



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

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



Rapport d'enquête

Sur l'explosion survenue au sein
du site exploité par la société
MSSA sur la commune de Saint-
Marcel (73) le 10 septembre 2024

Bordereau documentaire

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

Titre du document : rapport d'enquête sur l'explosion survenue au sein du site exploité par la société MSSA à Saint-Marcel (73) le 10 septembre 2024

N° : MTE-BEARI-2025-09

Date du rapport : 28/08/2025

Proposition de mots-clés : Explosion, hydrolyse, sodium.

Avertissement

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

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

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

Au titre de ce rapport on entend par :

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

Synthèse

Le 10 septembre 2024 à 19h54, une explosion s'est produite dans l'atelier d'hydrolyse des résidus de fabrication de sodium métallique du site MSSA de Saint-Marcel (Savoie), spécialisé dans la production de sodium et lithium. Aucun blessé n'est à déplorer, mais une forte détonation et un panache de fumée ont été observés. L'événement, géré en interne, a conduit à une remise en service de l'atelier dès le lendemain.

La production de sodium génère des résidus très réactifs qui sont éliminés soit par brûlage puis hydrolyse, soit par hydrolyse directe. Le processus d'hydrolyse directe, s'il est mal maîtrisé, présente un risque élevé d'explosion du fait de la réaction exothermique entre le sodium et l'eau, qui génère de l'hydrogène.

La remise en route rapide de l'installation et l'absence de données suffisantes sur les circonstances de l'évènement ne permettent pas au BEA-RI d'établir précisément les causes de cet évènement qui n'est pas exceptionnel pour ce site, pouvant survenir plusieurs fois par an. L'enquête technique a néanmoins permis d'identifier des causes possibles liées aux résidus traités (composition ou géométrie) ou à l'installation (état du panier utilisé pour le conditionnement des résidus placés à l'hydrolyse ou mauvais fonctionnement des buses d'aspersion d'eau).

Les résidus de sodium métalliques sont très réactifs. Il n'apparaît donc pas opportun de les transporter hors du site pour les traiter ailleurs et un traitement en flux continu au plus près et au plus tôt après leur soutirage est une bonne pratique. Le brûlage préalable des résidus permet de réduire leur réactivité à la condition de pouvoir réaliser un brûlage suffisant et bien homogène.

L'enquête liste plusieurs facteurs contributifs ayant pu influencer sur les évènements rencontrés lors de l'hydrolyse. L'organisation du traitement des résidus présente des fragilités structurelles : manque de traçabilité des lots traités, tri manuel reposant sur le jugement des opérateurs, brûlage manuel potentiellement incomplet, installations anciennes, et pression importante pour résorber un stock ancien de déchets. A cet effet la capacité de traitement a déjà été doublée par l'industriel.

Le BEA-RI émet les recommandations suivantes à l'exploitant :

- Mettre en place une traçabilité plus complète du traitement des résidus de fabrication permettant d'identifier des schémas accidentogènes récurrents ou des points faibles dans le processus, notamment en :
 - o identifiant les déchets à toute étape du processus de traitement (entreposage, brûlage, concassage, hydrolyse), en lien avec leur provenance (et donc potentiellement leur réactivité) et le traitement qui doit leur être appliqué ;
 - o traçant précisément le déroulement de chaque poste au brûlage comme à l'hydrolyse, en enregistrant notamment les caractéristiques des résidus traités, les difficultés rencontrées et les actions mises en œuvre ;

- Fiabiliser les pratiques actuelles (en associant les opérateurs), notamment les sujets suivants :
 - o Sur le brûlage et le concassage : préciser les durées de brûlages (en préconisant des durées minimales), les quantités maximales à traiter par opération, les durées de malaxage, les contrôles à réaliser à l'issue de l'opération pendant le concassage pour valider l'efficacité de l'opération et modalités de gestion des non conformités ;
 - o Sur l'hydrolyse : Améliorer la surveillance des opérations en renforçant la métrologie (par exemple : détecteur de gaz, capteur de température, caméra thermique), préciser les temporisations et les plages d'utilisation (paramètres à suivre, valeurs limites et actions associées) ;
 - o Sur la maintenance préventive des postes "brûlage" et "hydrolyse" : préciser le programme de maintenance visant à en garantir le bon fonctionnement dans le temps (entretien des équipements d'injection d'eau, des extractions d'air, des conditionnements utilisés).
- Lancer un programme de recherche et développement, pouvant associer des partenaires externes (université, entreprises spécialisées dans l'élimination des déchets dangereux, ...), pour réinterroger les pratiques actuelles dans l'optique de trouver des solutions plus sûres :
 - o réexaminer le processus de soutirage sous deux angles : la possibilité de mettre en place un traitement des résidus en mode continu, la recherche d'un format optimum des résidus à hydrolyser (taille, géométrie) ;
 - o poursuivre le projet d'automatisation de l'étape de brûlage ;
 - o engager une réflexion sur les équipements mis en œuvre dans l'étape d'hydrolyse et son automatisation dans le but de mieux maîtriser l'émission de H₂.
- S'assurer que les moyens humains et matériels sont suffisants pour que toutes les étapes du processus (tri, brûlage, concassage, vérification, et hydrolyse) puissent être mises en œuvre dans de bonnes conditions de sécurité y compris en période de résorption du passif. Cette analyse pourra intégrer la composition des équipes de travail, l'organisation des postes et les équipements de protection individuels dont les opérateurs doivent s'équiper, ainsi que leur formation (risques inhérents aux produits et process, compréhension des modes opératoires, pilotage et analyse critique du fonctionnement des installations, et gestion des situations incidentelles et accidentelles) ;
- Réaliser un audit externe de sécurité industrielle du site, afin d'identifier et hiérarchiser les axes d'amélioration. Cet audit pourrait en particulier traiter des aspects suivants :
 - o prévention des risques d'incendie et d'explosion ;
 - o résilience du site face à des situations dégradées ;
 - o interface homme / machine sur les différents postes de travail ;
 - o gestion des interventions ;
 - o culture de sécurité.

