



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Conseil général de l'environnement
et du développement durable
Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
sur les Risques Industriels**



Rapport d'Enquête

Sur l'incendie au sein du site
industriel Nexter Munitions situé
à La Chapelle-Saint-Ursin (18) le 11
juin 2021.

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'incendie au sein du site industriel Nexter Munitions situé à La Chapelle-Saint-Ursin (18)

N° : MTE-BEARI-2022-002

Date du rapport : 05/04/2022

Proposition de mots-clés : incendie, traitement de surface, automatisme, chauffe, détecteur de niveau.

Avertissement

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

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

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

Au titre de ce rapport on entend par :

- Cause de l'accident : toute action ou événement de nature technique ou organisationnelle, volontaire ou involontaire, active ou passive, ayant conduit à la survenance de l'accident. Elle peut être établie par les éléments collectés lors de l'enquête, ou supposée de manière indirecte. Dans ce cas le rapport d'enquête le précise explicitement.
- Facteur contributif : élément qui, sans être déterminant, a pu jouer un rôle dans la survenance ou dans l'aggravation de l'accident.
- Enseignement de sécurité : élément de retour d'expérience tiré de l'analyse de l'évènement. Il peut s'agir de pratiques à développer car de nature à éviter ou limiter les conséquences d'un accident, ou à éviter car pouvant favoriser la survenance de l'accident ou aggraver ses conséquences.
- Recommandation de sécurité : proposition d'amélioration de la sécurité formulée par le BEA-RI, sur la base des informations rassemblées dans le cadre de l'enquête de sécurité, en vue de prévenir des accidents ou des incidents. Cette recommandation est adressée, au moment de la parution du rapport définitif, à une personne physique ou morale qui dispose de deux mois à réception, pour faire part au BEA des suites qu'elle entend y donner. La réponse est publiée sur le site du BEARI.

Synthèse

Le 11 juin 2021, le site Nexter Munitions situé à la Chapelle-Saint-Ursin fonctionne de manière habituelle. Au sein du bâtiment appelé « la Douillerie », la chaîne de traitement de surface automatisée est en fonctionnement. Vers 2h00 du matin, la chauffe du bain n° 14 est interrompue en vue de son renouvellement. Aux alentours de 9h00, la cuve est vidangée et rincée et l'opération de remplissage peut débuter vers 12h00.

Vers 12h30, des salariés présents dans le bâtiment constatent de visu la présence d'un feu au niveau de la cuve n° 14. L'alerte est transmise en interne. Le plan d'opération interne est immédiatement déclenché et la consigne est donnée d'évacuer le bâtiment. Le service de secours de l'industriel n'intervient pas sur le foyer mais déploie des moyens d'extinction à l'extérieur de l'installation pour limiter le risque de propagation de l'incendie dans l'attente de l'arrivée des services de secours publics. À 12h50, les premiers équipages du SDIS arrivent sur place. Les services de secours mettent en place des moyens d'extinction et à 15h08 le feu principal est déclaré éteint.

La cause primaire de l'incendie est attribuée à la mise en chauffe du bain par l'automate d'exploitation alors que la cuve était insuffisamment remplie sur la base d'une information erronée du capteur de niveau haut. Ceci a provoqué la surchauffe, puis l'inflammation de la cuve qui possède un revêtement en matière combustible. La présence d'autres matières combustibles en quantité importante à proximité du départ du feu, le cloisonnement seulement partiel de l'atelier et accessoirement le maintien de l'aspiration ont conduit à une extension très rapide de l'incendie à l'ensemble de la chaîne de traitement de surface

Outre les enseignements de sécurité tirés de cet accident, le BEA-RI recommande à l'exploitant de :

- Renforcer la réponse opérationnelle de l'exploitant en cas d'accident en sécurisant l'alimentation électrique des fonctions essentielles à la sécurité (réseau informatique rendu inopérant par coupure d'énergie), en formalisant des procédures de mise en sécurité des activités pyrotechniques en cas de nécessité d'évacuation d'urgence, en réinterrogeant la doctrine d'intervention des ESI en cas d'incendie sur des installations non-pyrotechniques. Sur ce dernier point, un travail peut être conduit en lien avec le SDIS.
- Renforcer la sécurité de la chaîne en agissant sur plusieurs volets :
 - la détection (améliorer la fiabilité des capteurs en les protégeant des projections ou en augmentant leur nombre, renforcer l'interruption automatique de l'aspiration asservie à la détection incendie ou à une mesure de température dans le conduit d'aspiration des vapeurs) ;
 - la gestion de la phase de démarrage (en révisant la procédure de remplissage et de mise en route des bains et en réinterrogeant la pertinence de l'automatisation de la mise en chauffe) ;
 - le traitement des alertes (en simplifiant l'ergonomie de l'affichage des alertes et en sécurisant le mode d'acquiescement).

Sommaire

I.	Rappel sur l'enquête de sécurité.....	6
II.	Constats immédiats et engagement de l'enquête	6
	II.1 Les circonstances de l'accident	6
	II.2 Le bilan de l'accident	6
	II.3 Les mesures prises après l'accident.....	7
	II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête	7
III.	Contextualisation	7
	III.1 L'entreprise.....	7
	III.2 L'installation.....	8
	III.2.1 Le site.....	8
	III.2.2 Description et fonctionnement.....	9
	III.2.3 La sécurité incendie au sein du site Nexter Munitions	11
IV.	Compte-rendu des investigations menées.....	12
	IV.1 Reconnaissance de terrain	12
	IV.2 Les éléments communiqués par l'industriel	13
	IV.3 Analyse de l'inspection des installations classées.....	13
	IV.4 Analyse du BARPI.....	13
	IV.5 IV.2 Expertise Ineris.....	14
V.	Déroulement de l'évènement.....	14
	V.1 Déclenchement de l'évènement.....	14
	V.2 L'organisation de l'industriel et l'intervention des équipes de seconde intervention	15
	V.3 L'intervention des secours publics	16
VI.	Conclusions sur le scénario de l'évènement.....	16
	VI.1 Scénario	16
	VI.2 Facteurs contributifs.....	18
	VI.2.1 L'absence de mur coupe-feu intégral.....	18
	VI.2.2 L'intervention des équipiers de seconde intervention (ESI).....	19
	VI.2.3 La présence de matière combustible en quantité importante	20
	VI.2.4 L'absence d'opérateur sur la chaîne	20
	VI.3 Facteurs atténuateurs.....	20
	VI.3.1 Les plans et les exercices réguliers	20
	VI.3.2 Maitrise de l'activité pyrotechnie.....	20
	VI.3.3 Les moyens en eau et les moyens de rétention des eaux d'incendie.....	21
VII.	Enseignements de sécurité.....	21
	VII.1 La sécurisation électrique du site	21
	VII.2 La sécurisation électrique du réseau informatique	21
	VII.3 La question de la redondance des barrières et des automatismes	21
	VII.4 L'arrêt de l'aspiration	22
	VII.5 La cinétique rapide de l'incendie	24
	VII.6 La stratégie de défense incendie	24
VIII.	Recommandation de sécurité.....	24
	VIII.1 A destination de l'exploitant.....	24
	VIII.2 A destination du pouvoir réglementaire	25
	Annexe 1 Tableau des alarmes de la cuve n° 13.....	26
	Annexe 2 Synthèse des tests réalisés par Nexter sur les automatismes.....	27
	Annexe 3 Etude Ineris sur le comportement d'une cuve exposée au flux thermique d'un thermocouple	

Rapport d'Enquête

Sur l'incendie au sein du site industriel Nexter Munitions à La Chapelle-Saint-Ursin (18)

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 11 juin 2021, la chaîne de traitement de surface automatisée du bâtiment appelé « la Douillerie » est en cours de fonctionnement. Vers 12h30, des salariés présents dans le bâtiment constatent de visu la présence d'un feu au niveau d'une des cuves de bain. Un opérateur emprunte la passerelle centrale et constate la présence de flammes à l'intérieur de la cuve n° 14. L'alerte est transmise en interne. Le plan d'opération interne est immédiatement déclenché et la consigne est donnée d'évacuer le bâtiment. Le service de secours de l'industriel est mobilisé. Des moyens d'extinction sont positionnés à l'extérieur de l'atelier de traitement de surface pour limiter le risque de propagation de l'incendie dans l'attente de l'arrivée des services de secours publics. À 12h50, les premiers équipages du SDIS arrivent sur place. Compte tenu de l'important panache de fumée qui se dégage et de la présence de matières dangereuses dans le bâtiment, le directeur de site, après s'en être entretenu avec le commandant des opérations de secours, décide vers 13h10 de déclencher la sirène utilisée en cas d'activation du plan particulier d'intervention (PPI)¹. Les services de secours mettent en place des moyens d'extinction et à 15h08 le foyer principal est déclaré éteint.

II.2 Le bilan de l'accident

L'incendie a provoqué la destruction de la ligne de traitement de surface ainsi que d'une partie des machines utilisées dans l'unité de fabrication d'éléments de munitions. Une grande partie des locaux a été recouverte par la suie des fumées d'incendie rendant les chaînes de fabrication momentanément indisponibles. La zone pyrotechnique n'a jamais été menacée.

L'incendie n'a fait aucune victime ni aucun blessé.

¹ L'utilisation de la sirène PPI est encadrée par l'arrêté préfectoral du 17 mars 1987 et le PPI est approuvé par arrêté préfectoral du 19 décembre 2018.

Le déclenchement du PPI a entraîné en mesure réflexe le confinement d'une école et l'évacuation des salariés de l'entreprise et des entreprises voisines pendant près de 2 heures.

Aucun impact immédiat à l'extérieur du site n'a été constaté. Des investigations complémentaires imposées par arrêté préfectoral ont été réalisées par un organisme certifié pour caractériser l'impact environnemental de l'incendie. Le rapport communiqué par Nexter à l'administration conclut que l'incendie n'a engendré aucun impact environnemental significatif.

Au regard de ces investigations, l'impact de l'accident apparaît essentiellement économique, le coût total des dommages au sein de l'installation dépassant le seuil de 2 millions d'euros fixé par la directive européenne « Seveso » pour qualifier un accident majeur.

II.3 Les mesures prises après l'accident

A la suite de l'accident, l'installation a été consignée et mise en sécurité dans l'attente notamment d'inspections ultérieures. Lors du déplacement du BEA sur site, les eaux d'extinction avaient été envoyées en filière d'élimination et les bains étaient en cours de pompage.

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

Au vu des circonstances et du contexte de l'accident et notamment de son impact économique qui conduit à le qualifier d'accident majeur conformément à l'annexe 6 de la directive Seveso, 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.

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur place le jeudi 17 juin 2021. Ils ont rencontré le directeur du site ainsi que ses collaborateurs en présence de l'inspection des installations classées de la DREAL Centre Val de Loire. Dans un second temps, ils ont rencontré le service départemental d'incendie et de secours du Cher.

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

III. Contextualisation

III.1 L'entreprise

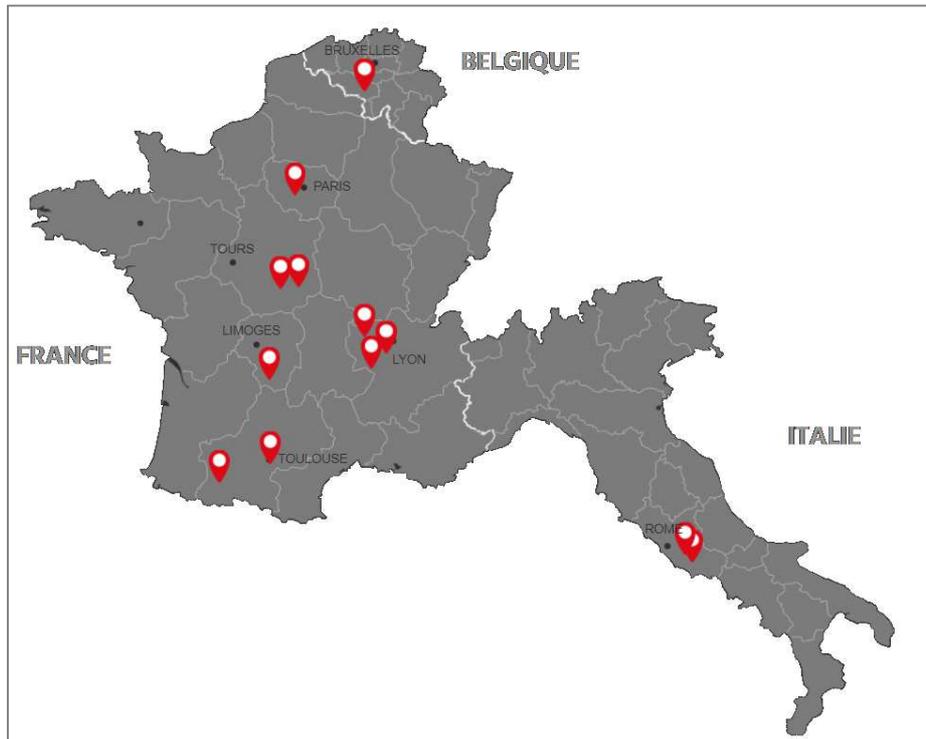
La société Nexter est spécialisée dans la fabrication et l'entretien de systèmes d'armes terrestres. Elle est née en 2006 de la restructuration de la compagnie nationale GIAT Industries SA. En fusionnant en 2015, Nexter et KMW donnent naissance au groupe KNDS (Krauss-Maffei Nexter Defense Systems) au sein duquel chaque entité conserve néanmoins son identité.

