

Rapport d'enquête

Sur l'incendie au sein du site
industriel Aubert et Duval situé à
Pamiers (09) le 10 septembre
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 de du site Aubert et Duval de Pamiers (09) le 10 septembre 2021

N° : MTE-BEARI-2022-007

Date du rapport : 22/08/2022

Proposition de mots-clés : incendie, atelier de traitement de surface, chauffe des bains

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 10 septembre 2021 à 6h45, alors que deux personnes d'une entreprise extérieure terminent la vidange d'une cuve d'attaque acide, un incendie se déclenche dans cette cuve au sein de l'atelier de traitement de surface du site Aubert et Duval situé à Pamiers dans l'Ariège (09).

L'important dégagement de fumée et la nature des produits chimiques présents dans le bâtiment (acides forts) ont entraîné la mise en place d'un périmètre de confinement à l'extérieur de l'usine qui ne sera levé que vers 11h30.

L'exploitation des témoignages ainsi que la visite sur site ont permis de déterminer le point d'origine de l'incendie dans la cuve n° 17. Le scénario d'accident suivant a été confirmé comme possible par une expertise complémentaire demandée par le BEA-RI à l'Ineris :

À 6h20 les opérations de vidange de la cuve démarrent ; dès 6h27, le niveau dans la cuve baisse et les deux sondes de température se trouvent au-dessus du niveau du liquide au contact de l'air ambiant. La chauffe n'est néanmoins pas interrompue et le flux radiatif généré par les cannes chaudes placées à l'air libre chauffe le revêtement en PVDF¹ de la cuve jusqu'à le faire fondre mettant à nu la couche d'EPDM² qui atteint sa température d'auto-inflammation.

La combustion de l'EPDM va générer à la fois des fumées chaudes et des flammes qui vont propager l'incendie. Ces fumées chaudes vont entraîner la fusion et la combustion partielle de la gaine d'aspiration. Ainsi le feu va se propager par l'intermédiaire de la gaine d'aspiration jusqu'au local technique, puis, à l'installation de lavage des gaz. La propagation est rapide puisque quelques minutes après le départ du feu, des flammes sont déjà constatées au niveau du local technique. Du local technique, le feu, très intense, se propage à l'étage. Le deuxième étage du bâtiment, contenant des archives, sera lui aussi totalement détruit.

L'étude de cet accident permet de dégager des enseignements de sécurité sur la fiabilité de la mesure de niveau du liquide dans les baignoires, la gestion de leur chauffe, la surveillance et la détection incendie, la prévention de la propagation des flammes et sur la correcte gestion des eaux d'extinction.

Le BEA-RI recommande à l'exploitant :

- **De mettre à jour l'étude des dangers sur le calcul des volumes d'eau nécessaires à éteindre un incendie et la mise à disposition d'un volume de rétention correspondant.**
- **De modifier le système de mise en chauffe des baignoires en intégrant une redondance des capteurs de niveau de cuve si possible avec des technologies de mesures différentes, et l'intégration des sécurités et de la marche/arrêt directement dans la commande de puissance des cannes chauffantes.**
- **D'asservir à la détection d'un incendie l'arrêt de l'aspiration au-dessus des baignoires.**
- **De faire évoluer la procédure de vidange des baignoires en prévoyant l'arrêt de la chauffe du bain à vidanger au moins 15 minutes avant les opérations de vidange et de ne relancer la chauffe qu'après contrôle visuel du niveau de la cuve.**

Concernant le pouvoir réglementaire et compte tenu du potentiel calorifique important susceptible d'être présent dans les installations de traitement de surface, de la présence en quantités significatives de produits dangereux et de la difficulté à éteindre ce type d'incendie, **le BEA rappelle la**

1 Polyfluorure de vinylidène

2 Ethylène-propylène-diène monomère

recommandation en matière de protection contre l'incendie émise dans ses rapports d'enquête parus en 2021 (MTE-BEARI-2021-006³ et MTE-BEARI-2021-003⁴) et visant à compléter les prescriptions relatives au désenfumage, à la détection et au contrôle des installations électriques des installations de traitement de surface relevant du régime de l'autorisation.

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 2021⁵ en proposant une évolution des arrêtés ministériels applicables à ce secteur d'activité.

En complément, le BEA-RI recommande d'intégrer dans cette évolution réglementaire une prescription imposant l'asservissement de l'arrêt de l'aspiration des vapeurs issues des bains à la détection d'un incendie.

³ 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

⁴ 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)

⁵ http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20210921_courrier_reponse_dgpr_recommandations_escout_sti_cle23e994.pdf

Sommaire

I.	Rappel sur l'enquête de sécurité.....	7
II.	Constats immédiats et engagement de l'enquête	7
	II.1 Les circonstances de l'accident.....	7
	II.2 Le bilan de l'accident.....	7
	II.3 Les mesures prises après l'accident.....	8
	II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête	8
III.	Le contexte de l'accident.....	8
	III.1 L'entreprise.....	8
	III.2 L'installation.....	9
	III.2.1 Les locaux et l'installation	9
	III.2.2 L'exploitation de l'atelier ACS.....	11
IV.	Compte-rendu des investigations menées.....	11
	IV.1 Reconnaissance de terrain	11
	IV.2 Expertise Ineris.....	11
V.	Déroulement de l'évènement.....	12
	V.1 Déclenchement de l'évènement.....	12
	V.2 L'intervention des secours publics.....	14
VI.	Conclusions sur le scénario de l'évènement.....	14
	VI.1 Scénario.....	14
	VI.2 Facteurs contributifs.....	17
	VI.2.1 La gestion de la chauffe des bains.....	17
	VI.2.2 L'aspiration.....	18
	VI.2.3 L'absence de personnel de surveillance de la cuve.....	18
	VI.2.4 Gestion des eaux d'extinction.....	18
VII.	Enseignements de sécurité.....	19
	VII.1 La mesure du niveau des bains.....	19
	VII.2 La gestion de la chauffe des bains.....	19
	VII.3 La surveillance et la détection.....	20
	VII.4 La vitesse de propagation.....	20
	VII.5 La non réutilisation des eaux d'extinction.....	21
VIII.	Recommandations de sécurité.....	21
	VIII.1 À destination de l'exploitant.....	21
	VIII.1.1 Révision de l'étude des dangers	21
	VIII.1.2 Modification de la conception de la chauffe des bains.....	21
	VIII.1.3 Asservissement de la coupure de l'aspiration.....	21
	VIII.1.4 Modification de la procédure de vidange des bains.....	22
	VIII.2 À destination du pouvoir réglementaire	22
IX.	Annexes.....	23
	Annexe 1 Rapport de l'Ineris	24
	Annexe 2 Complément rapport de l'Ineris.....	25

Rapport d'enquête

Sur l'incendie au sein du site Aubert et Duval situé à Pamiers (09) le 10 septembre 2021

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.

De même, la présente enquête de sécurité ne vise pas à déterminer la nature des problèmes sanitaires rencontrés par certains intervenants, ni les circonstances dans lesquelles ils ont pu intervenir. Ce sujet fait l'objet d'investigations par ailleurs.

II. Constats immédiats et engagement de l'enquête

II.1 Les circonstances de l'accident

Le 10 septembre 2021 à 6h45, alors que deux personnes d'une entreprise extérieure terminent la vidange d'une cuve d'attaque acide, un incendie se déclenche dans cette cuve au sein de l'atelier ACS du site Aubert et Duval situé à Pamiers dans l'Ariège (09).

Le feu se propage rapidement à l'intérieur du bâtiment et l'incendie dégage un important panache de fumée. Le sinistre ne sera maîtrisé qu'à 15h00 mais sans propagation à d'autres bâtiments du site.

II.2 Le bilan de l'accident

L'important dégagement de fumée et la nature des produits chimiques présents dans le bâtiment (acides et bases forts) ont entraîné la mise en place d'un périmètre de confinement à l'extérieur de l'usine qui ne sera levé que vers 11h30.

À l'issue des opérations d'extinction et lors de la décontamination de leurs matériels, les services d'incendie et de secours seront confrontés à un problème de contamination par des produits acides de l'eau industrielle fournie par le site, entraînant une sur-contamination des hommes et du matériel.

De nombreux intervenants dont une trentaine de sapeurs-pompiers mais aussi des forces de sécurité intérieure, impactés par les fumées ou en contact avec de l'eau polluée, feront l'objet d'examens médicaux. Certains rencontreront des troubles durables.

Sur le plan matériel, outre la cuve de 2800 litres où a pris naissance le sinistre, l'essentiel des dégâts se situe dans les locaux techniques du rez-de-chaussée du bâtiment, les ateliers de contrôle non destructif se situant au premier étage ainsi qu'au niveau du stockage des archives au deuxième étage.

II.3 Les mesures prises après l'accident

À la suite de l'accident, l'atelier a été fermé et mis en sécurité, notamment avec l'évacuation des produits chimiques. Le contenu de la cuve, siège du départ de feu, a dans un premier temps été mis sous scellés puis évacué.

