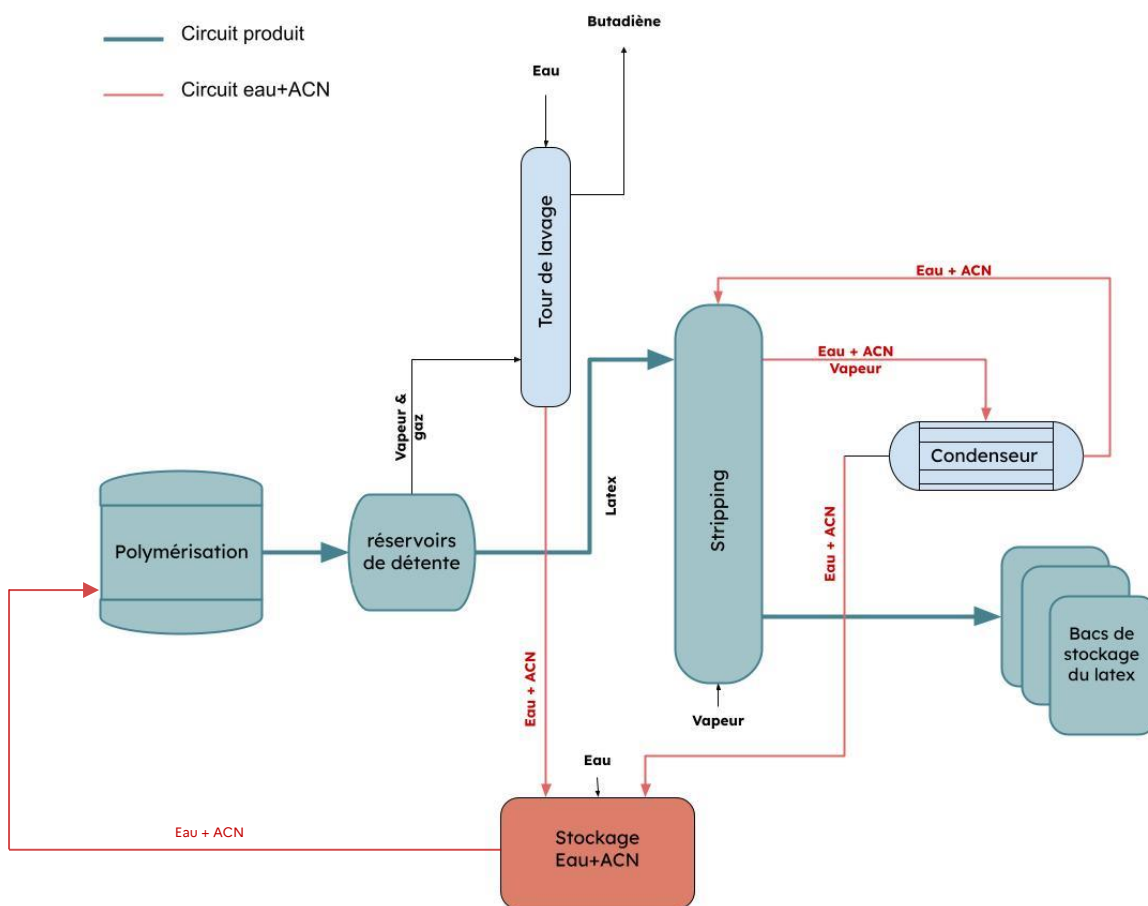


Figure n°2 : schéma simplifié du procédé de fabrication du latex

La solubilité de l'acrylonitrile se situe à 20°C entre 70 g et 73 g par litre² soit une concentration massique de 7%. L'eau collectée est réputée respecter ce seuil de 7% au-delà duquel l'acrylonitrile se présenterait sous sa forme pure.

2 Données issues de la fiche Ineris relative à l'acrylonitrile

Au fil du temps, il s'est constitué, en fond des réservoirs à fond plat, une couche de résidus résultat de l'entraînement du latex strippé dans l'eau comme l'ACN ou de la polymérisation lente des résidus d'acrylonitrile et de butadiène. Il s'agit d'un phénomène identifié au sein du site, qui a conduit par le passé l'exploitant à abandonner deux cuves de stockage d'eau ACN, anciennement exploitées. Ces cuves n'ont jamais été vidées de leur résidu, les valeurs des mesures d'atmosphères réalisées étant loin des limites d'explosivité. En remplacement, 4 nouvelles cuves (D1450 A, B, C et D) ont été construites à proximité, avant d'être à leur tour concernées pas des problèmes d'encrassement par des résidus en fond de cuve.