Le groupe Nexter emploie près de 4000 salariés sur 12 sites différents. Les activités du groupe se répartissent en 3 grands domaines :

- Nexter Systems ;
- Nexter Munitions ;
- Nexter Mechanics.

Le groupe est présent sur les sites français de Roanne, Versailles/Satory, Tulle, Bourges, La Chapelle-Saint-Ursin, Saint-Chamond, Saint-Étienne, Rennes, Tarbes et Toulouse.

Le site de la Chapelle-Saint-Ursin est le centre de production de munitions, de têtes militaires et de dispositifs de sécurité et d'armement pour missiles et torpilles.



Carte 1 : Carte des implantations du groupe Nexter (Source : Site internet du groupe Nexter)

III.2 L'installation

III.2.1 Le site

Le site Nexter Munitions de la Chapelle-Saint-Ursin emploie près de 300 personnes. Il est spécialisé dans la fabrication de munitions de gros et moyens calibres. Pour ce faire, l'entreprise met en œuvre des équipements et des procédés spécifiques dans les domaines de la mécanique et de la pyrotechnie. Compte tenu des procédés employés et des substances stockées, le site relève de la directive Seveso², seuil haut pour le stockage de matières dangereuses (stockage de produits explosifs) et de la directive IED³ relative aux émissions industrielles pour l'activité de traitement de surface.

Bien que travaillant dans le domaine de l'industrie de la défense, le site est un site civil et est dès lors contrôlé par l'inspection des installations classées de droit commun (DREAL) et non pas par l'inspection du Contrôle général des armées en charge de l'inspection des sites militaires.

² Directive 2012/18/UE du Parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2012 concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses, modifiant puis abrogeant la directive 96/82/CE du Conseil

³ Directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution)

III.2.2 Description et fonctionnement

L'installation impliquée dans l'incendie est une ligne de traitement de surface intervenant dans le processus de fabrication des douilles de munitions. Elle est située en partie centrale d'un bâtiment industriel qui comprend des ateliers de fabrication.

La toiture du bâtiment est constituée en bacs acier en deux fois deux pans. L'atelier de traitement de surface est situé à l'aplomb d'un point bas de toiture.



Photographie 1 : Photographie du bâtiment qui abrite l'atelier de traitement de surface désigné en vert.

La chaîne est entièrement automatisée. Elle se compose de plusieurs bains d'acide, de base et d'eau de rinçage. Elle comprend également un bain de phosphatation.

L'ensemble de la chaîne est commandé par un automate d'exploitation de contrôle standard constitué d'une unité centrale de traitement de marque Siemens. Cet automate gère :

- Les cycles de bain et de rinçage des pièces ;
- La qualité des bains de rinçage en permettant l'ajustement de la concentration des bains et en régulant leur température ;
- Et également des fonctions de sécurité, [au sens de la réglementation des installations classées], en traitant les alarmes relatives aux températures hautes et au niveau des bains (niveau très bas, et très haut).

Les interventions de personnels sont néanmoins fréquentes pour des opérations de vidange, de rinçage et de remplissage des bains, des interventions de repositionnement des robots ou pour des interventions de maintenance.

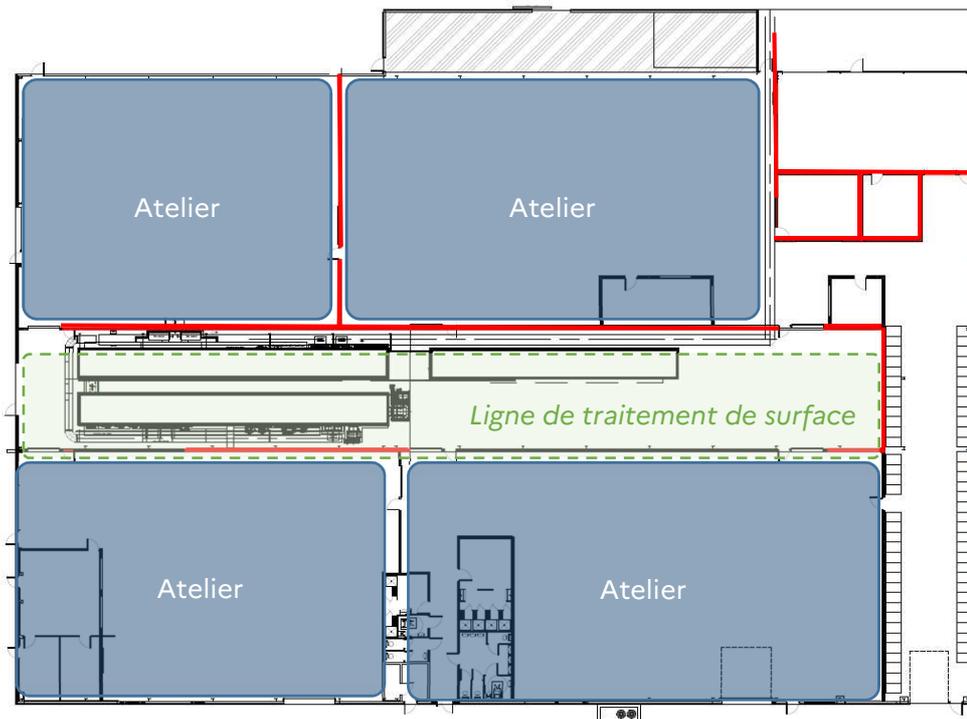


Figure 1 : Schéma d'implantation de l'atelier de traitement de surface au sein du bâtiment. En rouge figurent les murs qui présentent un caractère coupe-feu

En ce qui concerne à proprement parler les sécurités liées à la cuve, cette dernière est équipée de 4 niveaux de mesure dont le franchissement conduit à des actions prédéterminées :

niveau	Actions engagées
niveau très bas	arrête la chauffe et envoie une alarme
niveau bas	ouvre l'électrovanne de remplissage de la cuve
niveau haut	coupe l'électrovanne
niveau très haut	Coupe l'électrovanne et envoie une alarme

Tous les franchissements de seuils n'apparaissent pas dans le listing des alarmes. C'est la raison pour laquelle il n'est jamais fait mention des seuils haut et bas. L'acquiescement des alarmes de niveau se fait soit de manière manuelle soit de manière automatique par désactivation du capteur (franchissement du niveau par le liquide). Par ailleurs, l'exploitant nous a indiqué que l'acquiescement d'une alarme ne se fait pas de manière automatique « par déduction » du déclenchement d'une autre alarme de seuil (par exemple, acquiescement du niveau très bas par activation du niveau très haut). C'est néanmoins ce que l'on peut constater en observant les acquiescements de 9h21, 12h02 et 12h03 qui sont concomitants (dans la même seconde) à des activations de seuils.

Dans le cadre de l'enquête, l'exploitant a proposé de procéder à des tests de son automate pour confirmer les asservissements. Ces tests démontrent bien que seul l'acquiescement du niveau très bas déclenche la chauffe du bain. Ils montrent également que lorsque les niveaux très haut et très bas sont activés, la désactivation du niveau très bas déclenche la chauffe du bain (Annexe II : passage de la ligne 5 à la ligne 6).

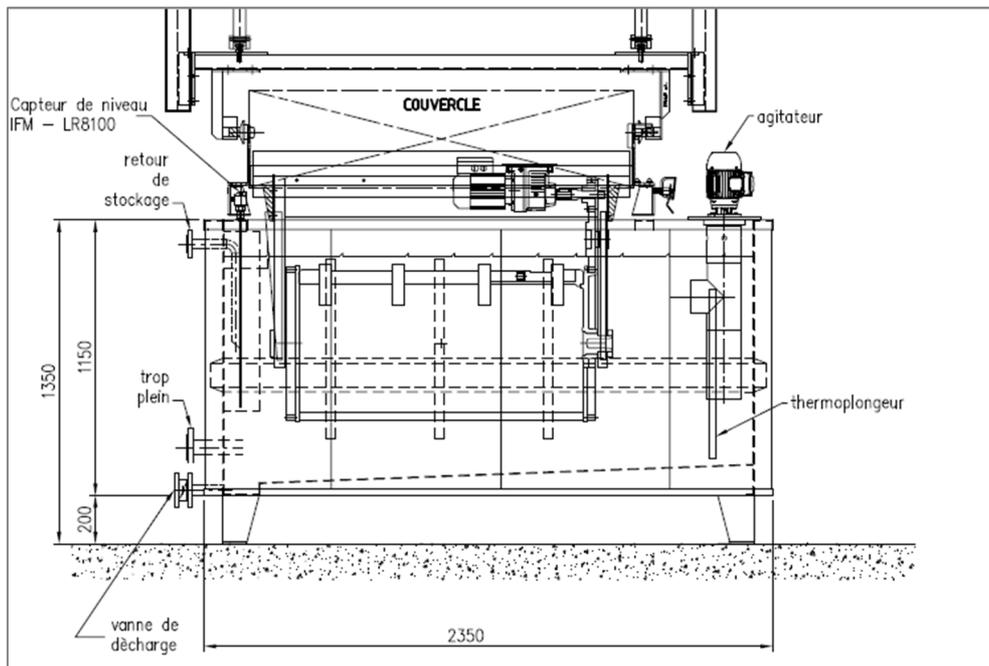


Figure 2 : Coupe de la cuve n° 14

III.2.3 La sécurité incendie au sein du site Nexter Munitions

Comme dans la plupart des sites industriels classés Seveso, la sécurité repose sur un ensemble de moyens humains, techniques et organisationnels défini et mis en œuvre en application du système de gestion de la sécurité de l'étude de dangers du site et du plan d'opération interne.

Ce dernier définit les modalités d'organisation des moyens de secours interne de l'exploitant. Il prévoit :

- une formation d'Equipier de Première Intervention (EPI) dispensée une fois par an à tous les nouveaux personnels NEXTER du site de la Chapelle Saint Ursin. Cette formation a pour but de savoir manipuler un extincteur pour maîtriser un début d'incendie. Elle est revue périodiquement.
- une formation Sauveteur Secouriste du Travail (SST) sur la base du volontariat qui permet de disposer de plusieurs personnes SST réparties sur l'ensemble du site. Cette formation permet de prendre en charge les victimes de l'atelier jusqu'à l'infirmerie.
- une équipe d'Equipier de Seconde Intervention (ESI) constituée de personnels NEXTER sur base du volontariat. Les personnes de cette équipe sont munies d'un bip leur permettant d'être alertées en cas d'évènement. Une fois déclenchés, les ESI se rendent à la caserne afin de prendre connaissance du sinistre et d'organiser le départ en intervention. Les moyens internes sont déployés, durant les heures de travail, environ en 5 minutes pour une arrivée sur les lieux et en 15 minutes pour la réalisation de la première action.

L'exploitant organise régulièrement des exercices de simulation d'accident en lien avec les services de secours publics.

IV. Compte-rendu des investigations menées

IV.1 Reconnaissance de terrain

Lors de leur déplacement du 17 juin 2021, les enquêteurs du BEA-RI ont procédé aux premiers constats en présence des personnels de la société Nexter Munitions et d'un inspecteur de la DREAL.