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

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

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur place le mardi 21 septembre 2021. Ils ont rencontré les représentants de l'exploitant du site et de la police judiciaire ainsi que le SDIS de l'Ariège, les représentants de la DREAL en charge de l'inspection des installations classées pour la protection de l'environnement. Une visite dans le bâtiment a pu avoir lieu grâce aux moyens techniques mis à disposition par l'exploitant.

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

Une expertise complémentaire a été demandée à l'Ineris en novembre 2021 par le BEA-RI afin de confirmer par la théorie la possibilité du scénario de départ de feu envisagé. Cette expertise a été rendue le 25 février 2022. Elle est jointe au présent rapport en **annexe 1**.

Cette expertise a été complétée par la détermination des caractéristiques d'auto-inflammabilité d'un matériau à base de mousse d'EPDM (Ethylène-propylène-diène monomère), constituant de la cuve. Cette expertise a été rendue le 11 mai 2022. Elle est jointe au présent rapport en **annexe 2**.

III. Le contexte de l'accident

III.1 L'entreprise

Aubert et Duval est à l'époque des faits une entreprise du groupe ERAMET. Elle est spécialisée dans les alliages et superalliages de spécialité ainsi que dans leur mise en forme.

L'usine de Pamiers, équipée de deux presses à matricer (dont une de 40.000 tonnes) fabrique des pièces en titane et en superalliage principalement destinées aux secteurs de l'aéronautique et de l'énergie. Outre le matriçage et l'usinage, le site est doté d'un atelier de traitement de surface qui sert principalement au décapage des pièces avant contrôle non destructif et envoi aux clients.

L'entreprise emploie sur ce site près de 1000 personnes, et constitue le premier employeur privé de l'Ariège. L'usine, implantée à Pamiers depuis plus de 200 ans est située en tissu urbain, à proximité du centre-ville. Elle comprend une quinzaine de bâtiments spécialisés chacun dans un domaine (estampage, fours, etc.).



Figure 1 Implantation de l'usine au sein de la ville de Pamiers

III.2 L'installation

III.2.1 Les locaux et l'installation

Le sinistre a eu lieu dans l'atelier ACS qui est un atelier de traitement de surface dédié à l'attaque chimique des pièces en titane et superalliages et au contrôle par ressuage.

L'atelier dispose de 18 bains, constituant trois lignes de traitement spécifiques. Au total, quatre bains sont dédiés à l'attaque acide, la composition de ces bains d'attaque étant définie en fonction du type de traitement réalisé et peut comprendre des acides chlorhydrique, nitrique et fluorhydrique, ainsi que du chlorure ferrique.

Les quinze autres bains sont des bains de rinçage (morts ou courants), de transfert, et de dégraissage alcalin.

Les quatre bains d'attaque acide ont une capacité de 2800 litres chacun. Ces cuves sont constituées d'une enveloppe en acier inoxydable et d'une enveloppe intérieure en matériau plastique (PVDF⁶). Entre

⁶ Polyfluorure de vinylidène

ces deux éléments, on retrouve une plaque de mousse d'EPDM (Ethylène-propylène-diène monomère) qui a pour fonction d'assurer l'interface entre l'acier et la peau en PVDF.

Le PVDF n'est a priori pas inflammable, il fond à partir de 170°C et se décompose à partir de 410°C.

La mousse d'EPDM est classée euroclasse D-s3-D0, ce qui correspond à l'ancienne classification française M3. Elle fond vers 175-200°C, sa température d'auto-inflammation n'a pu être trouvée dans la littérature.

Il a donc été décidé de procéder en coopération avec l'Ineris à des tests conformément à la norme ISO 871:2022. Ces tests ont permis d'établir que sa température d'allumage spontané (ainsi que sa température d'allumage au point d'éclair) est de 410°C.

Afin d'assurer une bonne homogénéité de température et de concentration dans les bains d'attaque acide, ceux-ci sont brassés par une soufflante d'air. Ces bains sont également maintenus à une température d'environ 50°C via trois cannes chauffantes. La régulation de la température est effectuée au travers de deux capteurs de température reliés à une centrale de mesure. Le résultat de cette mesure est transmis à un automate de régulation de température assurant de manière tout ou rien la mise en chauffage via un régulateur à thyristor⁷.

Les cannes chauffantes sont constituées d'une enveloppe extérieure en PTFE⁸, d'un fourreau en inox et d'une âme chauffante.

Un flotteur agissant comme une sécurité de niveau bas permet de couper la chauffe des bains en cas d'absence de liquide dans la cuve.

Les cuves d'attaque acide sont capotées et sous aspiration (80 000 m³/h). Les vapeurs extraites sont lavées à la soude dans un local attenant avant d'être rejetées à l'atmosphère. Le dispositif d'aspiration est constitué par un réseau de canalisations qui est constitué au plus près des cuves par des tubes en PVC⁹. Le PVC est remplacé en amont du laveur par du polyéthylène. Le laveur lui-même et la cheminée sont également constitués de polyéthylène. Le polyéthylène a une température d'auto inflammation de l'ordre de 370°C (de 330° à 410°C suivant la littérature). Le PVC, lui, a une température d'auto inflammation de l'ordre de 500°C (ordre de grandeur issu de la littérature).

En complément, afin d'éviter la présence de vapeurs dans l'atelier. L'atelier est mis en surpression de 35 mm de mercure par rapport à la pression atmosphérique. La mesure de cette surpression est réalisée en continu et munie d'une alarme en cas de dysfonctionnement.

Le fonctionnement de l'installation est assuré par un automate de contrôle et un logiciel de pilotage.

L'atelier comprend également au rez-de-chaussée un local technique où on retrouve un traitement d'eau, l'équipement d'aspiration et de lavage des gaz et quatre cuves de stockage (acides usés, soude pour le laveur) en polyéthylène. Ce local est séparé par des murs pleins d'un côté du labo « macrographie » et de l'autre, du local transformateur.

Au-dessus de ces différents locaux on retrouve des laboratoires de métallurgie en R+1 (micrographie notamment), et des stockages d'archives en R+2.

Les locaux ne sont pas équipés d'un dispositif de détection incendie.

⁷ Composant électronique de puissance permettant de déclencher le passage du courant dans une seule direction.

⁸ Polytétrafluoroéthylène ou également Teflon

⁹ Polychlorure de vinyle

III.2.2 L'exploitation de l'atelier ACS

La gestion de l'atelier fait appel à 4 personnes de l'entreprise qui prennent en charge la surveillance des bains, la manutention des pièces et les contrôles non destructifs pratiqués sur les pièces ayant subi les décapages et attaques acides.

La prise de poste a lieu à 4h du matin pour deux personnes et l'équipe est complétée à 6 heures. Lors de la prise de poste, divers contrôles de l'état des bains sont menés dont notamment la prise de température des bains d'attaque acide.

La constitution des bains et le maintien des concentrations des divers composants sont sous-traités à une société extérieure. La vidange pour remplacement des bains est sous-traitée à une autre société extérieure. La prestation de vidange est commandée à l'avance et le jour d'intervention programmé au moins 24h à l'avance. L'exploitant a défini une procédure pour ses employés et pour l'entreprise sous-traitante. Elle détaille les actions et les contrôles que chacun doit mener.

L'ensemble est tracé dans une fiche annexée à la procédure intitulée « consigne » et est commune aux personnels d'Aubert et Duval et de la société sous-traitante. Elle précise notamment :

- L'ouverture du capot d'aspiration au-dessus de la cuve (opération effectuée par l'exploitant),
- L'arrêt de l'agitation pneumatique de la cuve (opération effectuée par l'exploitant),
- La présence d'une personne de l'équipe de conduite en surveillance de la cuve en vidange « *au niveau de la chaîne d'attaque* » (personnel de l'exploitant),
- La présence de deux opérateurs du prestataire pour la surveillance du remplissage des GRV à l'extérieur de l'atelier.

La procédure ne mentionne et ne prévoit aucune disposition particulière sur la gestion de la chauffe de la cuve ou sur la température du bain au moment de la vidange.

IV. Compte-rendu des investigations menées

IV.1 Reconnaissance de terrain

Les enquêteurs du BEA-RI se sont déplacés sur site le 21 septembre 2021. Ils ont procédé à la visite de l'atelier ACS en compagnie des experts d'assurance, des forces de sécurité intérieure et du SDIS09 et accompagnés par des spécialistes du risque chimique.

Ils ont procédé aux premiers constats en présence des personnels d'Aubert et Duval ainsi que des représentants de la DREAL.

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 1** du présent rapport.

Cette expertise a été complétée par la détermination des caractéristiques d'auto-inflammabilité d'un matériau à base de mousse d'EPDM (Ethylène-propylène-diène monomère), constituant de la cuve. Cette expertise a été rendue le 17 mai 2022. Elle est jointe au présent rapport en **annexe 2**.

V. Déroulement de l'évènement

V.1 Déclenchement de l'évènement

Le vendredi 10 septembre à **4h00** du matin, trois opérateurs de la société Aubert et Duval prennent leurs postes sur la chaîne de macrographie au sein de l'atelier ACS. Leur poste commence par un certain nombre de contrôles dont notamment la vérification de la température des bains. L'ensemble des paramètres contrôlés à la prise de poste sont corrects y compris la température du bain de la cuve 17.