IV. Déroulement de l'évènement

IV.1 Déclenchement de l'évènement

Le 4 juillet 2024, dans la matinée, des employés de la société Sodi nettoient au moyen d'eau à très haute pression les résidus solides contenus dans le réservoir tampon eau-ACN D1450 C préalablement déconnecté du process de production et vidangé de ses liquides. La campagne de nettoyage de ce bac a commencé le 25 juin.

À 10h44, le réservoir explose. 4 employés de la société Sodi sont exposés au souffle. Les dommages aux bâtiments voisins sont mineurs mais le toit du réservoir propulsé à 170 mètres atterrit sur la propriété d'Arlanxeo.

IV.2 L'intervention des secours publics

L'explosion survient à 10h44. À 10h54, le personnel présent dans la zone est regroupé au niveau du point de rassemblement, aucun gaz n'est détecté dans la zone de l'accident, il n'y a pas de feu ou de fumée. Conformément au POI de la mousse est appliquée dans la cuve. L'accident est géré par les équipiers de seconde intervention du site et le schéma d'alerte est déployé.

Les sapeurs-pompier immédiatement alertés par les riverains arrivent sur le site à 11h10. Les mesures atmosphériques réalisées confirment l'absence d'émission d'ACN.

À 12h48, après un débriefing avec les sapeurs-pompier, l'évènement est clôturé. Les actions de sécurisation et de nettoyage débutent.

V. Compte-rendu des investigations menées

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur site le mardi 9 juillet 2024 pour une reconnaissance de terrain. Puis, le 8 octobre, ils se sont rendus dans les locaux de l'agence régionale Sodi à Strasbourg. Les documents transmis par les entreprises Arlanxeo et Sodi suite à ces échanges ont été analysés.

V.1 Nettoyage des réservoirs : une opération complexe

L'évacuation des résidus présents dans les réservoirs d'eau acrylonitrée est une opération qui présente des difficultés opérationnelles liées aux caractéristiques du déchet : le résidu n'est pas vidangeable, il est difficilement manipulable et la présence d'opérateurs dans une cuve contenant un produit dangereux inflammable et toxique présente des inconvénients majeurs en matière d'exposition des opérateurs aux risques.

Compte-tenu de l'encrassement progressif des bacs, une première opération de nettoyage avait été engagée en 2019 sur l'un des quatre bacs. Elle avait consisté à réaliser une attaque chimique du polymérisat à l'aide de soude et de dispersant dans l'optique de rompre les chaînes de polymérisat et remobiliser la part d'acrylonitrile encore présente dans la cuve. Cette première phase était suivie d'une phase d'émulsification pour récupérer l'ACN en phase liquide par rinçage. L'opération s'était soldée par un échec puisqu'une grande partie des résidus sont restés en place et que la quantité d'ACN récupérée est restée faible. Le réservoir a été laissé vide, fermé (non hermétiquement, brides pleines maintenues par un boulon) et déconnecté du procédé.

En 2023, Arlanxeo a fait appel à la société Sodi pour expérimenter une solution de nettoyage à très haute pression, technique d'utilisation courante sur le site pour procéder au nettoyage des tuyauteries et des réservoirs de taille plus modeste. Sodi est alors missionné pour développer et mettre en œuvre le protocole de nettoyage.

La première intervention sera réalisée sur le réservoir adjacent à celui qui sera le siège de l'explosion le 4 juillet 2024 (D1450 D). L'opération consiste à fragmenter la couche de polymérisat à l'aide d'un jet très haute pression et à vider la cuve régulièrement par la porte présente sur le bac. Les eaux sont pompées et traitées au fur et à mesure sur le site. Le chantier s'étalera sur 6 mois. Le protocole permettra d'atteindre l'objectif fixé mais a présenté deux inconvénients majeurs :

- L'avancement du chantier a été fortement limité par les capacités de traitement des effluents sur site au niveau de la colonne de stripping. Faute de stock tampon, les opérateurs ont dû observer de longues périodes d'arrêt dans l'attente que de nouvelles capacités de traitement se libèrent.
- La phase d'évacuation des déchets a nécessité de maintenir la porte du réservoir ouverte ce qui a provoqué des émissions d'acrylonitrile qui ont incommodé les salariés de l'entreprise Sodi situés dans le voisinage immédiat de la cuve.