Dans un second temps, les enquêteurs ont rencontré des représentants du SDIS pour aborder les conditions d'interventions des sapeurs-pompiers ainsi que les éventuelles difficultés qu'aurait pu présenter cette intervention.

Les enquêteurs retiennent de ces entretiens et de cette visite les éléments suivants :

- L'incendie s'est produit en heures ouvrées alors que la chaîne était en fonctionnement. Au moment du départ du feu le personnel participait à une réunion ;
- L'alerte a très rapidement été donnée par des salariés et le directeur d'établissement a immédiatement déclenché le plan d'opération interne (POI) de l'établissement ;
- Conformément au POI, les équipes de sécurité incendie ont mis en œuvre les moyens internes de lutte contre l'incendie (queues de paon, lances) et les salariés non-nécessaires à la gestion de l'incendie ont été mis à l'abri aux points de rassemblement ;
- Le service d'incendie et de secours public a pu disposer des moyens suffisants pour maîtriser l'incendie dans un délai que nous qualifierons de court au regard de l'ampleur de l'incendie (approximativement 2 heures pour une surface de bâtiment impliquée dans l'incendie de 800 m² au sein d'un bâtiment de 7500 m²) ;
- Bien que le risque d'accident majeur tel qu'envisagé par l'étude de dangers ait été écarté rapidement, le directeur du site a décidé, comme l'y autorise le Code de l'Environnement et l'arrêté du Préfet du 19 décembre 2018 de déclencher les sirènes « PPI »⁴ en raison de l'important panache de fumées produit par l'incendie. De manière générale, le PPI prévoit, par précaution, en mesure réflexe, le confinement des populations. Le jour de l'accident, il a été procédé à l'arrêt de la ligne ferroviaire Bourges Montluçon et au confinement des salariés des entreprises voisines ainsi que des personnels et des élèves de l'école de Morthomiers. Les mesures de prélèvement réalisées dans l'environnement au cours de la crise ont permis de lever progressivement ces consignes de confinement ;
- L'examen du lieu de l'incendie montre que la chaîne de traitement était située dans un local partiellement délimité par un mur qui ne présentait pas toutes les caractéristiques d'un mur coupe-feu (pas de mur toute hauteur et de protection sous toiture ou de dépassement en toiture, ouverture, passages de gaine). On relève néanmoins des différences notables de dégradation entre la partie protégée par ce mur coupe-feu, même partiel, et la partie de local non protégée par la présence d'un mur ;
- Le bâtiment est équipé d'une détection incendie (composé de 23 détecteurs automatiques de fumée) et d'exutoires de fumées (surface estimée 12m²) ;
- Les dispositifs de récupération des eaux d'incendie ont fonctionné ce qui a permis leur collecte et leur élimination ;

⁴ La délégation du pouvoir de déclenchement du PPI est généralement prévue par la réglementation lorsque la cinétique des phénomènes dangereux le justifie comme c'est généralement le cas avec les sites à risque pyrotechnique. Les mesures habituellement déléguées concernent le déclenchement des sirènes (qui entraîne en mesure réflexe le confinement des populations), le déclenchement des trains d'appels aux communes et aux organismes associés à la gestion de crise comme par exemple la SNCF dont une ligne est située à proximité.

- L'incendie qui a démarré au niveau d'une des cuves de la ligne de traitement de surface s'est rapidement propagé à la totalité de la chaîne. Selon les témoignages confirmés par le compte-rendu d'opération du SDIS, près d'une demi-heure seulement après l'alerte, l'incendie semble s'être propagé à la totalité de la chaîne de traitement.

IV.2 Les éléments communiqués par l'industriel

La société Nexter Munitions a pleinement collaboré au bon déroulé de l'enquête en répondant au BEA-RI et en communiquant l'ensemble des documents demandés dans le cadre de l'enquête.

IV.3 Analyse de l'inspection des installations classées

L'inspection des installations classées a confirmé que le fonctionnement du site Nexter était encadré par l'arrêté préfectoral du 27 mai 1983 modifié et complété par une série d'arrêtés préfectoraux. Cet arrêté précise les conditions d'exploitation et les mesures de maîtrise des risques issues de l'instruction des études de dangers et du plan de prévention des risques technologiques.

Le contrôle de son application par l'inspection des installations classées n'a pas conduit cette dernière à relever des écarts qui seraient de nature à contribuer à la survenance de l'incendie.

Le site fait l'objet d'une étude de dangers révisée en 2019 qui recense les accidents majeurs susceptibles de se produire sur le site. L'incendie du bâtiment 28S y est abordé dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques mais n'est pas retenu comme accident majeur⁵.

De manière plus générale, la DREAL Centre a également indiqué aux enquêteurs que la recrudescence des incendies des activités de traitement de surface faisait l'objet d'une attention particulière qui s'est traduit depuis quelques années par une action prioritaire de contrôle dans le programme d'inspection. Cette focalisation sur le risque incendie vise à renforcer les contrôles sur la présence, l'entretien et le bon état des sécurités obligatoires concernant la chauffe des bains vides tel qu'imposé par la réglementation⁶.

IV.4 Analyse du BARPI

Le constat de la DREAL Centre en matière d'incendie dans le domaine du traitement de surface confirme les données de l'accidentologie fournies par le Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels (BARPI) de la DGPR et dont le BEA-RI a déjà fait état dans ses rapports d'enquête de Marignane (2021)⁷ et d'Escout (2021)⁸.

Il ressort de cette analyse établie sur la période 1998-2020 qu'avec 294 occurrences recensées entre 1998 et 2020, l'incendie est identifié dans 54% des accidents survenus au sein des activités de traitement de surface. Il peut être intéressant de noter que sur ces 294 événements avec incendie, un tiers pâtissent également de rejets de matières dangereuses (102) (hors rejets liés aux fumées d'incendie).

L'autre enseignement concerne la fréquence d'occurrence de ce type d'évènement. Les chiffres communiqués font état d'un nombre qui fluctuent entre 8 et 18 événements annuels mais, une fois

⁵ Paragraphe 7.2.1 de l'étude de dangers dans sa version du 1^{er} décembre 2019

⁶ Article 6 de l'arrêté du 30 juin 2006 relatif aux « prescriptions générales applicables aux installations relevant du régime de l'autorisation au titre de la rubrique n° 3260 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement »

⁷ http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_marignane_vdif_31082021_cle612e71.pdf

⁸ http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport-escout-vdif_cle01434e.pdf

écartées les années atypiques (2002, 2010, 2014, 2017, 2019) se situent autour d'une moyenne de 13 incendies annuels.

S'agissant des causes de l'incendie, il apparaît que lorsque les causes sont connues (145 sur les 294 incendies recensés), « les défauts matériels représentent la perturbation la plus fréquemment à l'origine des incendies dans l'activité de traitement de surface ».

Parmi ces défauts, 58 événements mentionnent une défaillance des équipements électriques liée aux bains (chauffe des bains de traitement, thermoplongeurs ou cannes chauffantes, surchauffe de résistances de chauffage). L'échauffement produit se propage alors aux matériaux de nature combustible environnants tels que les boîtiers plastiques de connexion des cannes ou des cuves elles-mêmes en plastique.

IV.5 IV.2 Expertise Ineris

Le 15 novembre 2021, le BEA-RI a sollicité l'expertise de l'Ineris pour vérifier, en fonction de la géométrie et de la puissance des éléments chauffants, la possibilité d'allumage d'un incendie lors d'une mise en chauffe à sec des cannes chauffantes. Le rapport de l'Ineris est joint en annexe 3 au présent rapport.

V. Déroulement de l'évènement

V.1 Déclenchement de l'évènement

Le 11 juin 2021, la chaîne de traitement fonctionne normalement. Une opération de vidange de la cuve n° 14 est programmée dans la matinée et la chauffe des bains est stoppée. A 2h02, l'automate reçoit l'alarme relative à la température basse du bain. Alarme confirmée à 2h34 et acquittée à 5h15. L'acquiescement est une opération manuelle assurée par l'opérateur qui atteste de la prise d'information des alarmes. L'acquiescement est général et porte sur toutes les alarmes actives à la fois. Il nécessite, au préalable, une prise de connaissance ou une levée de doute de la situation sur la chaîne. Dans le cas présent, l'acquiescement de l'alarme « température basse » ne souffrait d'aucune ambiguïté compte tenu de l'arrêt de la chauffe et de la programmation dans la matinée de la vidange de la cuve.

Aux alentours de 9h00 commence l'opération de vidange et de rinçage du bain par une société prestataire. L'automate de sécurité reçoit plusieurs messages contradictoires concernant le niveau de liquide.

Horaires de l'automate	Messages	Horaires corrigés
9h20	Niveau très bas	9h25
9h21	Niveau très haut	9h26
9h21	Acquiescement niveau très bas	9h26
9h33	Niveau très bas	9h38
9h33	Niveau très haut	9h38
10h04	Niveau très bas	10h09
10h05	Acquiescement niveau très bas	10h10

Tableau 1 : Relevé des alertes traitées par l'automate. L'horloge de l'automate retardant de 5 minutes, la colonne de droite précise les horaires corrigés.

Selon les éléments rapportés par l'exploitant, il apparaît que lors de la phase de nettoyage, les capteurs de niveau peuvent recevoir des projections d'eau ou de produits chimiques qui sont responsables de ces messages.

Vers midi, l'opérateur de la chaîne de traitement procède au remplissage de la cuve en produit chimique. Toujours selon les déclarations de l'exploitant, cette phase s'observe dans les alertes enregistrées par l'automate (12h02, 12h08).

Horaires de l'automate	Messages	Horaires corrigés
10h05	Acquittement niveau très bas	10h10
11h15	Niveau très bas	11h20
12h02	Acquittement niveau très haut	12h07
12h02	Niveau très bas	12h07
12h03	Niveau très haut	12h08
12h03	Acquittement niveau très bas	12h08
12h08	Niveau très bas	12h13
12h08	niveau très haut	12h13

Tableau 2 : relevés des alertes traitées par l'automate entre 12h07 et 12h23 (en horaires corrigés)

A 12h30, un opérateur sortant de réunion constate la présence de flammes à l'intérieur de la cuve n° 14, en progressant vers la zone de l'incendie par l'intermédiaire de la passerelle. A cet instant, les flammes font alors une trentaine de centimètres.

Il transmet immédiatement l'alerte auprès du poste de garde.

V.2 L'organisation de l'industriel et l'intervention des équipes de seconde intervention

A la suite de la découverte de l'incendie, le directeur de site déclenche le POI. Les équipes de seconde intervention (ESI) positionnent les moyens internes de lutte contre l'incendie en protection des bâtiments et des équipements situés aux abords de la chaîne de traitement.

Les premières manœuvres ont consisté à protéger les installations et les bâtiments voisins dans l'attente de l'arrivée des secours publics, tout en évitant d'arroser le foyer en raison de la présence des bains d'acide.

Les procédures de mise à l'abri du personnel ont été rapidement déclenchées et les personnels non essentiels à la gestion de crise ont été rassemblés aux points de rassemblement prévus dans les plans d'urgence.

L'industriel a dû en outre traiter la question de l'interruption d'une production en cours en zone pyrotechnie qui présentait également des enjeux de sécurité indépendants de l'incendie en cours. Cette opération a constitué un point de vigilance pendant et à l'issue de la gestion de l'incendie.

En application du plan d'opération interne, plusieurs fonctions d'appui sont constituées autour du directeur de site (recensement, communication aux institutionnels, fonction exploitation, logistique, signalisation et rapatriement des salariés) qui permettent à ce dernier de se consacrer totalement à sa fonction de directeur des opérations internes (DOI).

Nous notons également qu'au déclenchement du PPI par l'exploitant, en accord avec le commandant des opérations de secours, du personnel Nexter a rejoint le COD en préfecture pour assurer le rôle de conseiller technique auprès du directeur des opérations de secours en complément des services du préfet.

V.3 L'intervention des secours publics

Le SDIS réceptionne l'appel au 18 vers 12h40. Les premiers équipages en provenance de la caserne de Bourges Danjons, située à 7 km, arrivent sur site à 13h02. Ils constatent le positionnement des moyens de protection mis en œuvre par l'industriel (lances queue de paon en protection des bâtiments voisins) et confirment l'embrassement généralisé du local où se trouve l'activité de traitement de surface.