À **6h00** du matin, deux opérateurs de l'entreprise titulaire du contrat « déchet » en charge de l'évacuation des bains usés arrivent sur site. Ils s'équipent de leurs protections individuelles (EPI) qui comprend pour l'opération de vidange des bains une tenue anti-acide.

À partir de 6h00 du matin, cinq opérateurs de la société Aubert et Duval travaillent sur la chaîne de l'atelier ACS.

À **6h10**, les deux opérateurs de la société extérieure positionnent leur véhicule devant l'atelier ACS sur l'aire de dépotage prévue à cet effet (mise sous rétention). Ils préparent également le matériel de pompage ainsi que les trois GRV (Grand Récipient Vrac) de 1000 litres de contenance destinés à recueillir le bain d'attaque acide de la cuve 17.

À **6h15**, conformément à la procédure, l'un des opérateurs prend contact avec un opérateur de l'exploitant. Il fait couper l'agitation dans la cuve 17 (injection d'air comprimé) et ouvre le capot d'aspiration des vapeurs au-dessus de la cuve. Les deux opérateurs de la société extérieure procèdent également aux vérifications des vannes et circuits de dépotage de l'acide.

À **6h20**, la vidange de la cuve 17 démarre sous la surveillance des deux opérateurs de la société extérieure qui se trouvent à ce moment-là à l'extérieur du bâtiment.

À partir de **6h23**, selon le dispositif de contrôle-commande, la température mesurée augmente d'environ deux degrés jusqu'à **6h27** où la température mesurée baisse brutalement.

À **6h43**, la température remonte rapidement jusqu'à atteindre environ 70°C à **6h47**, heure à laquelle la mesure de température se met en défaut.

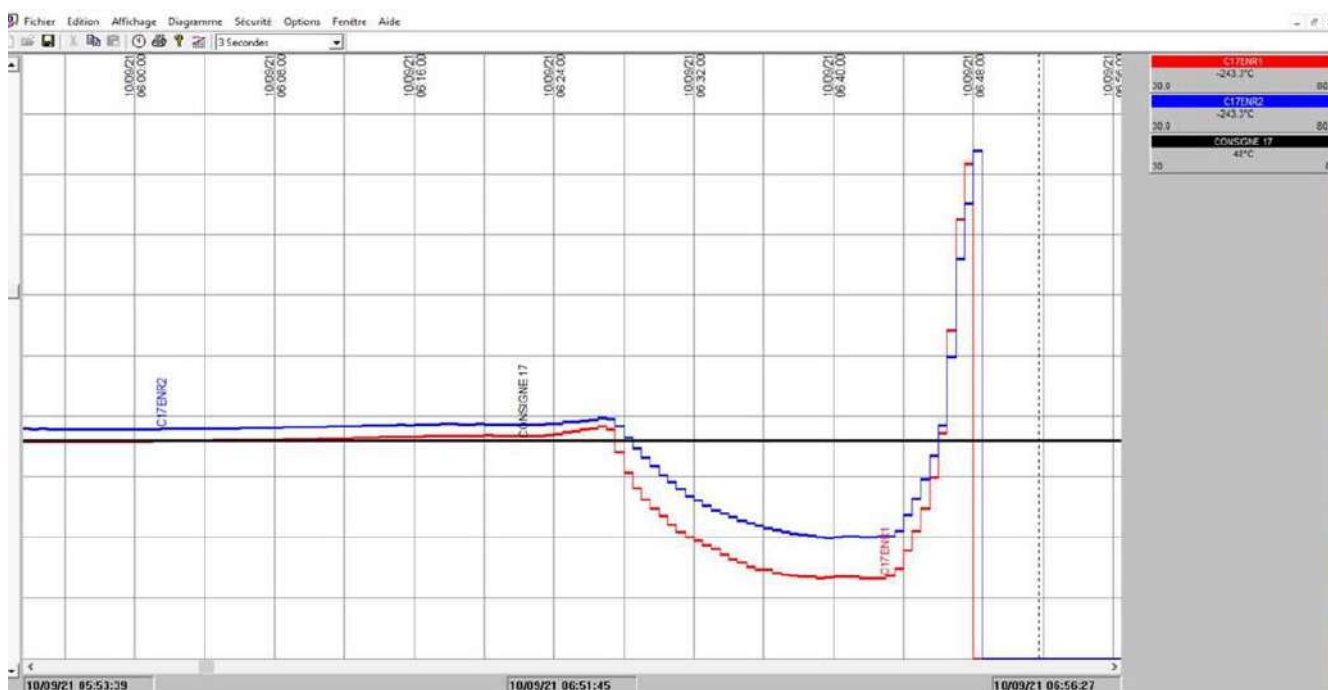


Figure 2 : enregistrement de la température au niveau de la cuve 17

À environ **6h40** (d'après les témoignages), 2 GRV sont complètement remplis et le troisième en partie, ce qui correspond aux 2700 litres théoriques contenus dans la cuve 17. Le tuyau ne bouge plus, ce qui indique à l'opérateur la fin de la vidange. Il pénètre alors dans l'atelier afin de procéder au rinçage à l'eau de la cuve. À ce moment-là, la chaîne est arrêtée et plus personne n'est présent au sein de l'atelier lui-même. Arrivé à quelques mètres de la cuve, l'opérateur en charge de la vidange aperçoit un dégagement de fumée ainsi que des flammes qui s'échappent de la cuve 17. Il déclenche l'arrêt d'urgence, descend et prévient son collègue de « tout couper ».

Pendant que son collègue replie les tuyaux et se prépare à évacuer le camion, l'opérateur ayant effectué la vidange, premier témoin de l'incendie, fait le tour du bâtiment pour prévenir les opérateurs de la chaîne.

Après avoir constaté le départ de feu, les opérateurs Aubert et Duval alertent les secours via la procédure interne. En parallèle, l'opérateur de la société extérieure contacte à **6h49** le 18 pour signaler lui aussi le départ de feu.

Les personnels Aubert et Duval organisent l'évacuation de l'ensemble des personnels présents dans le bâtiment. Revenant vers leur véhicule, les deux opérateurs de la société extérieure constatent la présence de flammes dans le local technique et évacuent le véhicule avec les 3 GRV. Une épaisse fumée noire s'échappe déjà de la cheminée du laveur de gaz. Le véhicule est mis en sécurité vers **6h54**.

À **6h57**, l'alarme sur le niveau bas de la cuve 17 apparaît sur le système de contrôle-commande.

V.2 L'intervention des secours publics

L'ordre de départ des premiers moyens du SDIS 09 est donné à 6h52 et ceux-ci arrivent sur les lieux à 7h05. Rapidement, les services de secours découvrent l'ampleur du sinistre qui s'est rapidement propagé depuis le local technique.

Le bâtiment en feu émet un important panache de fumée qui fait craindre un risque de toxicité d'autant plus que l'établissement concerné jouxte le centre-ville de Pamiers.

Le SDIS 09 met en place rapidement, épaulé par le SDIS 81, le SDIS 34 et les moyens aériens de la sécurité civile et les moyens de détection du bataillon des marins-pompiers de Marseille, le confinement des populations ainsi qu'un réseau de mesures de toxicité des fumées.

Le SDIS 09 met en place en parallèle un important dispositif d'extinction qui permettra de déclarer l'incendie circonscrit et en régression à 10h25 malgré les délais nécessaires à la coupure de la ligne 20.000V située en surplomb de l'établissement. Le feu a été éteint à 20h20.

L'intervention sera perturbée à la fois par un grand nombre d'impliqués dans les forces de l'ordre et chez les sapeurs-pompiers, ce qui nécessitera la mise en place d'une structure médicale de proximité, et également par la gestion des eaux d'extinction.

Le confinement de la population sera levé à 11h30 et le feu déclaré maîtrisé vers 15h00.

En matière de gestion des eaux d'extinction, le SDIS 09 constatera plusieurs rejets d'eau acide dans l'Ariège mais aussi la contamination par des produits acides et basiques de l'eau utilisée pour combattre le sinistre, du fait d'une reprise par pompage dans le château d'eau des eaux d'extinction. Ce dernier point conduira à la nécessité de mettre en place une chaîne de décontamination des personnels et des matériels du SDIS 09.

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement

VI.1 Scénario

L'exploitation des témoignages ainsi que la visite sur site ont permis de déterminer le point d'origine de l'incendie dans la cuve n° 17.

À **6h20**, le 10 septembre 2021, les opérations de vidange de la cuve démarrent. Rien dans la consigne de vidange ne vient imposer la coupure de la chauffe des bains. Il est habituel lors des opérations de vidange que cette chauffe ne soit interrompue qu'au moment du déclenchement de la sécurité de niveau bas dans la cuve. La température des bains continue donc à augmenter indiquant que la chauffe se poursuit pendant la vidange de la cuve.