Un retour d'expérience est tiré de ce premier chantier de nettoyage pour mettre au point un nouveau protocole qui sera utilisé sur le bac adjacent (D1450 C). Il comporte des évolutions qui permettent d'améliorer le déroulement du chantier sur deux aspects :

- Outre l'installation de stripping qui continue de recevoir les eaux de lavage du réservoir, Sodi disposera désormais d'une cuve de stockage tampon qui permettra de réduire le nombre et la durée des phases d'arrêt.
- La porte d'accès à l'intérieur du bac a été équipée d'un joint à rotule qui permettra de manœuvrer la canne haute pression depuis l'extérieur du bac et de vannes de soutirage qui

permettront l'évacuation des eaux de lavage et des particules de résidus produites par le jet haute pression en continu. L'étanchéité de la porte permettra d'éviter l'émission d'acrylonitrile.

En synthèse,

Évolutions apportées par le nouveau protocole	Gains du nouveau protocole
<ol style="list-style-type: none">1. Ajout d'un réservoir tampon pour récupérer les eaux de nettoyage du bac2. Pose d'une porte équipée :<ul style="list-style-type: none">- d'un joint rotule qui permet de manœuvrer la canne depuis l'extérieur- de vannes de vidange3. Pose de tapes sur les piquages supérieurs du réservoir	<ol style="list-style-type: none">1. Le chantier n'est plus limité par la phase aval de traitement. Les phases de vidange succèdent aux phases de nettoyage et la durée du chantier estimée passe de 6 mois à une dizaine de jours2. Suppression des émissions de vapeurs d'acrylonitrile dans l'environnement immédiat du réservoir