Les sapeurs-pompiers bénéficient d'une bonne connaissance des installations puisque le site fait l'objet d'un plan ETARE et qu'en tant qu'établissement Seveso seuil haut, il fait l'objet d'exercices de crise réguliers. Les moyens en eau sont suffisants sur le site et permettent rapidement (13h24) d'établir les moyens nécessaires à l'extinction du sinistre. Ils se composent de :

- Trois lances au sol et une lance sur échelle ;
- Une lance queue de paon en protection du mur coupe-feu.

Ces moyens viennent en complément de ceux des équipes de seconde intervention internes à l'entreprise déjà positionnés.

Le feu est déclaré éteint à 15h08 avec maintien d'une extinction de foyers résiduels.

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement

VI.1 Scénario

Les témoignages recueillis ainsi que les constats réalisés lors de la visite nous conduisent à exclure assez rapidement des causes externes à l'installation ou une origine malveillante.

Ils corroborent un départ de feu à l'intérieur de la cuve n° 14. L'exploitation des témoignages et des enregistrements des alertes reçues par l'automate nous amène à avancer l'hypothèse exprimée dans les paragraphes à suivre.

La séquence d'enregistrements ci-dessous a retenu en particulier l'attention des enquêteurs :

Horaires de l'automate	Messages	Horaires corrigés
9h20	Niveau très bas	9h25
9h21	Niveau très haut	9h26
9h21	Acquittement niveau très bas	9h26
9h33	Niveau très bas	9h38
9h33	Niveau très haut	9h38
10h04	Niveau très bas	10h09
10h05	Acquittement niveau très bas	10h10

11h15	Niveau très bas	11h20
12h02	Acquittement niveau très haut	12h07
12h02	Niveau très bas	12h07
12h03	Niveau très haut	12h08
12h03	Acquittement niveau très bas	12h08
.	Mise en route automatique de la chauffe du bain	
12h08	Niveau très bas	12h13
12h08	Niveau très haut	12h13
12h21	Disjonction chauffage	12h27
12h30	Température haute	12h35
12h31	Thermostat température haute	12h36
12h31	Thermostat sécurité	12h36

Tableau 3 : Tableau des alertes concernant la cuve n° 14

Dans la perspective d'une opération de vidange qui devait avoir lieu dans la matinée, les techniciens ont basculé la cuve en mode manuel dans la nuit du 10 au 11 juin. L'opération de vidange a débuté à 9h00.

La multiplication des alarmes « niveau très bas » atteste de la situation. On note toutefois la répétition d'alarmes « niveau très haut » que l'exploitant explique par des projections. Nous émettons des réserves sur cette seule explication car pour le bac 13 qui subit les mêmes opérations (vidange, rinçage, remplissage), l'automate n'enregistre aucun message d'alerte de niveau très haut (Cf. enregistrement des alertes pour le bac 13 en annexe). Une autre cause ne peut donc être exclue (défaillance ou encrassement du capteur).

Vers midi, l'opérateur débute la phase de remplissage du bain n° 14. Ce premier apport est réalisé manuellement. La procédure⁹ prévoit le remplissage au deux tiers de la cuve, puis une montée en température à 40°C, l'ajout du produit chimique (acide¹⁰) et un dernier ajustement en eau ou en produit.

Les personnes interrogées ont déclaré avoir versé l'eau et le produit puis enclenché l'automate pour que celui-ci termine le remplissage de la cuve et démarre la chauffe. Les informations sont imprécises en ce qui concerne le volume de liquide versé lors de cette première étape : dans un premier temps, il a été déclaré 1/3 de hauteur de bain (insuffisante pour recouvrir les thermocouples) avant qu'il soit déclaré un volume au 2/3 conforme à la procédure.

Les messages d'alerte de 12h02 et 12h03 (12h07 et 12h08, horaires corrigés) montrent que les capteurs transmettent à nouveau des informations contradictoires (Activation en une minute des niveaux très haut et très bas).

A cet instant, nous émettons l'hypothèse que le mode automatique est activé (les enregistrements ne reprennent pas cette information). L'acquittement manuel du niveau très bas qui intervient à 12h03 (12h08 horaire corrigé) provoque la mise en route de la chauffe.

La cuve n'est alors que partiellement pleine et, dans cette configuration, une partie significative des résistances de chauffe n'est pas immergée.

⁹ Mode opératoire remplissage décapage faible

¹⁰ L'acide est du BONDERITE C-IC SL qui est un produit liquide acide, spécialement formulé pour le détartrage des installations de traitement de surface.

Directement exposé à la chaleur émise par la résistance, le revêtement intérieur de la cuve n° 14 constitué d'ébonite, est exposé au flux thermique de 3 résistances de 12kW, fond et s'enflamme. Aucun opérateur n'est présent sur la chaîne et aux abords de la cuve n° 14 pour constater des signes précurseurs de l'incendie : chauffe des résistances, fusion du revêtement de cuve, fumée, odeur.

Consulté dans le cadre de l'enquête, le fabricant du thermoplongeur confirme qu'en l'absence de liquide, il ne faut que quelques minutes au film chauffant pour dépasser la température de fusion de la gaine protectrice en téflon (400°C) et chauffer les bords de la cuve. Egalement interrogé sur le sujet, l'Ineris a été amené à valider l'hypothèse de l'inflammation d'une cuve ébonitée dans le cadre d'un thermoplongeur tubulaire placée à 10 cm du bord de cuve (cf. annexe 3).

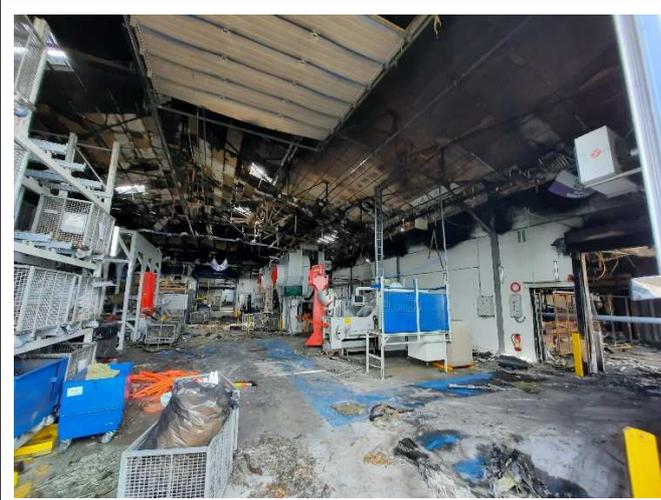
La disjonction de l'alimentation de la chauffe des bains à 12h21 (12h27 horaire corrigé) est un élément qui peut confirmer que la chauffe des bains était bien active au moment du départ du feu. Elle peut s'expliquer par un embrasement des câbles d'alimentation des résistances qui, une fois privés de leur isolant plastique, entrent en contact et donnent lieu à un court-circuit provoquant le déclenchement du disjoncteur.

L'incendie ainsi formé a trouvé dans son environnement proche les matières combustibles (installations électriques, plexiglass anti-projections, capotage d'aspiration des vapeurs, gaines d'aspiration, panier de transport des pièces), pour se développer et se propager au reste de l'installation dans un délai assez rapide.

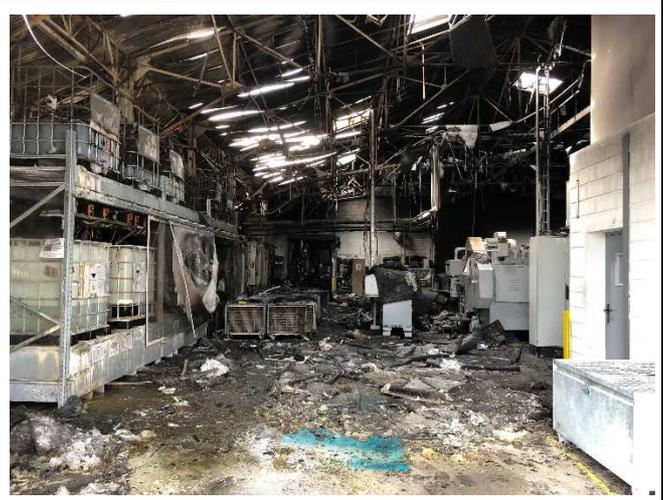
VI.2 Facteurs contributifs

VI.2.1 L'absence de mur coupe-feu intégral

La chaîne automatisée de traitement de surface n'est que partiellement entourée d'un mur coupe-feu. En raison de la présence d'équipements constitués essentiellement de matières plastiques, l'incendie s'est rapidement propagé à l'ensemble de la chaîne et a produit des quantités importantes de fumées qui se sont diffusées en sous-face de toiture. La partie de bâtiment qui n'était pas protégée par un mur en parpaings a été exposée aux rayonnements thermiques et aux fumées d'incendie. Les dégâts constatés sont importants. La zone située derrière le mur en parpaings a été davantage protégée. Seules les fumées se sont propagées mais dans des proportions limitées en raison notamment de la forme en « V » de la toiture au droit de la ligne de traitement (cf. photo page 9).



Photographie 2 : partie du bâtiment protégé par un mur coupe-feu partiel (le départ de feu a eu lieu derrière le mur en parpaings blancs). Toutefois, en l'absence de dépassement du mur en toiture ou d'étanchéité en sous-face, les fumées ont pu se propager.



Photographie 3 : Partie du bâtiment qui n'était pas protégée par un mur coupe-feu (le feu s'est produit derrière le rayonnage où sont entreposés les GRV)

VI.2.2 L'intervention des équipiers de seconde intervention (ESI)

En cas d'accident sur un site Seveso, les actions que doit mettre en œuvre l'industriel sont définies par le plan d'opération interne (POI). En matière de risque pyrotechnique, la stratégie d'intervention consiste généralement à la mise à l'abri des personnels et la prévention de la propagation de l'accident. Les moyens engagés sont positionnés en protection et en dehors des zones des effets d'une éventuelle explosion. Le POI de Nexter Munitions est construit sur la base de cette doctrine. Il comporte pour chaque scénario d'accident majeur identifié par l'étude de dangers du site, une fiche regroupant les consignes à suivre en matière de mise à l'abri des personnes, de transmission de l'information et de protection des enjeux situés à proximité du lieu de l'accident.

Dans la mesure où l'incendie du bâtiment 28S n'est pas retenu comme accident majeur au titre de l'étude de dangers, cet événement ne fait pas l'objet d'une fiche dédiée. Il ne fait pas non plus l'objet de stratégie de défense incendie spécifique.

Appliquant les modalités d'intervention auxquelles ils sont entraînés et habitués, les ESI se sont donc positionnés en protection des enjeux situés autour du sinistre avec pour consigne du directeur des opérations de secours de ne pas intervenir directement sur le foyer. Dans le cas présent, l'objectif était d'éviter la projection d'eau dans les bains d'acide et de risquer une réaction exothermique. En l'absence d'intervention sur le foyer dans les premiers instants, l'incendie a pu prendre de l'ampleur et se propager à l'ensemble de la chaîne de traitement.

Arrivés pourtant seulement quelques minutes après sur le lieu de l'incendie, les sapeurs-pompiers, confrontés à un sinistre déjà bien développé, n'ont finalement pas eu d'autre choix que d'arroser massivement à l'eau la ligne de traitement de surface, ce que la stratégie initiale visait à éviter.

VI.2.3 La présence de matière combustible en quantité importante

Ce constat a déjà été fait dans les rapports d'enquête établis dans le cadre des affaires de traitement de surface précédents (Escout¹¹, Marignane¹²). De manière générale, une ligne de traitement de surface se compose de cuves qui contiennent les bains. Ces cuves peuvent être en PEHD, en acier revêtu ou en acier inox. La ligne de traitement comprend également des équipements électriques (armoires, instrumentation, ...) et le système de récupération des vapeurs. Ce dernier, essentiellement composé de matériaux polymères, constitue une quantité importante de matière combustible. On peut également trouver des grands récipients vrac (GRV) qui, de par leur constitution en polyéthylène, apportent du combustible qui participe à l'incendie. Dans le cas du procédé mis en œuvre par la société Nexter Munitions, les casiers contenant les pièces métalliques sont également en matières plastiques et ont contribué au potentiel calorifique de l'incendie.