Dès **6h27**, le niveau dans la cuve baisse et les deux sondes de température se trouvent au-dessus du niveau du liquide au contact de l'air ambiant et de ce fait indiquent une température très inférieure à la température de consigne de chauffage des bains (48°C). La chauffe n'est pas interrompue ni par une action manuelle ni par une détection de la baisse de niveau de la cuve, le capteur de niveau ayant sans doute dysfonctionné.

À **6h43**, les sondes montrent une élévation de la température (jusqu'à environ 70°C), puis elles cessent de fonctionner. C'est vraisemblablement l'heure de début de l'incendie.

Le flux radiatif généré par les trois cannes chaudes placées à l'air libre a chauffé le PVDF de la cuve jusqu'à le faire fondre, mettant à nu la couche d'EPDM qui atteint probablement sa température d'auto-inflammation.

La combustion de l'EPDM va générer à la fois des fumées chaudes et des flammes qui vont propager l'incendie notamment au couvercle de la cuve.

Les fumées chaudes émises par l'incendie naissant de la cuve 17 sont en partie captées par l'aspiration qui a continué à fonctionner, même si l'ouverture du couvercle la rendait moins efficace, ce qui augmente l'apport d'air à l'incendie lui-même. Ces fumées chaudes vont entraîner la fusion et la combustion partielle de la gaine d'aspiration dans sa partie réalisée en PVC jusqu'au passage sous les bacs de traitement de surface (cf. photos des figures n°3 et n°4). Au changement de caractéristique du matériau (passage en polyéthylène¹⁰), les fumées chaudes vont entraîner la combustion de la gaine.



Figure n°3 : gaine d'aspiration en PVC



Figure n°4 : cheminement de la gaine d'aspiration en PE détruite

¹⁰ La température d'auto inflammation du polyéthylène est d'environ 370°C contre environ 500°C pour le PVC

Ainsi le feu va se propager par l'intermédiaire de la gaine d'aspiration jusqu'au local technique (figure n°5), puis, à l'installation de lavage des gaz ainsi que par rayonnement aux deux cuves plastiques de 15 et 6 m³ qui sont très peu remplies.



Figure n°5 : local technique

La propagation est rapide puisque quelques minutes après le départ du feu, des flammes sont déjà observées dans le local technique. Du local technique, le feu, très intense, se propage à l'étage et en partie latéralement aux locaux (salle décanteur et local d'attaque). À l'étage, l'ensemble des bureaux isolés de l'atelier principal seront complètement détruits, notamment du fait d'un potentiel combustible important. L'étage R+2 contenant des archives sera lui aussi fortement atteint.

À contrario, on constate une plus faible propagation de l'incendie dans l'atelier en lui-même (cf. photo de la figure n°6), limitée à la gaine d'évacuation des vapeurs des baignoires. La présence en toiture de panneaux translucides qui ont rapidement fondu a permis une évacuation des fumées chaudes sans création de phénomène de flash-over. Seuls les abords de la cuve 17 montrent des traces d'atteintes thermiques (éléments fondus par rayonnement mais pas de traces d'inflammation).



Figure n°6: vue générale de l'atelier

VI.2 Facteurs contributifs

Le BEA-RI retient les éléments suivants comme des facteurs ayant contribué soit à la survenue de l'incendie soit à en aggraver les conséquences :

VI.2.1 La gestion de la chauffe des bains

La gestion de la chauffe des bains, en application de la procédure de vidange, ne repose que sur le capteur de niveau du bain. En cas de défaillance de ce capteur, la régulation de température reste cependant opérationnelle durant la vidange.

Lorsque les deux sondes de température ne sont plus en contact avec le liquide, la régulation met en fonctionnement la chauffe du bain, sauf si le capteur de niveau a rempli son office. Dans le cas contraire, les trois cannes chauffantes chauffent à sec et leurs températures de surface augmentent très rapidement et génèrent un flux radiatif important sur les parois de la cuve et les autres équipements contenus dans cette dernière. Les rapports de l'Ineris joints en **annexe 1 et 2** confirment qu'il est vraisemblable que le fort rayonnement et de ce fait la température de surface du revêtement intermédiaire de la cuve ait entraîné l'inflammation de ce dernier.

La documentation du constructeur des cannes chauffantes précise que pour éviter tout endommagement, il convient de couper leur alimentation au moins 15 minutes avant la mise à sec des cannes.

Il est à noter que la cuve 17 était pourtant équipée d'un bouton poussoir permettant de couper sélectivement la chauffe de cette cuve.

L'imprécision de la procédure de vidange, qui ne prévoyait pas la coupure manuelle de la chauffe du bain devant être vidangé, a fait que l'habitude a été prise de ne compter que sur le déclenchement de la sécurité de niveau bas pour arrêter la chauffe. L'utilisation d'un dispositif de sécurité pour une opération d'exploitation usuelle remet en cause la redondance permettant d'assurer la sécurité.

VI.2.2 L'aspiration

Le dispositif d'aspiration a joué un rôle prépondérant dans la propagation du sinistre. Dès les premières flammes, il a favorisé le tirage rapide des fumées. Ensuite, il a permis la première propagation du foyer vers des zones où le potentiel calorifique était élevé conduisant à l'inflammation du local technique et de la cheminée du laveur.

Le dispositif n'a cessé d'aspirer que lorsqu'il a été mis hors service par l'incendie lui-même et ce, malgré le fait que l'arrêt d'urgence de la chaîne ait été actionné assez tôt.

A contrario, le fait que les conduits d'aspiration ne soient pas situés à l'aplomb des cuves mais en dessous de celles-ci, a pu limiter la propagation de l'incendie au sein de l'atelier en évitant que les gaines soient soumises à l'action directe de la flamme ou qu'en fondant, elles ne génèrent l'inflammation d'autres pièces.

VI.2.3 L'absence de personnel de surveillance de la cuve

La procédure de vidange des bains précisait que celle-ci devait s'effectuer sous la surveillance d'un opérateur situé « au niveau de la chaîne d'attaque », ce qui n'était pas le cas le jour de l'accident.

La présence d'une personne au niveau de la chaîne d'attaque aurait certainement permis une détection plus rapide du départ de feu. Toutefois, il n'est pas certain, compte-tenu de la rapidité de la propagation et de l'impossibilité d'arrêter rapidement la ventilation, que le sinistre ait pu être complètement maîtrisé rapidement.

VI.2.4 Gestion des eaux d'extinction

Le site de Pamiers est très ancien. Comme beaucoup de sites anciens, il a subi de nombreuses transformations et évolutions de ses utilités et c'est le cas notamment en matière de gestion des eaux pluviales, des eaux d'incendie et de l'alimentation en eaux industrielles.

Ces évolutions sont généralement mal suivies et prises en compte. Lors de l'intervention du 10 septembre, le service d'incendie et de secours a pu constater le rejet d'eaux à faible pH dans la rivière Ariège qui passe en bordure de site, ce qui montre que la récupération des eaux d'incendie n'était pas complète et opérationnelle.

Il a également constaté à l'issue de l'intervention la pollution des eaux industrielles utilisées pour l'extinction et la décontamination du personnel et du matériel, par des produits acides (pH 4).

Il est prévu au sein du site de Pamiers que dans le cas d'un sinistre (sauf sur le secteur de l'atelier presse 40 000 tonnes), que les eaux soient confinées dans le château d'eau, relié au réseau d'eaux industrielles. L'alimentation des eaux d'extinction est assurée par le réseau d'eaux industrielles du site. Ainsi, le fonctionnement en circuit fermé du réseau, induisant une recirculation des eaux d'extinction dans l'ensemble du réseau, entraîne donc une potentielle contamination de l'ensemble de celui-ci.

VII. Enseignements de sécurité

VII.1 La mesure du niveau des bains

La mesure du niveau du bain est un paramètre important pour garantir l'absence de chauffe à sec des thermoplongeurs et donc un paramètre important pour la sécurité.

Cette mesure fait l'objet d'impositions réglementaires. Par exemple, l'article 6 de l'arrêté ministériel 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 dispose :

« Les systèmes de chauffage des cuves sont équipés de dispositifs de sécurité qui permettent de détecter le manque de liquide et d'asservir l'arrêt du chauffage. ».

Le respect de cette prescription passe par la mise en place d'un système de mesure fiable. Une vigilance doit être apportée au fait que l'ambiance de travail du capteur dans ce type d'environnement peut-être particulièrement agressive tant du point de vue physique que chimique.

Dans notre cas, le dysfonctionnement du dispositif de mesure est avéré. La redondance du capteur, si possible avec un capteur d'une autre technologie, paraît être une solution de nature à diminuer de manière substantielle la probabilité d'un dysfonctionnement.

VII.2 La gestion de la chauffe des bains

La conception de la chauffe des bains au plan technique fait reposer la coupure de sécurité de la chauffe uniquement sur la commande du variateur à Thyristor.

L'alimentation de puissance n'est alors interrompue qu'en cas d'interruption de l'alimentation du TGBT¹¹. Les sécurités, y compris l'arrêt d'urgence, agissent via une chaîne de contact sur la commande du régulateur Thyristor. Cette chaîne comprend également la possibilité de mettre en marche ou d'interrompre la chauffe spécifique de ce bain.