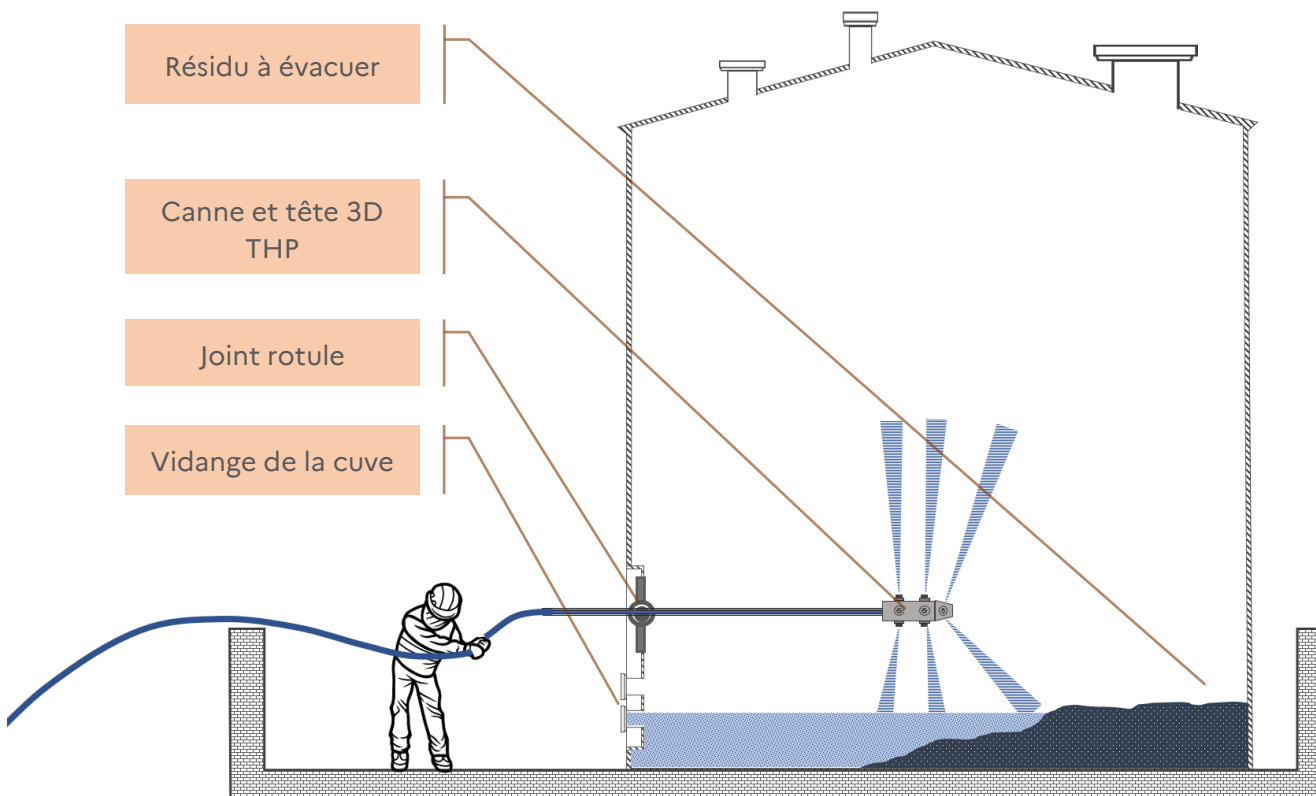


Figure n°3 : représentation du nouveau protocole de nettoyage

V.2 Le risque électrostatique dans les liquides

Un liquide est constitué de molécules neutres et de molécules ionisées qui peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres. Le liquide est globalement neutre mais la répartition des charges dans un volume donné peut évoluer lors de sa manipulation (stockage, circulation dans un tuyau), sous l'effet de sollicitations de nature électrique (par exemple, le contact avec la paroi d'un récipient chargé électriquement).

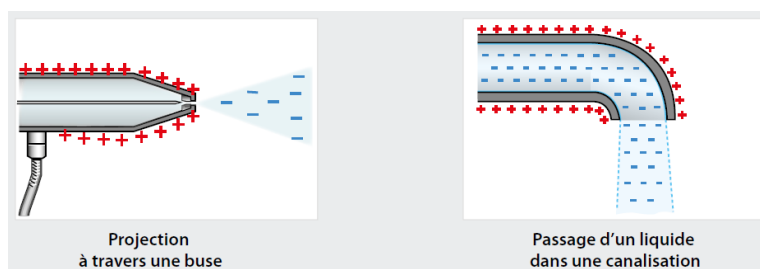


Figure n°4 : Effet sur la charge électrique de la circulation d'un liquide dans un tuyau ("Phénomènes électrostatiques – Risques associés et prévention (2019 – INRS))

En outre, lors de la pulvérisation d'eau du robinet sur une paroi, une séparation de charge s'opère à l'échelle de la gouttelette d'eau. Ce phénomène connu sous le nom d'effet Lenard³ conduit à générer des différences de charges électrostatiques qui peuvent aller jusqu'à la formation de décharges électriques. Des expériences conduites en 2023⁴ ont permis d'identifier, dans le cadre de l'emploi de jet haute pression, les facteurs qui maximisent la densité spatiale de charge :

Maximiser la séparation de charge spatiale entre le jet et le nuage de gouttelettes	Augmenter la génération du nuage de gouttelettes (Effet Lenard)	Maximiser la densité de gouttelettes du nuage de gouttelettes
<ul style="list-style-type: none"> • Pulvériser dans la partie supérieure du récipient • Utiliser une buse à jet rond 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire la distance entre la buse et le mur • Augmenter la pression de la pompe • Augmenter la température de l'eau pulvérisée 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser un diamètre de buse et un débit suffisamment grands pour le volume du récipient existant

Tableau n° 1 : Paramètres pour maximiser la densité de charge spatiale lors de la pulvérisation d'eau du robinet (Baumann et al., 2024)

³ Philipp Lenard (Philipp Eduard Anton von Lenard, traités de 1892 et de 1915) Lenard a montré que si une goutte d'eau pure tombe sur une surface et éclabousse, un phénomène de séparation de l'électricité portée par l'eau a lieu, l'eau conservant une charge positive alors que l'air acquiert une charge négative.

⁴ Baumann, F. (2023). High-pressure water jetting technology for tank cleaning. Journal of Hazardous Materials, 402, 123-134.