VI.2.4 L'absence d'opérateur sur la chaîne

Lorsque la séquence accidentelle s'est produite, les opérateurs de la chaîne participaient à une réunion de briefing. Durant cette réunion de courte durée, les personnels qui, en temps normal, auraient été à proximité des équipements, n'étaient pas présents. Ils n'étaient donc pas en capacité de repérer les signes précurseurs d'un échauffement excessif du revêtement de cuve. Il est difficile d'attester qu'une présence de personnel aurait permis d'éviter l'incendie mais leur absence a indubitablement contribué à l'apparition et la perte de maîtrise de ce dernier.

VI.3 Facteurs atténuateurs

VI.3.1 Les plans et les exercices réguliers

Le site Nexter Munitions étant un établissement classé Seveso seuil haut, le site fait régulièrement l'objet d'exercices de simulation d'accident pour entraîner les équipes aux procédures de mise à l'abri et d'intervention. Par ailleurs, en tant qu'établissement Seveso, le site fait l'objet d'un plan ETARE élaboré par le SDIS¹³ et destiné à permettre la mise en place logique, coordonnée et rapide des moyens et méthodes d'intervention pour faire face aux sinistres de toute nature. Enfin, conformément au code de l'environnement, le site fait l'objet d'un exercice PPI à minima une fois tous les trois ans ce qui permet aux équipes de l'industriel, celles des services de l'État et des secours publics de tester les organisations autour d'un scénario d'accident majeur. L'ensemble de ces plans tenus à jour et régulièrement testés au travers d'exercices ont permis de faciliter la mise en place rapide des secours privés et publics (constitution des ESI, accueil du service d'incendie et de secours public, entretien des moyens de lutte contre l'incendie, mise à disposition du plan à l'arrivée des secours, ...), la constitution du COD et la prise rapide de décisions. Ces éléments ont contribué à une gestion efficace de l'évènement.

VI.3.2 Maîtrise de l'activité pyrotechnie

L'incendie de la chaîne de traitement de surface s'est produit au court d'une journée normale d'activité. Des opérations étaient en cours dans la zone pyrotechnie lorsque l'ordre d'évacuation a été donné. Les équipes de l'industriel ont donc dû gérer l'évacuation des installations rendue nécessaire par l'incendie

¹¹ Rapport d'enquête sur l'incendie survenu au sein du site industriel STI-France situé à Escout (64) du 30 janvier 2021 (http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport-escout-vdif_cle01434e.pdf)

¹² Rapport d'Enquête sur l'incendie d'un local de traitement de surface chez Airbus Helicopters (13) du 10 janvier 2021 (http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_marignane_vdif_31082021_cle612e71.pdf)

¹³ Service départemental d'incendie et de secours

et la mise en sécurité des opérations pyrotechniques en cours. Cette conciliation d'impératifs en apparence contradictoires (le second exigeant la présence de personnel lorsque la première exige l'évacuation des salariés) a malgré tout pu être assurée bien qu'elle ne nous paraisse pas avoir été explicitement formalisée ou anticipée au travers de procédures d'urgence.

VI.3.3 Les moyens en eau et les moyens de rétention des eaux d'incendie

Le site est doté d'un réseau incendie interne qui comprend deux réserves d'eau d'environ 1500 m³ chacune alimentées en continue par un puits de pompage. Elles alimentent, grâce à une motopompe électrique (débitant environ 300 m³/h) et un moteur thermique auxiliaire (débitant environ 360 m³/h), 22 poteaux incendie et le réseau de RIA répartis sur l'ensemble du site. Il possède également une réserve supplémentaire de 180 m³, indépendante du réseau surpressé, qui est également alimentée par le puits. Ces moyens en eau ont permis l'extinction relativement rapide de l'incendie en approvisionnant les moyens de l'industriel et ceux du service de secours public.

VII. Enseignements de sécurité

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

VII.1 La sécurisation électrique du site

La mise en œuvre de moyens en eau a nécessité la consignation électrique préalable des installations. Le bâtiment disposant de deux alimentations, celle-ci a dû se faire en deux temps, le réseau en 230V puis le réseau en 380V. L'exploitant estime qu'une durée de 10 minutes s'est écoulée entre les deux coupures. Pour permettre une intervention rapide des secours publics, il est important de disposer d'une procédure d'arrêt des installations électriques. Cette procédure est d'autant plus nécessaire lorsque les installations sont complexes (équipements alimentés en plusieurs régimes de tension) ou disposent de plusieurs sources d'approvisionnement (plusieurs points de raccordement au réseau, réseaux maillés, plusieurs moyens de production d'énergie ou réseaux électriques secours).

VII.2 La sécurisation électrique du réseau informatique

Au cours de l'incendie, l'arrêt de l'alimentation électrique rendue obligatoire par l'intervention des services de secours, a conduit à l'arrêt de l'alimentation électrique du réseau informatique interne de l'entreprise. L'industriel disposant d'une bonne partie de ses données de sécurité sous forme dématérialisée, les fiches de données de sécurité des produits mis en œuvre au sein de la chaîne de traitement de surface n'ont pas pu être communiquées immédiatement aux services de secours. Il est nécessaire de veiller à ce que les postes essentiels à la gestion de crise soient alimentés par une ligne sécurisée ou bien veiller à ce qu'il existe une solution de repli pour pallier une indisponibilité du réseau informatique.

VII.3 La question de la redondance des barrières et des automatismes

Le recours à une chaîne de traitement automatisée permet de gérer une grande partie des tâches répétitives et apporte ainsi de nombreux avantages en termes d'ergonomie et de confort de travail des opérateurs. Elle offre également des possibilités de gestion et de supervision des fonctions de sécurité

sur des paramètres simples tel que les niveaux et la température des bains. L'automatisation constitue en ce sens une aide précieuse.

Dans le cas présent, le BEA-RI considère que la première barrière de sécurité est la mesure organisationnelle fondée sur le respect du mode opératoire consacré à la cuve n° 14. Celui-ci prévoit le remplissage au deux tiers de la cuve puis une montée en température à 40°C, l'ajout du produit chimique (acide) et un dernier ajustement en eau ou en produit. Un tel séquençage, s'il est respecté, doit permettre d'éviter la mise en chauffe de bains partiellement vides, la chauffe excessive du revêtement de cuve et son inflammation. Les sécurités de la chaîne automatisée (asservissement de la chauffe au niveau très bas, contrôle de la température, contrôle de cohérence commande puissance) constituent un second niveau de sécurité. Le non-respect de ce mode opératoire laisse reposer la sécurité du procédé sur le seul automatisme. Placé en situation d'unique parade en l'absence de personnel, l'automatisme ne disposant pas des redondances nécessaires s'est retrouvé lui-même mis en défaut par une mesure de niveau erronée.

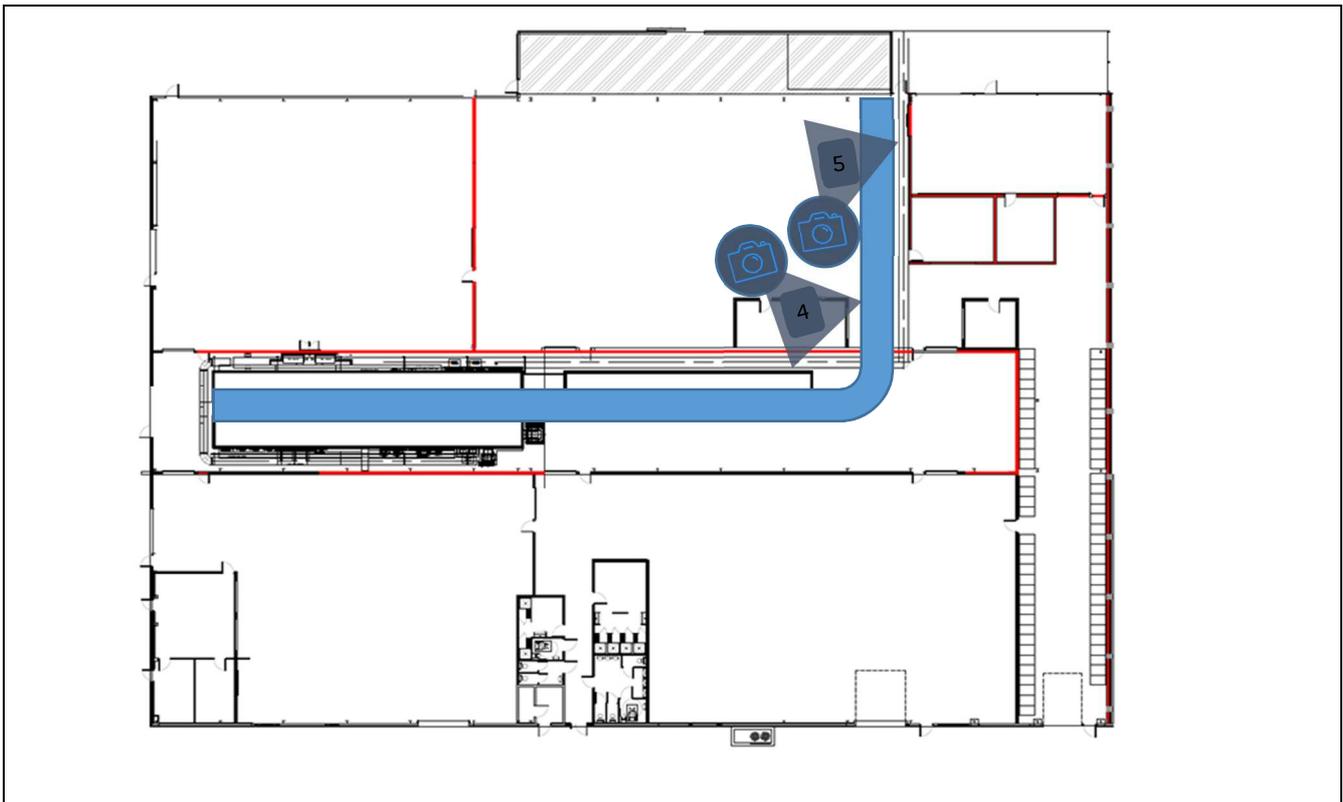
Cette situation nous amène à tirer deux enseignements de sécurité.

Le premier porte sur la redondance des sécurités. L'automatisation de certaines fonctions peut s'avérer être une cause de dysfonctionnement lorsque l'automate déclenche sur la base d'informations erronées (ici le niveau des bains) des actions sensibles sur le plan de la sécurité (ici la chauffe des bains), à l'insu de l'opérateur.

La seconde concerne le mode d'acquiescement des alertes qui se fait aujourd'hui de manière globale au niveau de la ligne par l'intermédiaire d'un affichage qui fait apparaître un grand nombre d'alertes (au cours de l'heure qui a précédé le départ de feu, 130 messages auront été affichés à l'écran dont près d'une centaine ne sont pas des paramètres de sécurité). Le BEA-RI appelle l'attention de l'industriel sur le risque d'erreur compte tenu du grand nombre d'alertes traitées par l'automate. Il lui semble nécessaire de privilégier un affichage prioritaire des alertes en lien avec la sécurité du procédé et qui peuvent en l'état actuel échapper à la vigilance de l'opérateur lors de leur acquiescement.

VII.4 L'arrêt de l'aspiration

Lors de la visite du site, les enquêteurs ont constaté que l'émissaire de diamètre 600mm était fondu bien au-delà de la zone concernée par l'incendie (50m environ) ce qui montre que le système d'aspiration a fonctionné pendant les premières minutes de l'incendie (l'exploitant a confirmé avoir coupé l'électricité en deux temps, d'abord l'alimentation en 220 V puis 10 min plus tard l'alimentation en 380 V qui alimente entre autre l'installation de traitement des vapeurs). Les enquêteurs ont ainsi pu constater que les fumées d'incendie, dont la température excède la température de fusion du matériau, peuvent être transportées sur des distances relativement importantes et au-delà des murs coupe-feu (photo ci-dessous du franchissement du mur coupe-feu). Ce constat rappelle l'intérêt de l'asservissement de l'aspiration à la détection incendie et l'emploi de clapet coupe-feu au passage des murs.



Vue du cheminement de la gaine d'aspiration des vapeurs (en bleue) et localisation des photographies.



Photographie 4 : Vue du passage de l'émissaire d'aspiration des vapeurs à travers le mur coupe-feu.