La mise en place d'un contacteur de puissance alimentant ou non le variateur à thyristor en fonction notamment de l'état des sécurités paraît une solution à privilégier. Le pilotage de la commande du variateur ne serait alors plus utilisé que pour la régulation de température.

¹¹ Tableau général basse tension

Sur le plan procédural, l'arrêt de la chauffe par l'opérateur est à privilégier par rapport à un arrêt basé uniquement sur la surveillance du niveau et ce d'autant plus que la documentation du constructeur de la canne chauffante prévoit explicitement l'arrêt de la chauffe du bain au moins 15 minutes avant la mise à sec des cannes.

La mise en place de cette coupure, avec le respect de ces délais dans la procédure, permettrait d'augmenter de manière substantielle le niveau de sécurité.

En complément il existe sur le marché un certain nombre de cannes chauffantes équipées d'un dispositif visant à éviter toute surchauffe. Ce type de dispositif permet d'apporter une sécurité de fonctionnement supplémentaire.

VII.3 La surveillance et la détection

La surveillance des opérations à risques par un opérateur contribue à la sécurité des installations à la condition que les opérateurs disposent des moyens de contrôle et d'intervention.

Si la surveillance des opérations de vidange était effectivement prévue dans la procédure de vidange de la cuve 17, la capacité de l'opérateur à détecter de manière précoce que la chauffe du bain était toujours en fonctionnement n'est pas établie.

De la même façon, une fois l'incendie déclaré, sa capacité soit à l'éteindre soit à couper la ventilation ou à procéder à l'extinction de la cuve n'est pas évidente.

VII.4 La vitesse de propagation

Comme le BEA-RI l'a déjà relevé dans d'autres incendies de traitement de surface la vitesse de propagation de ce type d'incendie est très rapide. Elle est dans ce cas de l'ordre de la dizaine de minutes.

Comme dans les autres incendies, elle est liée à deux facteurs principaux :

- L'absence de coupure des dispositifs d'aspiration des vapeurs des bains lors de l'incendie,
- Le pouvoir calorifique et les températures d'auto-inflammation des matériaux présents et notamment de ceux utilisés pour la réalisation des dispositifs d'aspiration.

L'asservissement de la coupure des dispositifs d'aspiration à la détection d'un incendie ou à l'élévation de la température des vapeurs aspirées¹² permettrait de freiner la propagation de l'incendie.

De la même façon, le choix des matériaux de la cuve et notamment leur résistance à la température est prépondérante.

Une différence d'une centaine de degrés entre la température d'auto-inflammation du polyéthylène et du PVC a fait la différence entre l'inflammation et la tenue du matériau au niveau de la gaine d'aspiration.

¹² Dans les cas rencontrés par le BEA-RI on peut considérer que des températures de l'air dans le système d'aspiration supérieures à 100°C sont anormales et devraient conduire à l'arrêt automatique des installations y compris le système d'aspiration.

Sans aller jusqu'à mettre en place sur la totalité du circuit d'aspiration des vapeurs des matériaux ininflammables, leur présence aux emplacements opportuns (traversée de cloison par exemple) couplée à l'arrêt précoce de la ventilation permettrait de ralentir la propagation d'un éventuel incendie.

VII.5 La non réutilisation des eaux d'extinction

Le degré de pollution des eaux d'extinction utilisées les rend impropres, sans caractérisation, à la réutilisation dans le cadre d'un incendie.

Il est donc important que leur collecte se fasse indépendamment du circuit d'alimentation en eau du dispositif hydraulique d'extinction.

Corolairement, la capacité de rétention de ces eaux doit être dimensionnée de manière à couvrir à minima les capacités déterminées dans l'étude des dangers de l'établissement.

VIII. Recommandations de sécurité

VIII.1 À destination de l'exploitant

VIII.1.1 Révision de l'étude des dangers

Au regard des problématiques de rétention des eaux d'extinction, le BEA-RI recommande de mettre à jour l'étude des dangers sur le calcul des volumes d'eau nécessaires à éteindre un incendie et la mise à disposition d'un volume de rétention correspondant. L'utilisation pour ce faire d'un référentiel reconnu et un travail en lien avec les services d'incendie et de secours paraît à privilégier.

VIII.1.2 Modification de la conception de la chauffe des bains

Compte-tenu des éléments développés ci-avant, le BEA-RI recommande de modifier le système de mise en chauffe des bains en intégrant une redondance des capteurs de niveau de cuve, si possible avec des technologies de mesures différentes, et l'intégration des sécurités et de la marche/arrêt directement dans la commande de puissance des cannes chauffantes.

VIII.1.3 Asservissement de la coupure de l'aspiration

Le BEA-RI recommande d'asservir à la détection d'un incendie l'arrêt de l'aspiration au-dessus des bains. La détection de l'incendie pouvant être issue d'un système classique de détection d'incendie, mais aussi de la détection d'une mesure anormale de température de l'air aspiré. La présence d'un arrêt d'urgence de l'aspiration serait souhaitable, la coupure de l'aspiration quelle qu'en soit la cause, devant par ailleurs déclencher une alarme permettant aux personnels d'évacuer la zone, le cas échéant avec une temporisation de la coupure d'aspiration.

VIII.1.4 Modification de la procédure de vidange des bains

Le BEA-RI recommande de faire évoluer la procédure de vidange des bains en prévoyant l'arrêt de la chauffe du bain à vidanger au moins 15 minutes avant les opérations de vidange et de ne relancer la chauffe qu'après contrôle visuel du niveau de la cuve.

VIII.2 À destination du pouvoir réglementaire

Compte tenu du potentiel calorifique important susceptible d'être présent dans les installations de traitement de surface, de la présence en quantités significatives de produits dangereux et de la difficulté à éteindre ce type d'incendie, le BEA rappelle la recommandation en matière de protection contre l'incendie émise dans ses rapports d'enquêtes parus en 2021 (MTE-BEARI-2021-006¹³ et MTE-BEARI-2021-003¹⁴) et visant à compléter les prescriptions relatives au désenfumage, à la détection et au contrôle des installations électriques des installations de traitement de surface relevant du régime de l'autorisation.

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 2021¹⁵, en proposant une évolution des arrêtés ministériels applicables à ce secteur d'activité.

En complément, le BEA-RI recommande que cette réglementation impose l'asservissement de l'arrêt de l'aspiration des vapeurs issues des bains à la détection d'un incendie.

¹³ 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

¹⁴ 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)

¹⁵ http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20210921_courrier_reponse_dgpr_recommandations_escout_sti_cle23e994.pdf

IX. Annexes

Annexe 1 Rapport de l'Ineris

Annexe 2 Complément rapport de l'Ineris

Annexe 1 Rapport de l'Ineris

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



(ID Modèle = 454988)

Ineris - 207210 - 2728524 - v3.0

11/08/2022

**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 : CHAUMETTE SYLVAIN – BENJAMIN TRUCHOT

Approbation : Document approuvé le 11/08/2022 par BOUET REMY

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	7
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 - v3.0, 11/08/2022.

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 est détaillée 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°K) :

- M = 16,4 kW/m² pour $\varepsilon = 0,5$;
- M = 33,0 kW/m² 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.

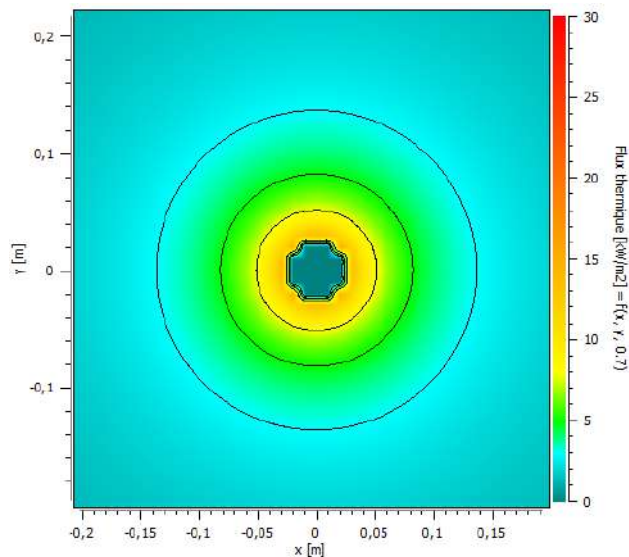


Figure 1. Cartographie des flux radiatifs dans un plan perpendiculaire au thermoplongeur si l'émissivité est égale à 0,5