On observe que la technique de nettoyage THP dans les conditions dans lesquelles elle était utilisée (dimensions du réservoir, positionnement de la buse, pression, ...) conduit à réunir plusieurs de ces facteurs.

V.3 La norme IEC TS 60079

La norme IEC TS 60079-32-1 est un document technique de la Commission électrotechnique internationale (IEC) qui concerne les atmosphères explosives. Cette norme traite des risques liés à l'électricité statique dans les atmosphères explosives. Elle fournit des directives et des recommandations pour éviter les dangers liés à l'accumulation et à la décharge d'électricité statique, qui peuvent déclencher une explosion dans des environnements où des gaz, des vapeurs ou des poussières inflammables sont présents.

Cette norme concerne les industries où les atmosphères explosives sont courantes, comme la pétrochimie, l'exploitation minière, la fabrication de produits chimiques, ou encore le traitement de poudres. Elle est souvent utilisée conjointement avec d'autres normes de la série IEC 60079 pour assurer une protection globale contre les risques d'explosion. La norme aborde les risques liés à l'électricité statique dans divers contextes industriels, y compris les situations impliquant des nettoyages à très haute pression.

V.4 Composition de l'eau acrylonitrée

L'eau récupérée dans le bac D1450C est une eau issue du process en sortie des équipements de récupération du butadiène (tour de lavage) d'une part et du latex (stripping) d'autre part. Elle est réputée ne contenir que de l'acrylonitrile en phase dissoute. Plusieurs constats conduisent les enquêteurs à moduler cette affirmation :

- La présence de produit polymérisé en fond de bac,
- Les analyses réalisées dans le cadre de l'intervention de 2019 qui confirment la présence d'acrylonitrile en phase dissoute et libre associé à d'autres copolymères (acrylate et le butadiène),
- Les analyses réalisées après l'accident sur des échantillons en fond de bac qui confirment la présence d'acrylonitrile, et de vinylcyclohexène VCH, dimère composé de deux molécules de butadiène présent à l'état de traces dans le butadiène livré et qui peut se former dans le processus de polymérisation. Les analyses ont montré que ce dernier composé est présent à la hauteur de 8% dans le résidu de fond de bac. Il s'agit d'un composé qui a une affinité beaucoup plus importante pour le plastique que pour l'eau et a pu s'accumuler au fil des années au fond du bac. Ce composé avec une LIE très faible a pu être libéré lors du fractionnement du caoutchouc par le nettoyage très haute pression (THP) et former une atmosphère explosive. La présence de ce composé dans le résidu n'était pas identifiée par l'exploitant.

V.5 Les mesures de prévention mise en œuvre par Sodi

La société Sodi est régulièrement confrontée aux risques liés aux opérations de nettoyage haute et très haute pression.

Au niveau de la préparation, après une visite préalable avant chantier, le responsable HSE établit un protocole d'intervention sur la base des informations communiquées par le client sur la nature des produits ou des déchets qui sont censés se trouver sur le site. Après validation par la direction, ce protocole est communiqué au client qui en valide le contenu sur la base de sa propre analyse de risque.

Les chantiers sont placés sous la conduite d'un chef de chantier qui est chargé de faire appliquer les consignes de sécurité définies dans le protocole d'intervention. Avant chaque démarrage de chantier, le chef d'équipe s'assure de la bonne mise en œuvre des mesures de protection et de prévention au moyen d'une check-list. En cours de chantier, des audits sécurité sont réalisés par le responsable HSE.

Des causeries sont également réalisées régulièrement autour de thèmes de sécurité pour développer et maintenir la vigilance en matière de prévention des risques. Le risque ATEX y était abordé notamment lors des rappels sur la procédure de mise à la terre mais n'abordait pas spécifiquement les décharges électrostatiques liées à la très haute pression.

Compte tenu des dangers propres à la technique de nettoyage haute pression et des dangers liés aux environnements dans lesquels ils évoluent, les opérateurs suivent plusieurs formations dont des formations sur les risques chimiques ou sur le risque ATEX. Les attestations de formation sont conservées dans un registre dématérialisé. Chaque salarié dispose d'une carte professionnelle sur laquelle figure un QR-code qui permet de consulter facilement l'état des formations réalisées et leur date de validité ce qui permet également au service HSE du client de vérifier facilement le niveau de formation des opérateurs.