Photographie 5 : Photographie de l'émissaire déformé par la chaleur une vingtaine de mètres derrière le mur coupe-feu.

VII.5 La cinétique rapide de l'incendie

Du fait de la compacité de la ligne et de la présence en quantité significative de matières combustibles, l'incendie s'est rapidement propagé à l'ensemble de la chaîne de traitement de surface. Selon les déclarations recueillies lors de l'enquête, elles-mêmes confirmées par le compte-rendu d'intervention du service de secours public, une dizaine de minute s'écoule avant la formation d'un important panache de fumée et une vingtaine de minutes pour arriver à un incendie propagé à la ligne. On estime donc de vingt à trente minutes le temps qui s'est écoulé entre la détection visuelle des flammes d'une trentaine de centimètres et l'embrassement généralisé de la chaîne. Ce constat a pu être posé dans d'autres accidents impliquant des chaînes de traitement de surface.

VII.6 La stratégie de défense incendie

En corollaire à la cinétique rapide de l'incendie, se pose la question de la stratégie d'intervention en cas d'incendie et du rôle dévolu aux personnes amenées à intervenir dans les premiers instants. Cette stratégie doit poursuivre deux objectifs : mettre fin à l'incendie le plus tôt possible en recourant à des moyens appropriés et garantir la protection des intervenants (équipe de première et de seconde intervention EPI / ESI selon le référentiel APSAD). Dans ce contexte, la question de l'emploi de l'eau doit être examinée avec les précautions, les formations et les moyens de protections adaptés aux risques dus à la présence d'acide.

VIII. Recommandation de sécurité

Outre les enseignements de sécurité formulés ci-dessus, le BEA-RI formule les recommandations suivantes.

VIII.1 A destination de l'exploitant

- Renforcer la réponse opérationnelle de l'exploitant en cas d'accident en sécurisant l'alimentation électrique des fonctions essentielles à la sécurité (problème de réseau inopérant), en formalisant des procédures de mise en sécurité des activités pyrotechniques en cas de nécessité d'évacuation d'urgence, en réinterrogeant la doctrine d'intervention des ESI en cas d'incendie sur des installations non-pyrotechniques. Sur ce dernier point, un travail peut être conduit en lien avec le SDIS.
- Renforcer la sécurité de la chaîne en agissant sur plusieurs volets :
 - la détection (améliorer la fiabilité des capteurs en les protégeant des projections ou en augmentant leur nombre, prévoir l'interruption automatique de l'aspiration asservie à la détection incendie ou à une mesure de température dans le conduit d'aspiration des vapeurs) ;
 - la gestion de la phase de démarrage (en révisant la procédure de remplissage et de mise en route des bains et en réinterrogeant la pertinence de l'automatisation de la mise en chauffe) ;
 - le traitement des alertes (en simplifiant l'ergonomie de l'affichage des alertes et en sécurisant le mode d'acquiescement).

VIII.2 A destination du pouvoir réglementaire

- Compte tenu du potentiel calorifique important susceptible d'être présent dans ces installations, de la présence en quantités significatives de produits dangereux et de la difficulté d'éteindre ce type d'incendie, le BEA rappelle sa recommandation en matière de protection contre l'incendie émise dans ses rapports enquêtes de 2021 (Marignane¹⁴ et d'Escout¹⁵). Le BEA précise que la DGPR a déjà fait part de son intention d'y donner une suite favorable dans sa réponse du 27 septembre 2021¹⁶, en proposant une évolution aux arrêtés ministériels applicables à ce secteur d'activité.

¹⁴ Rapport d'Enquête sur l'incendie d'un local de traitement de surface chez Airbus Helicopters (13) du 10 janvier 2021
http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_marignane_vdif_31082021_cle612e71.pdf

¹⁵ Rapport d'enquête sur l'incendie survenu au sein du site industriel STI-France situé à Escout (64) du 30 janvier 2021
(http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport-escout-vdif_cle01434e.pdf)

¹⁶ http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20210921_courrier_reponse_dgpr_recommandations_escout_sti_cle23e994.pdf

Annexe 1 Tableau des alarmes de la cuve n° 13

Horaire	code	Messages d'alarmes
05:14:56	TT13_1:	Température Décapage Fort (Pos. 13), Température Basse Ligne Phosphatation
08:51:02	LSLL13_1:	Décapage Fort (Pos. 13) Niveau Tres Bas Ligne Phosphatation
08:51:10	LSLL13_1:	Décapage Fort (Pos. 13) Niveau Tres Bas Ligne Phosphatation
09:33:22	LSLL13_1:	Décapage Fort (Pos. 13) Niveau Tres Bas Ligne Phosphatation
09:45:51	LSLL13_1:	Décapage Fort (Pos. 13) Niveau Tres Bas Ligne Phosphatation
10:34:01	VMP13_1:	Vanne Remplissage Décapage Fort (Pos. 13) Fin Temps Maximum Remplissage
11:15:14	LSLL13_1:	Décapage Fort (Pos. 13) Niveau Tres Bas Ligne Phosphatation

Annexe 2 Synthèse des tests réalisés par Nexter sur les automatismes

Etape	Niveau très haut atteint (trop d'eau)	Niveau très bas atteint (manque eau)	Chauffe	Heure test
1	NON	NON	OUI	17 :25 :01
2	OUI	NON	OUI	17 :26 :17
3	OUI	OUI	NON	17 :26 :46
4	NON	OUI	NON	17 :27 :06
5	OUI	OUI	NON	17 :27 :22
6	OUI	NON	OUI	17 :27 :37
7	OUI	OUI	NON	17 :27 :59
8	NON	NON	OUI	17 :28 :27
9	NON	OUI	NON	17 :28 :54

25/11/21	17:25:01	1525	LSHH14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Haut	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:25:01	1528	LSLL14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Bas	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:26:17	1525	LSHH14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Haut	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:26:17	1525	LSHH14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Haut	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:26:46	1528	LSLL14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Bas	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:26:46	1528	LSLL14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Bas	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:27:06	1525	LSHH14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Haut	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:27:22	1525	LSHH14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Haut	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:27:22	1525	LSHH14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Haut	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:27:37	1528	LSLL14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Bas	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:27:59	1528	LSLL14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Bas	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:27:59	1528	LSLL14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Bas	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:28:27	1525	LSHH14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Haut	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:28:27	1528	LSLL14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Bas	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:28:32	1270	R14_1: Chauffage Décapage Faible (Pos. 14), Défaut [112Q05, 112Q06]	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:28:32	1270	R14_1: Chauffage Décapage Faible (Pos. 14), Défaut [112Q05, 112Q06]	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:28:54	1528	LSLL14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Bas	Ligne Phosphatation
25/11/21	17:28:54	1528	LSLL14_1: Décapage Faible (Pos. 14) Niveau Tres Bas	Ligne Phosphatation

Annexe 3 Etude Ineris sur le comportement d'une cuve exposée au flux thermique d'un thermocouple



(ID Modèle = 454988)

Ineris - 207210 - 2728524 - v2.0

25/02/2022

**Incendie d'un réservoir survenu le 10
septembre 2021 chez la société AUBERT et
DUVAL à Pamiers (09)**

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 Incendie, Dispersion Explosion

Rédaction : GENTILHOMME OLIVIER

Vérification : TRUCHOT BENJAMIN; CHAUMETTE SYLVAIN

Approbation : Document approuvé le 25/02/2022 par PIQUETTE BERNARD

Table des matières

1	Introduction	5
1.1	Contexte.....	5
1.2	Déontologie	5
1.3	Description du système étudié	5
2	Analyse de l'Ineris	6
2.1	Evaluation de la puissance rayonnée par le thermoplongeur	6
2.2	Evaluation du flux radiatif reçu par la paroi.....	6
2.3	Evaluation de la température de la paroi interne du bac	7
2.4	Précision sur la composition de la paroi du bac.....	8
3	Analyses de sensibilité	11
3.1	Influence de l'émissivité du thermoplongeur	11
3.2	Influence de la forme du thermoplongeur	11
4	Synthèse des enseignements.....	13
5	Références.....	14
6	Annexe : courriel de demande du BEA-RI du 15/11/21	15

Pour citer ce document :

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Incendie d'un réservoir survenu le 10 septembre 2021 chez la société AUBERT et DUVAL à Pamiers (09), Verneuil-en-Halatte : Ineris - 207210 - 2728524 - v2.0, 25/02/2022.

1 Introduction

1.1 Contexte

Le 10 septembre 2021, un incendie est survenu sur l'un des bacs de la société AUBERT et DUVAL située à Pamiers (09). Lors de cet incendie, il s'est avéré que le thermoplongeur n'était pas immergé dans le liquide. Dès lors, des questions se posent si ce thermoplongeur non immergé, mais en fonctionnement, n'a pas été à l'origine de l'inflammation du bac à l'intérieur duquel il était positionné.

Par mail daté du 15/11/21, et repris en annexe du présent document, le BEA-RI a adressé deux questions à l'Ineris. Le verbatim est repris ci-dessous.

Question n°1 – « *La question est en fonction de la géométrie et du flux généré de la canne de calculer la température d'une surface plane soumise au flux radiatif de la canne en fonction de la distance entre la canne et ladite surface qui varie de 0 à 100 mm (paroi de la cuve) ».*

Question n°2 – « *Cette température est-elle suffisante pour conduire à l'auto-inflammation (1) de l'ébonite et (2) du caoutchouc ? »*

Le présent document vise à apporter les éléments techniques permettant de répondre à chacune de ces questions.

1.2 Déontologie

L'Ineris n'a pas réalisé d'études pour le site AUBERT et DUVAL de Pamiers.

1.3 Description du système étudié

Le thermoplongeur incriminé est de marque ROTKAPPE et de type B-FC. Cet équipement est de conception modulaire puisqu'il se compose d'un câble, d'une boîte à bornes, d'un élément chauffant Longlife et d'un tube plongeur. Ce tube plongeur est lui-même composé d'un fil chauffant à haute tenue à la chaleur, bobiné et disposé de manière à transmettre un maximum de chaleur au liquide à travers la paroi du tube. Le tube est revêtu de PFA (perfluoroalkoxy) ou de PTFE (polytétrafluoroéthylène). Le diamètre du tube est de 44,5 mm et l'épaisseur du revêtement de 1,5 mm. Ce thermoplongeur a une profondeur minimale d'immersion (chauffée) de 1400 mm pour une longueur totale de 2000 mm.

Le bac est conçu en caoutchouc ou en ébonite (obtenu par vulcanisation du caoutchouc). L'épaisseur de paroi du bac est de 6 mm.

2 Analyse de l’Ineris

Pour répondre aux questions posées par le BEA-RI, l’analyse de l’Ineris s’est faite en plusieurs étapes :

- Etape n°1 – Evaluation de la puissance rayonnée par le thermoplongeur ;
- Etape n°2 – Evaluation du flux radiatif reçu par le bac ;
- Etape n°3 – Evaluation de la température de la paroi interne du bac.

Chacune de ces étapes sont détaillées ci-après.

2.1 Evaluation de la puissance rayonnée par le thermoplongeur

Pour évaluer cette puissance rayonnée par le thermoplongeur, il a été supposé que :

- Hypothèse n°1 – le revêtement en PFA (ou en PTFE) a fondu et que le tube se retrouve à nu ;
- Hypothèse n°2 – la fonte de ce revêtement n’est pas à l’origine de l’incendie du réservoir.

La première hypothèse est justifiée par le fait que, selon les informations transmises par le BEA-RI, la température maximale de chauffe du tube est de 600°C. Cette température est donc bien au-delà de la température de fusion du PFA (ou du PTFE) estimée à 327°C. En cas de fonte du polymère, il n’est pas complètement exclu que les gouttelettes tombent dans le fond du bac et puissent être responsables de l’incendie de celui-ci. Dans la suite de cette analyse, l’Ineris ne s’est pas contenté de cette piste et s’est intéressé aussi à la possibilité d’un départ de feu au niveau du bac par rayonnement depuis le thermoplongeur, expliquant ainsi la seconde hypothèse.