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

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

3 Analyses de sensibilité

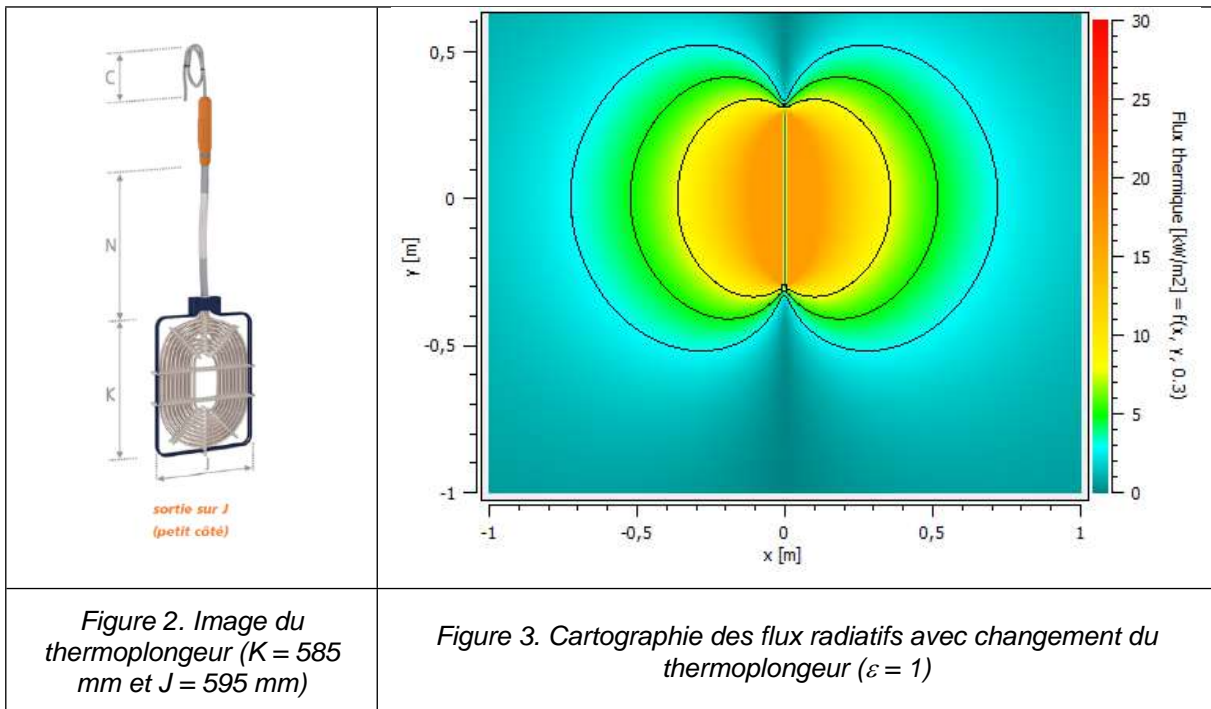
3.1 Influence de l'émissivité du thermoplongeur

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 Armaflex. 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 $0,010 \text{ m}$, de $18,5 \text{ kW/m}^2$ à $0,050 \text{ m}$ et de 17 kW/m^2 à $0,100 \text{ m}$. 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.

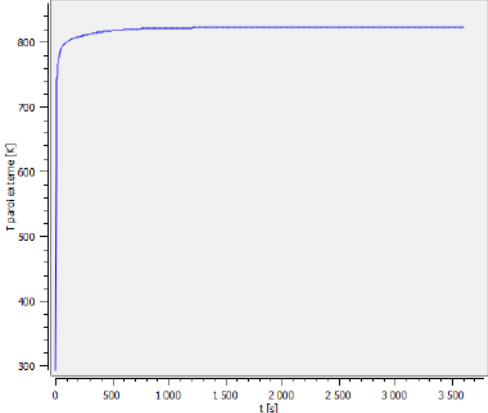
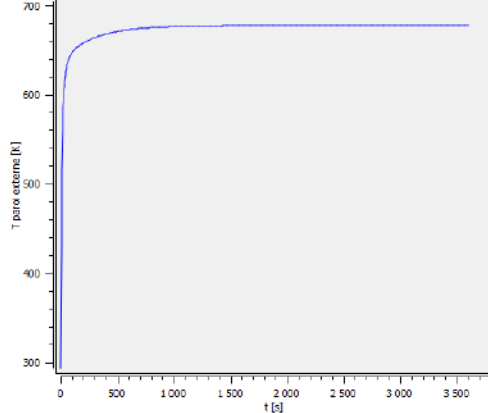
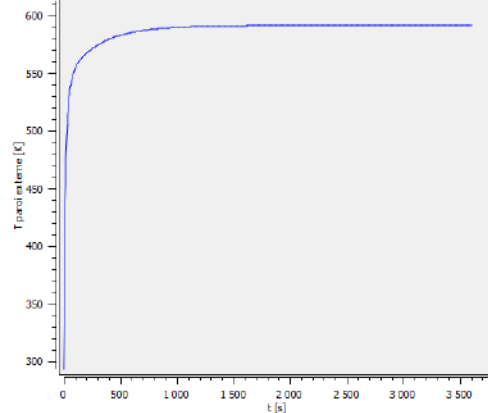
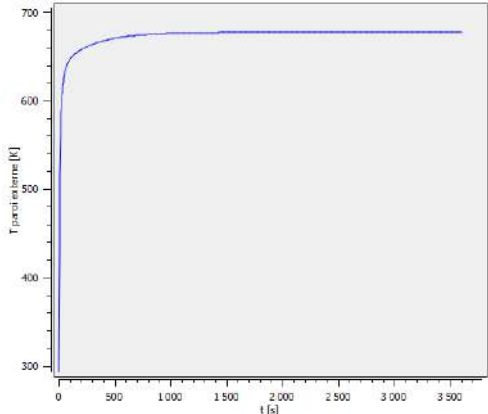
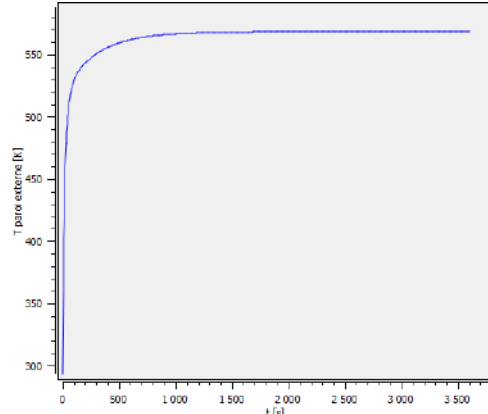
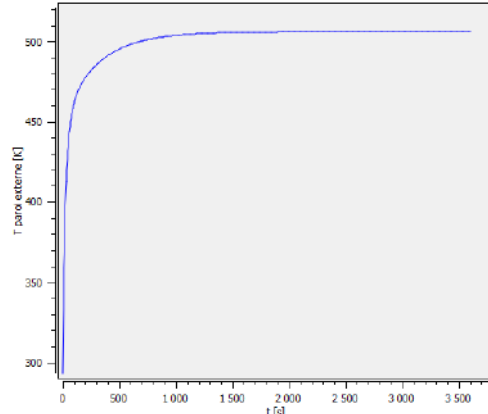
Emissivité	Eloignement entre le thermoplongeur et le bac		
	d = 0,010 m	d = 0,050 m	d = 0,100 m
$\varepsilon = 1,0$	(soit un flux reçu de 25,5 kW/m ²) 	(soit un flux reçu de 11,5 kW/m ²) 	(soit un flux reçu de 6,5 kW/m ²) 
$\varepsilon = 0,5$	(soit un flux reçu de 11,5 kW/m ²) 	(soit un flux reçu de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

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 pour éviter toute inflammation de la paroi ;
- 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 Armaflex, 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'Armaflex 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 :Tr: 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]

Annexe 2 Complément rapport de l'Ineris

Note finale sur la possibilité d'un incendie dans un bac lié à un dysfonctionnement de thermoplongeur

**NOTE FINALE SUR POSSIBILITÉ D'UN INCENDIE DANS UN BAC LIÉ À UN DYSFONCTIONNEMENT
DE THERMOPLONGEUR
CGR = 207210**

Destinataires : Henri KALTEMBACHER
(BEA-RI)
Laurent OLIVE (BEA-RI)

Copies : Sylvain CHAUMETTE (Ineris)
Bernard PIQUETTE (Ineris)
Benjamin TRUCHOT (Ineris)

Dans son rapport référencé Ineris-207210-2728524-v2.0, daté du 25/02/22, l'Ineris s'est interrogé si un thermoplongeur non immergé, de marque ROTKAPPE et de type B-FC, pouvait être à l'origine de l'inflammation d'un bac en Armaflex de la société AUBERT et DUVAL, située à Pamiers (09).

Les modélisations effectuées ont permis de prédire l'évolution de la température de la paroi interne du bac induite par le rayonnement thermique mais, faute de disposer de la température d'inflammation de l'Armaflex, l'Ineris n'avait pas pu statuer de façon définitive sur le risque d'inflammation.

Depuis l'émission de ce rapport, des essais ont été réalisés à l'Ineris pour évaluer cette température d'inflammation de l'Armaflex. Un échantillon a ainsi été soumis à des essais de type TAPE-TAS (TAPE : Température d'Allumage au Point d'Eclair et TAS : Température d'Allumage Spontanée) dans un four à air chaud et en respectant la norme ISO 871 :2022. Le rapport d'essais est annexé à la présente note.

De ces essais, il apparaît que la TAPE et la TAS peuvent être de l'ordre de 410°C (soit 683°K). Dans la mesure où ces températures déterminées expérimentalement sont très proches de la valeur maximale prédite (cf. Tableau 2 du rapport susmentionné) pour une distance de 10 mm entre le thermoplongeur et la paroi du réservoir, le risque d'inflammation est donc possible dès que le thermoplongeur est proche de la paroi du réservoir.