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement

VI.1 Scénario

Les témoignages recueillis ainsi que les constats réalisés lors de la visite conduisent à exclure assez rapidement une cause externe au site Arlanxeo ou une origine malveillante.

Lorsque les opérateurs Sodi se présentent sur le site ce 4 juillet 2024, ils entament leur dixième jour d'intervention. Selon les éléments recueillis, près de 80% du bac a été nettoyé et les opérateurs sont confiants sur le fait que la totalité du bac pourra être nettoyé prochainement.

Les évolutions apportées au protocole permettent de limiter les ouvertures de porte, les émissions d'acrylonitrile et les périodes d'arrêt dans l'attente du traitement des déchets évacués. Alors que 6 mois d'intervention avaient été nécessaires pour le réservoir D1450 D, le nettoyage du D1450 C pourrait ne prendre qu'une dizaine de jours.

Le 4 juillet, les opérateurs travaillent sur le réservoir depuis 4 heures. L'action mécanique des jets d'eau sous pression sur le résidu de fond de bac projette dans l'atmosphère des petites particules de résidus

et libère les substances qui y sont présentes. Compte tenu de la composition du dépôt présent dans le fond du bac, des gouttelettes d'acrylonitrile et de composés de butadiène sont libérées.

Comme évoqué précédemment (voir chapitre V.2), de son côté, l'eau pulvérisée se compose de gouttelettes électriquement chargées et il est très probable que les conditions opératoires du procédé de nettoyage haute pression aient favorisé ce phénomène.

À un instant précis, une décharge a pu se produire au sein de ce nuage composé de substances inflammables dont les concentrations dans l'air se trouvent dans la plage d'inflammabilité. L'arc produit enflamme le mélange présent dans cet espace confiné. L'explosion est instantanée.

Sous l'effet de la montée en pression du réservoir, la soudure entre la robe et le toit cède. Celui-ci est propulsé à près de 170m. Le réservoir n'étant pas fongible, la direction de la projection est la résultante d'un ensemble de paramètres (choc lors de l'expulsion avec des équipements fixes situés au-dessus, sens de rupture du cordon de soudure, ...) purement involontaires.

VI.2 Facteurs contributifs

Un facteur contributif est un élément qui, sans être déterminant, a pu jouer un rôle dans la survenance ou dans l'aggravation de l'accident mais aussi dans la mitigation des effets de cet accident.

VI.2.1 L'absence de mode opératoire de référence

Le site Arlanxeo de La Wantzenau est le plus gros site producteur de caoutchouc NBR du groupe. De par son ancienneté et son volume de production, il se heurte à des défis techniques qui ne se présentent pas avec la même acuité au sein des autres implantations du groupe. Il est donc, d'une certaine manière, précurseur dans la résolution de problèmes techniques tels que le nettoyage de ses réservoirs d'eau acrylonitrée et ne dispose pas de retour d'expérience apporté par d'autres sites du groupe sur lesquels il pourrait s'appuyer en dehors de sa propre expérience.

VI.2.2 La focalisation du personnel Arlanxeo sur l'un des dangers présentés par l'acrylonitrile

La culture de sécurité sur le site Arlanxeo repose sur la connaissance des dangers prépondérants générés par les substances employées dans les process : l'acrylonitrile est toxique⁵, le butadiène est extrêmement inflammable. Compte tenu du retour d'expérience des tentatives d'opérations de nettoyage antérieures, la préoccupation principale lors de l'élaboration du protocole et de l'analyse de risques a donc été la protection des salariés, des personnels et des riverains vis-à-vis du risque toxique.

Dans le même temps, le risque d'inflammabilité ou d'explosion n'est pas identifié. Plusieurs facteurs peuvent renforcer cette conviction : la méconnaissance de la composition du résidu présent dans le bac,

⁵ Les équipes d'Arlanxeo se concentraient sur le risque de toxicité de l'acrylonitrile dont le seuil est très largement inférieur à sa limite d'explosivité (2ppm contre 30 000 ppm)

l'absence présumée de butadiène ou de dérivés et les différentes opérations menées sur le bac en 2019 qui ont permis de récupérer une partie des composés volatils.