Lorsqu’un corps d’émissivité ε est porté à une température T , il émet une puissance rayonnée donnée par la loi de Planck :

$$M = \varepsilon \sigma T^4 \quad \text{Équation 1}$$

Dans cette équation :

- M [kW/m²] correspond à la puissance rayonnée par unité de surface du corps chauffé ;
- ε [-] à l’émissivité du corps ;
- σ à la constante de Stefan-Boltzmann (= 5,67 × 10⁻⁵ kW/m²/K⁴) ;
- T [°K] à la température du corps.

Toujours selon les informations transmises par le BEA, le tube est en acier inoxydable (316L). L’émissivité ε d’un tel acier peut prendre toutes les valeurs possibles entre 0,5 et 1 selon son état (galvanisé, meulé, poli, sablé, oxydé...). Par application numérique ($T = 600 + 273,2 = 873,2^\circ\text{K}$) :

- $M = 16,4 \text{ kW/m}^2$ pour $\varepsilon = 0,5$;
- $M = 33,0 \text{ kW/m}^2$ pour $\varepsilon = 1$.

Remarque importante : l’Ineris est reparti de la température maximale de chauffe communiquée dès le début de l’analyse. A aucun moment, cette valeur de puissance rayonnée n’a été critiquée au regard des éventuelles caractéristiques techniques du thermoplongeur.

2.2 Evaluation du flux radiatif reçu par la paroi

Pour déterminer ce flux radiatif reçu par la paroi du bac, connaissant la puissance rayonnée du thermoplongeur, l’Ineris a utilisé le modèle *FNAP* de sa plateforme numérique EPHEdra. Le lecteur intéressé pourra trouver plus d’information sur *FNAP* dans le rapport Ω -2 de l’Ineris [1]. Ce modèle permet de déterminer la densité de flux thermique radiatif reçue par une cible, exposée au rayonnement d’un feu de nappe. La cible est considérée plane et de surface élémentaire. Le feu de nappe peut avoir une base circulaire ou rectangulaire.

Dans le modèle *FNAP*, l'Ineris a défini une « flamme virtuelle » dont les dimensions correspondent peu ou prou à celles de l'élément chauffant du thermoplongeur (diamètre de 50 mm et longueur de 1,4 m), et avec une puissance rayonnée par unité de surface correspondante à celle calculée dans le §2.1.

A titre d'exemple, la Figure 1 montre la cartographie des flux radiatifs obtenus dans le plan perpendiculaire au thermoplongeur lorsqu'il est supposé que l'émissivité ε de l'acier est prise égale à 0,5 (soit $M = 16,4 \text{ kW/m}^2$). Grâce à cette cartographie, il est possible de déterminer le flux radiatif reçu lorsque la cible (ici la paroi du bac) est située à différentes distances du thermoplongeur. Ainsi, le flux radiatif serait de $11,5 \text{ kW/m}^2$ pour une distance de 0,010 m, de $5,5 \text{ kW/m}^2$ pour 0,050 m et de $3,3 \text{ kW/m}^2$ pour 0,100 m.

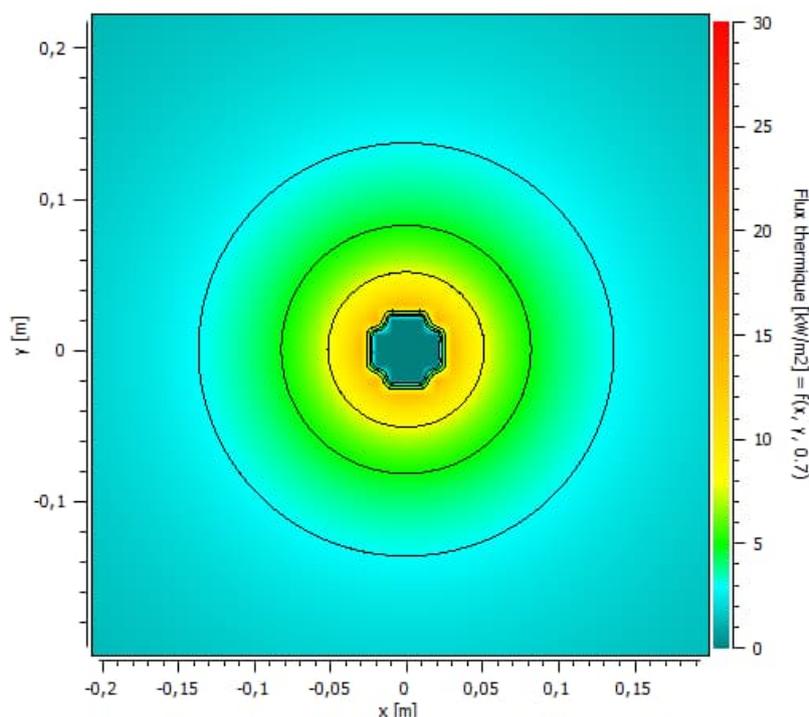


Figure 1. Cartographie des flux radiatifs dans un plan perpendiculaire au thermoplongeur si l'émissivité est égale à 0,5

2.3 Evaluation de la température de la paroi interne du bac

Pour déterminer si l'incendie du réservoir est possible, l'Ineris a comparé la température de la paroi interne du réservoir au point de feu du matériau constituant cette paroi. Pour rappel, ce point de feu correspond à la température pour laquelle la quantité de vapeurs est suffisante pour que la combustion continue même si l'on retire la source de chaleur à l'origine de l'inflammation. En ce qui concerne le caoutchouc, de nombreuses références font état d'un point d'inflammation se situant entre 260 et 316°C (cf. [2] par exemple). En revanche, une telle information est plus difficile à obtenir pour l'ébonite. Toutefois, du point de vue de l'Ineris, le point d'inflammation de ce matériau sera relativement proche de celui du caoutchouc. En conséquence, pour statuer sur la possibilité ou non d'incendie du bac, l'Ineris s'appuiera sur le même critère pour le caoutchouc et l'ébonite.

Pour déterminer la température de paroi interne du bac, l'Ineris a utilisé un modèle dérivé de l'équation de la chaleur 1D¹. Ce modèle permet de prédire le gradient de température dans l'épaisseur d'un matériau connaissant son épaisseur, ses propriétés (conductivité thermique λ , capacité thermique C_p , masse volumique ρ et émissivité ε) et ses conditions limites.

¹ Modèle « Transfert thermique 1D » de la plateforme numérique EPHEDRA de l'Ineris.

Dans ce modèle, l'Ineris a imposé les données d'entrée suivantes :

- Epaisseur de paroi = 6 mm ;
- Propriétés du matériau :
 - Pour le caoutchouc (naturel) : $\lambda = 0,14$ W/m/K, $C_p = 2092$ J/kg/K, $\rho = 983$ kg/m³ et $\varepsilon = 0,95^2$;
 - Pour l'ébonite : $\lambda = 0,17$ W/m/K, $C_p = 1400$ J/kg/K, $\rho = 1200$ kg/m³ et $\varepsilon = 0,89$.
- Conditions limites :
 - Sur la paroi interne du bac : seul le flux radiatif déterminé au §2.2 a été imposé. Il n'a pas été tenu compte de phénomène convectif sur cette paroi ;
 - Sur la paroi externe du bac : une condition de convection naturelle ($h = 10$ W/m²/K) avec l'air ambiant ($T = 293,15^\circ\text{C}$) a été imposée.

Le Tableau 1 présente l'ensemble des résultats obtenus lorsqu'il est considéré une émissivité $\varepsilon = 0,5$ pour le tube du thermoplongeur (cf. discussions du §2.1). Selon les modélisations, les résultats diffèrent très peu selon que le bac ne soit en caoutchouc ou en ébonite. Sur ces graphiques apparaissent 2 lignes : l'une en violet correspondant à la valeur basse du point d'inflammation (soit 260°C) et l'autre en rouge correspondant à la valeur haute de ce même point (soit 316°C). Sans surprise, le risque d'avoir un incendie au niveau du bac (supposé correspondre au moment où la paroi interne du bac atteint le point d'inflammation) devient réel dès lors que le thermoplongeur non immergé est situé à moins de 100 mm de la paroi du bac.

2.4 Précision sur la composition de la paroi du bac

Le 14/02/22, l'Ineris a été informé que la paroi du bac était composée – non pas d'un caoutchouc ou ébonite mais – d'un isolant de type HT/Armaflex Industriel d'une épaisseur de 6 mm.

De nouveau, l'Ineris a utilisé le modèle dérivé de l'équation de la chaleur 1D avec les données d'entrée suivantes représentatives de la mousse élastomère flexible : $\lambda = 0,063^3$ W/m/K, $C_p = 1500^4$ J/kg/K, $\rho = 85^5$ kg/m³ et $\varepsilon = 0,93^6$. Il est intéressant de noter que la diffusivité thermique de ce matériau [$= \lambda / (\rho \times C_p)$] est 7 fois plus grande que le caoutchouc considéré jusqu'à maintenant. Les résultats prédits pour l'évolution de la température sur la paroi interne du bac sont donnés dans le Tableau 3. En comparant les résultats directement avec ceux du caoutchouc, on note que la température de l'Armatex évolue plus rapidement vers le régime permanent mais que la température atteinte dans ce régime est du même niveau.

Malgré ses recherches, l'Ineris n'a pas réussi à obtenir la température d'inflammation de l'Armatex. Même si la température maximale atteinte semble diminuée par rapport à celle d'une paroi réalisée en caoutchouc, il est donc difficile de se prononcer sur l'inflammation du bac. Pour remédier à ce manque, il pourrait être intéressant de procéder à des tests de réaction au feu de l'Armatex à l'aide d'un calorimètre FPA (Fire Propagation Apparatus), tel que décrit dans la norme ISO 12136 par exemple.

² <https://www.sodielec-berger.fr/files/39/emissivite-materiaux.pdf>

³ Valeur maximale connue pour une température de 125°C selon le document Armacell « Insulation for the oil and gas industry – HT/ArmaFlex® Industrial » transmis par le BEA-RI en date du 08/02/22.

⁴ <http://fee.ales.free.fr/telechargement/rt2000/regthermiqueRT2000/Th-U-2.pdf> (pour une mousse élastomère flexible)

⁵ <https://local.armacell.com/fileadmin/cms/uk/products/en/HTArmaFlexIndustrialRangeUKROI.pdf>

⁶ <https://www.armacell.us/blog/post/a-study-in-surface-emissivity/>

Matériau du bac	Éloignement entre le thermoplongeur et le bac		
	d = 0,010 (soit un flux reçu de 11,5 kW/m ²)	d = 0,050 (soit un flux reçu de 5,5 kW/m ²)	d = 0,100 (soit un flux reçu de 3,3 kW/m ²)
Caoutchouc			
Ebonite			

Tableau 1. Evolution de la température de la paroi interne du bac en fonction du matériau et de l'éloignement du thermoplongeur (en supposant $\varepsilon = 0,5$ pour le thermoplongeur)

Matériau du bac	Eloignement entre le thermoplongeur et le bac		
	d = 0,010 (soit un flux reçu de 11,5 kW/m ²)	d = 0,050 (soit un flux reçu de 5,5 kW/m ²)	d = 0,100 (soit un flux reçu de 3,3 kW/m ²)
Armatex			

Tableau 2. Evolution de la température de la paroi interne du bac en Armatex (en supposant $\varepsilon = 0,5$ pour le thermoplongeur)