Document approuvé le 09/08/2022 par BOUET REMY

Annexe

**DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES D'INFLAMMABILITÉ
D'UN ÉCHANTILLON D'ARMAFLEX SUIVANT LA NORME ISO 871**

8 pages



Rapport interne

(ID Modèle = 454908)

INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable

Ineris-207210-2739929-v1.0

11/05/2022

DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES D'INFLAMMABILITÉ D'UN ÉCHANTILLON D'ARMAFLEX SUIVANT LA NORME ISO 871

Entité émettrice : IDE / ERIP

Diffusion* : Restreinte

* Indiquer Restreinte si la diffusion de ce document est limitée aux destinataires identifiés ci-après.

Rédacteur : BINOTTO Ghislain

Approbation : Document approuvé le
11/05/2022 par BOUET REMY

Destinataire : CHAUMETTE SYLVAIN

Copies : STOUVENEL MICKAEL;
BOUET REMY

Sommaire

1	Introduction.....	3
2	Essais TAPE-TAS	4
2.1	Description de l'essai	4
2.1.1	Principe	4
2.1.2	Appareillage	4
2.1.3	Eprouvettes.....	5
2.2	Caractérisation de la température d'allumage au point d'éclair et de la température d'allumage spontanée de l'échantillon d'Armaflex.....	5
2.3	Caractérisation de la température d'allumage spontanée de l'échantillon d'Armaflex	7
3	Conclusion	8

1 INTRODUCTION

L'unité DIEM a sollicité les laboratoires de l'unité ERIP afin de caractériser le comportement thermique d'une gaine calorifuge de type Armaflex. L'objectif consiste à déterminer la température d'auto-inflammation sous air de l'échantillon.

L'échantillon a ainsi été soumis à un essai TAPE-TAS (Température d'Allumage au Point d'Eclair et Température d'Allumage Spontané) suivant la norme ISO 871 :2022 au moyen d'un four à air chaud. Cette norme est utilisée dans le cadre de la caractérisation des « plastiques ».

Ces résultats d'essai ne concernent que le comportement de l'échantillon d'essai dans les conditions particulières de l'essai. Ils ne sont pas destinés à être utilisés, et ne doivent pas être utilisés seuls, pour évaluer les risques potentiels d'incendie d'un matériau en cours d'utilisation.

Les températures d'allumage sont fonction de la méthode d'essai utilisée et ne sont pas une propriété intrinsèque du matériau testé.

L'échantillon ARMAFLEX (Réf. Ineris : 22AK766) a été fourni par le BEA-RI et réceptionné le 25/04/2022 dans nos laboratoires (**Figure 1**) et référencé de la façon suivante :

- « ARMAFLEX » référencée Ineris : 22AK766.



Figure 1 : Clichés photographiques du conditionnement et de l'échantillon « Armaflex » référencé Ineris 22AK766.

Les éprouvettes d'échantillon ont été découpées dans le rouleau, suivant les exigences dimensionnelles requises par la norme et soumises aux essais sans préparation préalable, hormis un conditionnement à $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et $50\% \pm 5\%$ d'humidité relative pendant au moins 40 h.

2 ESSAIS TAPE-TAS

2.1 Description de l'essai

2.1.1 Principe

Un spécimen du matériau (épreuve) est chauffé dans un four d'allumage à air chaud en utilisant différentes températures à l'intérieur de la chambre chauffée, et la température d'allumage au point d'éclair (TAPE) est déterminée avec une petite flamme pilote dirigée vers l'ouverture dans le haut du four pour enflammer les gaz dégagés.

La température d'allumage spontanée (TAS) est déterminée comme la température d'allumage au point d'éclair, mais sans flamme pilote pour l'inflammation.

2.1.2 Appareillage

Le four à air chaud, isolé thermiquement, est constitué principalement d'une unité de chauffage et d'un porte-épreuve (**Figure 2**).

Il comprend deux tubes concentriques en céramique placés verticalement.

L'admission de l'air propre s'effectue par le haut dans l'espace annulaire entre les deux tubes où il est chauffé. Cet air chaud pénètre ensuite dans le tube intérieur par le bas à une température précise et stabilisée pendant au moins 15 minutes.

Le creuset métallique contenant la prise d'essai/épreuve est introduit dans le four et est suspendu au milieu du tube central. Pour contrôler la température, deux thermocouples sont mis en place :

- l'un pour mesurer la température de l'air qui circule autour de la prise d'essai. Il est placé à (10 ± 2) mm au-dessous du centre du creuset contenant l'épreuve,
- l'autre pour mesurer la température au plus près de l'épreuve de manière à détecter son inflammation.

La vitesse de l'air a été fixée à 25 ml/s à l'aide d'un débitmètre.

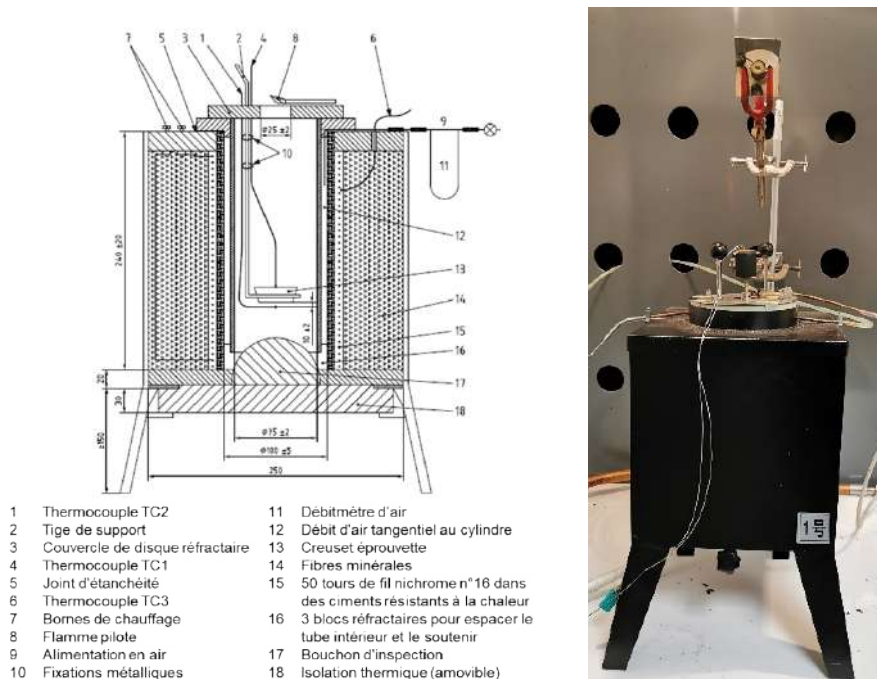


Figure 2 : Plan issu de la norme ISO 871 :2022 et cliché photographique du dispositif d'essai

2.1.3 Epruvettes

Il est acceptable d'utiliser, en tant que spécimens d'essai, des matériaux ou des produits fournis sous n'importe quelle forme, avec quelques exemples de granulés, de poudres et de films. Il est également acceptable d'utiliser des composites comme spécimens d'essai.

Pour les matériaux ayant une densité supérieure à 100 kg/m^3 , une masse d'éprouvette de $3,0 \text{ g} \pm 0,2 \text{ g}$ doit être utilisée. Une prise d'essai ($3,0 \text{ g} \pm 0,2 \text{ g}$) du matériau à tester est chauffée dans un four à air chaud dont la température interne est régulée.

Pour les matériaux en feuille, la feuille est découpée en carrés d'une taille maximale de $(20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}) \times (20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm})$ et il convient d'en empiler plusieurs en hauteur afin d'obtenir la masse d'échantillon requise.

Pour les matériaux en film, une bande de $20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de large et d'une longueur suffisante est enroulée pour donner la masse requise de l'échantillon.

Pour les matériaux cellulaires d'une densité inférieure à 100 kg/m^3 , il faut enlever le film/peau extérieur et découper des échantillons sous forme de blocs mesurant $(20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}) \times (20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}) \times (50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm})$. Il est acceptable de lier l'échantillon avec un fil fin si l'échantillon est volumineux et léger et s'il est si facilement affecté par le flux d'air du four qu'il est possible que l'échantillon tombe du plateau.

2.2 Caractérisation de la température d'allumage au point d'éclair et de la température d'allumage spontanée de l'échantillon d'Armaflex

Compte tenu de l'état physique solide de l'échantillon Armaflex, sous forme de rouleau pouvant être apparenté à des matériaux cellulaires de densité inférieure à 100 kg/m^3 , les éprouvettes soumises à essai ont été découpées en forme de blocs mesurant $(20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}) \times (20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm})$, d'environ $0,7 \text{ g}$.

La densité de l'échantillon d'Armaflex est de $62,1 \text{ kg/m}^3$ (déterminée sur l'ensemble du rouleau reçu).

La température d'allumage au point éclair (TAPE) de l'échantillon « Armaflex », référencé Ineris 22AK766, a été mesurée à 410°C (Figure 3).