Cette situation a conduit l'exploitant à se focaliser sur le risque toxique en occultant involontairement le caractère inflammable des résidus présents dans le bac.

VI.2.3 Une technique de nettoyage communément pratiquée par SODI

Sodi est un partenaire régulier d'Arlanxeo. La société déploie régulièrement sur le site depuis de nombreuses années la technique du nettoyage haute pression et très haute pression. Aussi, au-delà de sa propre expertise en matière de risques industriels, Sodi a déjà eu l'occasion de tester sa technique de nettoyage avec les produits manipulés sur le site Arlanxeo. Les opérateurs Sodi bénéficient donc d'un retour d'expérience sur des équipements et des produits de caractéristiques sensiblement différentes (tuyauteries ou réservoir de plus petite taille en phase d'exploitation et produits à traiter de natures différentes). Or, c'est en partie ces changements d'échelle et de composants chimiques de natures différentes qui sont à l'origine du changement de la nature du risque.

VI.2.4 Les évolutions techniques apportées au protocole

Le protocole déployé dans sa dernière version a indéniablement conduit à réduire le risque vis-à-vis de la sécurité des opérateurs et des personnels présents à proximité du site. En revanche, en supprimant les phases d'ouverture et donc d'aération de l'intérieur du bac, et en réduisant les phases d'arrêt (qui permettaient aux gouttelettes mises en suspension de se redéposer), le nouveau protocole a favorisé la formation d'une atmosphère explosive dans le réservoir D1450C.

VI.2.5 L'absence d'analyse chimique du résidu

L'analyse précise du déchet présent dans le réservoir n'a pas été réalisée avant le début de l'opération, les résultats d'une telle analyse auraient permis d'identifier des quantités notables de vinylcyclohexène et d'acrylonitrile, et auraient pu éveiller des soupçons sur l'éventualité de formation d'une ATEX dans le réservoir pendant l'intervention.

VI.2.6 La méconnaissance des risques liés au nettoyage très haute pression

Le risque d'accumulation de charges électrostatiques dû au nettoyage à l'eau à très haute pression de ce type de produits, même avec une mise à la terre adéquate, n'était pas connu par l'entreprise et n'a pas été identifié par le sous-traitant chargé de mettre en œuvre cette technique.

VI.2.7 L'absence d'enjeux à proximité du site

L'absence de présence humaine ou matériel dans la zone de projection du toit du bac a permis de limiter grandement les conséquences humaines et matérielles de l'accident. L'intérêt de la maîtrise de l'urbanisation autour des sites industriels est une nouvelle fois démontré.

VI.2.8 L'absence d'opérateur à l'intérieur du réservoir

Le protocole dans sa version 2024 a également permis d'éviter la présence de personnel dans le réservoir au moment de l'explosion, ce qui a été un facteur très favorable.

VI.2.9 L'existence d'une procédure de mise à la terre des équipements

L'examen du mode opératoire d'intervention et de la check-list utilisés par le chef de chantier permet de constater qu'une mise à la terre des équipements utilisés (camion-citerne, pompe, canne haute pression) avait été réalisée à chaque démarrage de chantier. On fait ici l'hypothèse que cette pratique a eu pour effet de supprimer une source possible de courant électrostatique et donc de réduire la probabilité d'inflammation sans totalement la supprimer.

VII. Enseignements de sécurité

VII.1 Prise en compte des modalités de nettoyage des bacs dès leur conception

Les 4 bacs D1450 ont été conçus et construits pour remplacer 2 bacs ayant le même usage car ils étaient devenus inutilisables à cause d'un phénomène de polymérisation dans le fond qu'il n'était pas possible d'éliminer. Pour autant la prise en compte des modalités de nettoyage des nouveaux bacs n'a pas été étudiée, seule la taille de la porte d'accès a été modifiée.