3 Analyses de sensibilité

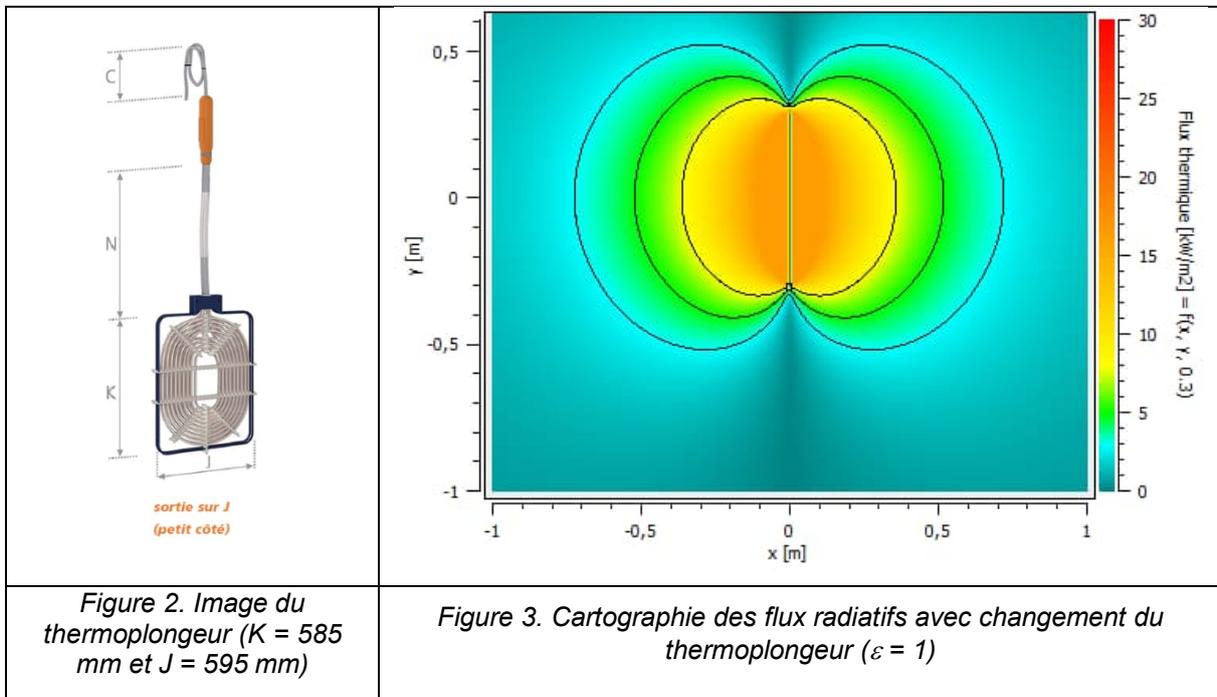
3.1 Influence de l'émissivité du thermoplongeur

On a vu précédemment que l'état de surface du tube central du thermoplongeur pouvait varier de façon significative selon son état de surface. Jusqu'à maintenant, tous les résultats présentés supposaient que $\varepsilon = 0,5$. Dans le cas où $\varepsilon = 1$, la puissance rayonnée par unité de surface du thermoplongeur est de $M = 33,0 \text{ kW/m}^2$ et le flux radiatif reçu par le bac est de : $25,5 \text{ kW/m}^2$ lorsque le thermoplongeur est éloigné de $0,010 \text{ m}$, de $11,5 \text{ kW/m}^2$ pour un éloignement de $0,050 \text{ m}$ et de $6,5 \text{ kW/m}^2$ pour un éloignement de $0,100 \text{ m}$. Dans ces conditions, le Tableau 3 présente les résultats prédits pour l'évolution de la température sur la paroi interne du bac, supposée être en Armatex. Les résultats de la Figure 2 sont aussi repris pour comparaison.

3.2 Influence de la forme du thermoplongeur

Le 09/02/22, l'Ineris a été sollicité pour évaluer l'impact de la forme du thermoplongeur sur les résultats obtenus précédemment. Celui-ci est représenté sur la Figure 2. L'élément chauffant est constitué d'un fil en nichrome ou en acier inoxydable, revêtu d'une gaine en téflon qui fond dès que le seuil de température de 400°C est atteint⁷. En partant du postulat que la température maximale de chauffe du fil reste égale à 600°C et que l'émissivité du fil est fixée de façon prudente à 1, la puissance rayonnée par unité de surface du thermoplongeur est $M = 33,0 \text{ kW/m}^2$.

Pour évaluer le flux reçu à différentes distances du thermoplongeur, le modèle FNAP de l'Ineris a été de nouveau utilisé en définissant une « flamme virtuelle » de forme parallélépipédique ($L = 0,60 \text{ m} \times l = 0,01 \text{ m} \times H = 0,60 \text{ m}$). Il faut noter qu'une telle approche est majorante dans la mesure où la surface du fil correspond à la surface de la plaque de dimension $L \times H$. La Figure 2 montre la cartographie des flux radiatifs obtenus à mi-hauteur de ce thermoplongeur. Grâce à cette cartographie, on en déduit que le flux rayonné est de 20 kW/m^2 à une distance de $0,010 \text{ mm}$, de $18,5 \text{ kW/m}^2$ à $0,050 \text{ mm}$ et de 17 kW/m^2 à $0,100 \text{ mm}$. En comparant ces résultats avec ceux du §3.1, on conclut que la tendance est plutôt d'aggraver le risque d'inflammation du bac.



⁷ Cf. mail du BEA-RI du 09/02/22.

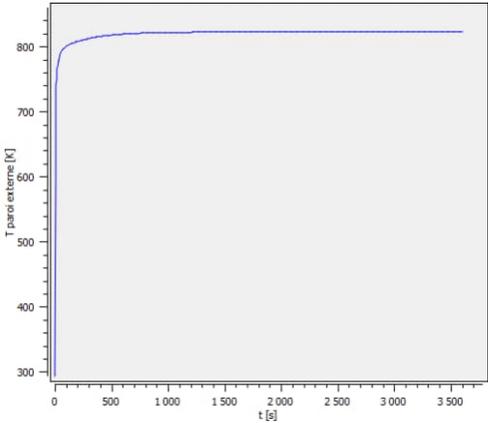
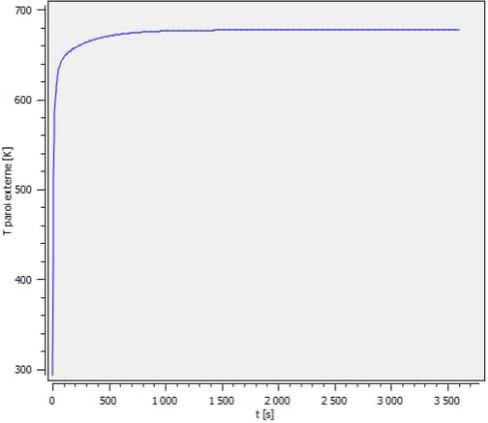
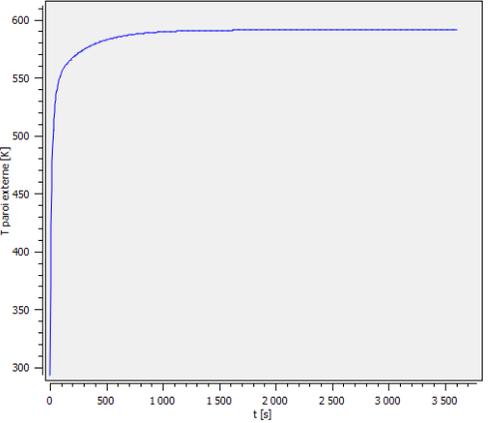
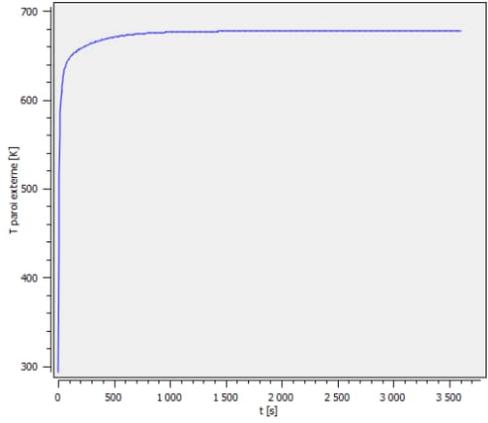
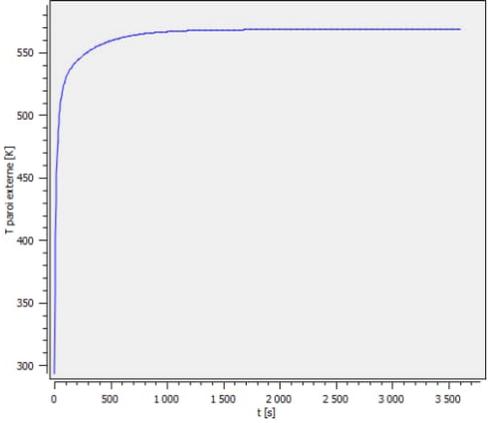
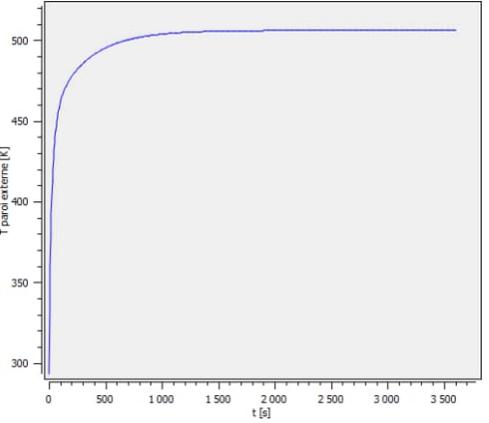
Emissivité	Eloignement entre le thermoplongeur et le bac		
	d = 0,010	d = 0,050	d = 0,100
$\varepsilon = 1,0$	(soit un flux reçu de 25,5 kW/m ²) 	(soit un flux reçu de 11,5 kW/m ²) 	(soit un flux reçu de 6,5 kW/m ²) 
	(soit un flux reçu de 11,5 kW/m ²) 	(soit un flux reçu de 5,5 kW/m ²) 	(soit un flux reçu de 5,5 kW/m ²) 
	$\varepsilon = 0,5$		

Tableau 3. Evolution de la température de la paroi interne du bac en fonction du matériau et de l'éloignement du thermoplongeur (en supposant $\varepsilon = 1,0$ pour le thermoplongeur)

4 Synthèse des enseignements

L'analyse du problème a montré :

- Quel que soit le matériau utilisé (caoutchouc ou ébonite), on ne s'attend pas à avoir des différences significatives dans l'évolution de la température de la paroi interne du bac lorsque le thermoplongeur continue de fonctionner alors qu'il n'est pas immergé ;
- Pour une température maximale de chauffe de 600°C, et dès lors que le thermoplongeur est situé à moins de 100 mm de la paroi du bac, l'inflammation de la paroi en caoutchouc est à envisager. Si le tube central du thermoplongeur a une forte émissivité, cette distance de 100 mm peut être insuffisante ;
- Malgré ses recherches, l'Ineris n'a pas réussi à obtenir le point d'inflammation pour l'ébonite. Toutefois, on s'attend à ce que celui-ci soit relativement proche du caoutchouc. Dès lors, les conclusions obtenues précédemment pour le caoutchouc peuvent s'appliquer à l'ébonite.

Après avoir appris que la paroi du bac était finalement en Armatex, l'Ineris a procédé à la même analyse et a pu constater que, du point de vue de l'évolution de la température de la paroi interne du bac, le régime permanent était atteint plus rapidement mais que le niveau de température finale était du même niveau que pour le caoutchouc ou l'ébonite étudié précédemment. En revanche, malgré ses recherches, l'Ineris n'a pu obtenir la température d'inflammation de l'Armatex et, par voie de conséquence, n'a pas pu évaluer le risque d'inflammation du bac. Pour aller plus loin, il conviendrait de tester un échantillon de ce matériau dans un calorimètre FPA.

L'autre forme étudiée du thermoplongeur (cf. Figure 2) a plutôt tendance à augmenter le flux rayonné reçu par la paroi du bac et donc à accroître le risque d'inflammation.

Remarque importante : l'Ineris est reparti de la température maximale de chauffe communiquée dès le début de l'analyse. A aucun moment, cette valeur de puissance rayonnée n'a été critiquée au regard des éventuelles caractéristiques techniques du thermoplongeur.

5 Références

[1] Ineris, « Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-76) - Ω -2 – Modélisation de feux industriels », DRA-14-141478-03176A, 2014.

[2] <https://www.tforensic.com.au/docs/article10.html>

6 Annexe : courriel de demande du BEA-RI du 15/11/21

----- Message transféré -----
Sujet : [r] Re: demande de renseignements suite accident Aubert et duval
Date : Mon, 15 Nov 2021 11:52:56 +0100
De : [redacted]
Organisation : [redacted]
Pour : [redacted]
Copie à : [redacted]

Bonjour [redacted]
La question est en fonction de la géométrie et du flux généré de la canne de calculer la température d'une surface plane soumise au flux radiatif de la canne en fonction de la distance entre la canne et la dite surface qui varie de 0 à 100 mm (paroi de la cuve).
Question subsidiaire cette température est elle suffisante pour conduire à l'auto-inflammation 1) de l'ébonite 2) du caoutchouc.
Bien à toi
[redacted]



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



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

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

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

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