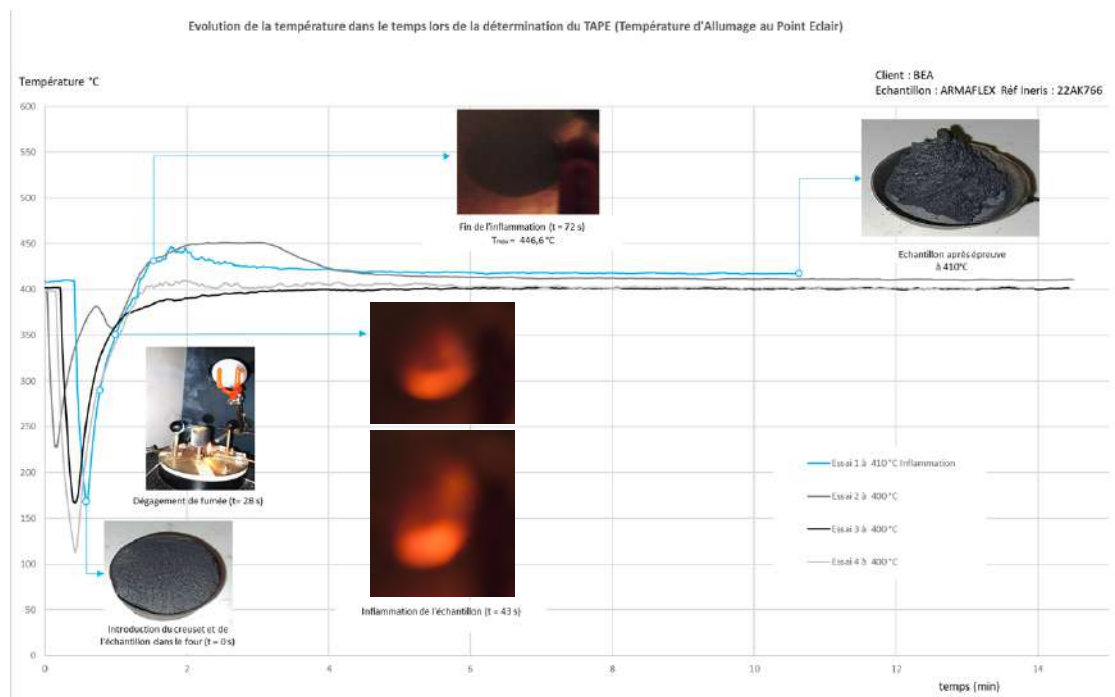


Figure 3 : Evolution thermique de l'échantillon Armaflex (Ineris 22AK766) et clichés photographiques issus de captures vidéo au cours de l'épreuve de détermination de la TAPE, sous air à 400°C et 410°C , à température constante.

La chute de température observée au début de la courbe correspond au moment où la tige support du creuset est extraite (le four est alors stabilisé à la température d'essai de 400°C ou 410°C par rapport à ce graphique) pour placer le creuset contenant l'éprouvette afin de pouvoir initier l'essai. La tige support étant équipée de deux thermocouples, ceci explique la chute de température détectée et le sommet du pic correspond ainsi début de l'essai ($t = 0$), puisqu'ensuite la température augmente de nouveau étant donné que l'ensemble (tige support + creuset + échantillon) est positionné dans le four stabilisé à 410°C pour le cas de l'inflammation.

A 410°C, un dégagement de fumées, important, est observé 28 s après l'introduction de l'éprouvette d'essai dans le four et avant le début de l'inflammation à $t = 43$ s. A $t = 72$ s, soit environ 30 s après le début de l'inflammation, plus aucune flamme n'est observée. Une légère exothermie est mesurée avec une température maximale atteinte par l'échantillon de 446,6°C lors de l'inflammation.

Il convient de préciser que le dégagement important de fumées observée à 410°C a été également observé lors des trois essais à 400°C.

En fin d'essai, la perte de masse calculée de l'échantillon est de 60 %.

Les essais de confirmation de température de non-inflammation lors de l'épreuve de la TAPE ont été répétés trois fois dans le cadre de cette prestation.

2.3 Caractérisation de la température d'allumage spontanée de l'échantillon d'Armaflex

Compte tenu de l'état physique solide de l'échantillon Armaflex, sous forme de rouleau pouvant être apparenté à des matériaux cellulaires de densité inférieure à 100 kg/m^3 , les éprouvettes soumises à essai ont été découpées en forme de blocs mesurant $(20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}) \times (20 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm})$ d'environ 0,7 g.

La densité de l'échantillon d'Armaflex est de $62,1 \text{ kg/m}^3$ (déterminée sur l'ensemble du rouleau reçu).

La température d'allumage spontanée (TAS) de l'échantillon « Armaflex », référencé Ineris 22AK766, a été mesurée à 410°C (Figure 4).

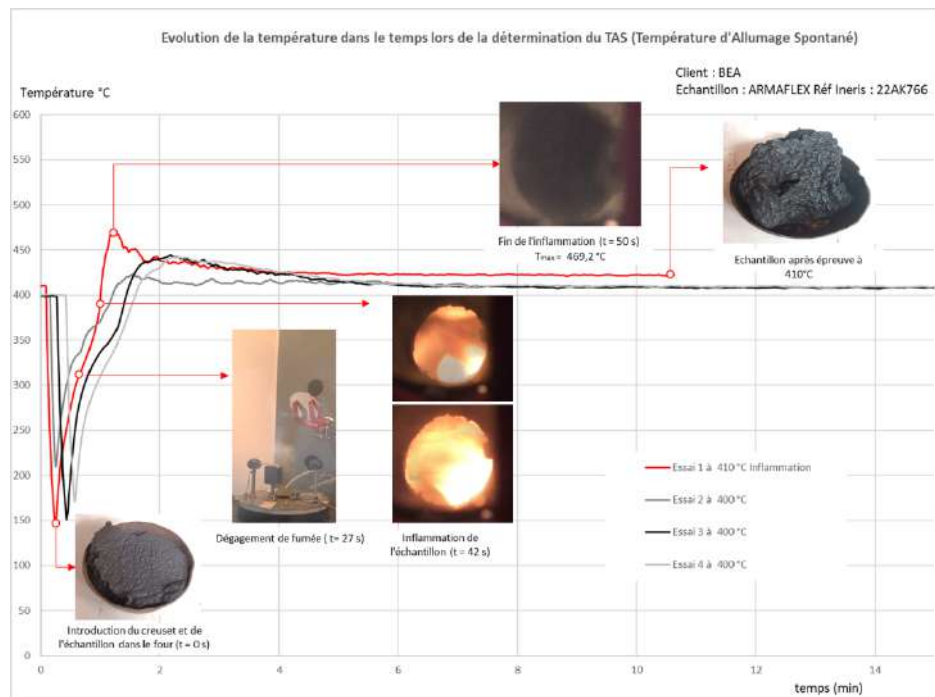


Figure 4 : Evolution thermique de l'échantillon Armaflex (Ineris 22AK766) et clichés photographiques issus de captures vidéo au cours de l'épreuve de détermination de la TAS, sous air à 400°C et 410°C , à température constante.

La chute de température observée au début de la courbe correspond au moment où la tige support du creuset est extraite (le four est alors stabilisé à la température d'essai de 400°C ou 410°C par rapport à ce graphique) pour placer le creuset contenant l'éprouvette afin de pouvoir initier l'essai. La tige support étant équipée de deux thermocouples, ceci explique la chute de température détectée et le sommet du pic correspond ainsi début de l'essai ($t = 0$), puisqu'ensuite la température augmente de nouveau étant donné que l'ensemble (tige support + creuset + échantillon) est positionné dans le four stabilisé à 410°C pour le cas de l'inflammation.

A 410°C , un dégagement de fumées, important, est observé 27 s après l'introduction de l'éprouvette d'essai dans le four et avant le début de l'inflammation à $t = 42 \text{ s}$. A $t = 50 \text{ s}$, plus aucune flamme n'est observée. Une légère exothermie est mesurée avec une température maximale atteinte par l'échantillon de $469,2^\circ\text{C}$ lors de l'inflammation. Il convient de préciser que le dégagement important de fumées observées à 410°C a été également observé lors des trois essais à 400°C .

En fin d'essai, la perte de masse calculée de l'échantillon est de 65 %.

Les essais de confirmation de température de non-inflammation lors de l'épreuve de la TAS ont été répétés trois fois dans le cadre de cette prestation.

3 CONCLUSION

Les caractéristiques d'inflammabilité de l'échantillon d'Armaflex, suivant la norme ISO 871 :2022 sont les suivantes :

TAPE = TAS = 410°C.

Les éventuels gaz émis lors du traitement thermique de l'échantillon ne favoriseraient et ne seraient donc pas responsables de l'inflammation de l'échantillon dans les conditions d'essais, puisque les températures d'auto-inflammation avec ou sans flamme pilote (en partie supérieure du tube du four) sont identiques.

La perte de masse après inflammation est d'environ 60-65 % (dans les conditions d'essais à 410°C).



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

MTE / CGEDD / BEA-RI
Tour Séquoia
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>