VII.2 L'inflammabilité d'une ATEX au moyen d'un jet d'eau à très haute pression

Dans des conditions très spécifiques d'utilisation, l'eau sous très haute pression peut générer des décharges électrostatiques d'intensité suffisante pour enflammer une atmosphère explosive (ATEX). Le risque dépend directement de plusieurs paramètres : conductivité du fluide projeté, volume de la capacité nettoyée, pression et débit de la buse. Le risque d'accumulation de charges électrostatiques lors d'opérations de nettoyage à l'eau à très haute pression doit donc être pris en compte s'il est susceptible de se former une ATEX. Pour rappel, ce risque est traité par la norme IEC TS 60079-32-1 section 7.10 qui définit un domaine au sein duquel le risque peut être considéré comme élevé (pression supérieure à 500 bars, débit supérieur à 5l/s, diamètre du réservoir supérieur à 3 m).

VII.3 Les limites de la liaison équipotentielle dans le cas du nettoyage à très haute pression

Les équipes en charge de l'opération de nettoyage avaient pour consigne de mettre à la terre les équipements avant chaque démarrage de chantier. Les constats réalisés confirment la bonne application de cette consigne. Cette explosion permet d'évoquer deux limites techniques à la liaison équipotentielle :

- Une liaison équipotentielle, bien que physiquement réalisée, peut être défectueuse ou inefficace (discontinuité dans la liaison, flexible non antistatique, ...);
- Dans le cas de la très haute pression, la formation des gouttelettes chargées dans le liquide est la résultante de plusieurs mécanismes dont les effets ne peuvent pas tous être annulés par une mise à la terre (Effet Lenard).

VII.4 L'élaboration de l'analyse de risques par une équipe pluridisciplinaire

Lors des réflexions menées pour améliorer le protocole de nettoyage qui avait été utilisé pour le bac D1450 D, l'équipe s'est focalisée sur le fait d'éliminer les inconvénients identifiés lors de la mise en œuvre de ce protocole. Des améliorations ont été apportées sans en analyser les impacts alors que les produits manipulés étaient insuffisamment caractérisés. L'implication dans l'élaboration de ce nouveau protocole d'une équipe pluridisciplinaire élargie à d'autres services aurait pu permettre une prise de recul plus importante sur les risques du nouveau protocole et la mise en place de mesures de prévention.

VII.5 Élaboration des permis de travail

Pour pouvoir sécuriser la réalisation de travaux, la délivrance de permis de travail doit se faire après une analyse de risques précise des travaux et de l'environnement dans lesquels ils doivent être réalisés. Dans le cas présent, l'analyse avait été menée sans connaissance précise du produit à traiter et sans prise en compte des risques présentés par la méthode de nettoyage haute pression dans les conditions du chantier.

VIII. Recommandations de sécurité

VIII.1 À destination de l'exploitant

Le BEA-RI recommande à la société Arlanxeo :

- D'intégrer les contraintes du nettoyage des équipements dès leur conception ;
- De conduire un paragonnage auprès des deux autres sites de production du groupe pour identifier une solution technique qui permettrait de réduire les quantités de résidus dans les eaux de process;

- De renforcer la méthode d'analyse des risques des opérations de nettoyage afin que les risques soient bien analysés et traités notamment par la caractérisation des déchets à nettoyer ;
- D'élaborer au regard du retour d'expérience de l'événement du 4 juillet 2024 un nouveau protocole de nettoyage à très haute pression des bacs tenant compte du risque ATEX (abaissement du débit ou de la pression, maintien d'une atmosphère neutre, recours à une autre nature de fluide) ;
- De revoir la procédure de délivrance des permis de travail.

VIII.2 À destination du prestataire de nettoyage haute pression

Le BEA-RI recommande à la société Sodi :

- De ne procéder à une opération de nettoyage qu'après s'être assuré de disposer d'une connaissance suffisante du produit à traiter et de son environnement. Pour ce faire, une analyse récente des produits à traiter sera systématiquement demandée, et en cas de risque identifié des mesures compensatoires devront être mises en place (inertage à l'azote ou ventilation par exemple). Sans informations suffisamment précises, une contre analyse devra être réalisée ou exigée à partir de nouveaux prélèvements.
- D'utiliser sa propre analyse de risques de sorte à pouvoir la confronter à celle conduite par le client en vue d'en évaluer sa robustesse et son exhaustivité ;
- Sur les interventions où le risque d'ATEX est identifié, de vérifier par une mesure l'efficacité de la liaison équipotentielle ;
- D'enrichir la formation de son personnel aux risques liés au nettoyage à très haute pression par une présentation du retour d'expérience de cet accident.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



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

MTE / 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>