Sommaire

I.	Rappel sur l'enquête de sécurité	8
II.	Constats immédiats et engagement de l'enquête	8
II.1	Les circonstances de l'accident.....	8
II.2	Le bilan de l'accident.....	9
II.3	Les mesures prises après l'accident	9
II.4	L'engagement et l'organisation de l'enquête.....	9
III.	Contextualisation.....	9
III.1	Historique de la société.....	9
III.2	L'entreprise aujourd'hui.....	10
III.3	Le site de Saint-Marcel	10
III.4	La production de sodium et les risques générés	11
III.4.1	Fabrication du Sodium	11
III.4.2	Risques générés par le Sodium	11
III.4.3	Gestion des résidus de fabrication	11
III.5	Étapes du process et installations intervenant dans le traitement des résidus de fabrication du sodium	12
IV.	Déroulement de l'évènement	13
IV.1	Déclenchement de l'évènement	13
IV.2	L'intervention des secours publics	13
V.	Compte-rendu des investigations menées	14
V.1	Reconnaissance de terrain.....	14
V.1.1	Les installations de traitement des résidus du process de fabrication du sodium	14
V.1.2	Exiguïté du site et gestion des emplacements de stockage.....	17
V.2	Analyse des documents et entretiens.....	18
V.2.1	Une importante accidentologie sur le site.....	18
V.2.2	Un important passif à résorber.....	19
V.2.3	Un manque de données sur la traçabilité du traitement des résidus	19
V.2.4	Des évolutions de process en cours ou envisagées	20
V.2.5	Les courbes des enregistrements du jour de l'évènement	20
VI.	Conclusions sur le scénario de l'évènement.....	21
VI.1	Scénario.....	21
VI.2	Facteurs contributifs	22
VI.2.1	Un site singulier.....	22
VI.2.2	Un environnement contraint	22
VI.2.3	Un produit très réactif.....	22
VI.2.4	Conditions non satisfaisantes pour atteindre une bonne qualité de brûlage	22
VI.2.5	Etape d'hydrolyse méritant d'être optimisée	23
VI.2.6	Process continu et forte pression pour résorber le passif.....	23

VI.2.7 Une recherche de solution bridée par les contraintes appliquées au site23

VII. Enseignements de sécurité..... 24

 VII.1 Les propriétés spécifiques des résidus de fabrication du sodium métallique.....24

 VII.2 La traçabilité est indispensable au retour d'expérience et à l'amélioration du process.....24

VIII. Recommandations de sécurité à destination de l'exploitant 25

Rapport d'enquête

Sur l'explosion survenue au sein d'un atelier sur un site exploité par la société MSSA à Saint-Marcel (73) le 10 septembre 2024

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 mardi 10 septembre 2024 vers 19h50, une explosion se produit au sein de l'atelier d'hydrolyse du site MSSA, situé sur la commune de Saint-Marcel (73). L'explosion produit un important nuage de fumée et fait voler la bâche d'évent située en toiture de la chambre d'hydrolyse.



Figure 1 : Vue de l'entrée de l'usine basse de MSSA

II.2 Le bilan de l'accident

L'incident n'a pas provoqué de blessures aux personnels présents sur le site.

L'atelier a été mis à l'arrêt le temps d'évaluer les dégâts et de procéder aux opérations de remise en état de la cellule d'hydrolyse.

II.3 Les mesures prises après l'accident

L'exploitant a réalisé ses constats sur place et effectué un rappel des consignes aux opérateurs sur le contrôle des résidus de fabrication à hydrolyser. Les installations ont été remises en état, la bache située au-dessus de la cellule d'hydrolyse a été remplacée et l'activité de l'atelier a repris le lendemain. Il est à noter que l'hydrolyse se déroule dans un bunker pouvant résister aux explosions, qui n'a pas été endommagé par cette explosion.

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 de l'ouverture d'une enquête technique.

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont donc rendus sur site le mardi 13 novembre 2024 afin de procéder à des investigations dans les installations impliquées, qui avaient été remises en fonctionnement dès le lendemain de l'évènement.

Des échanges, par visioconférence et en présentiel, ont également eu lieu avec des représentants de l'inspection des installations classées en Savoie et du Service Départemental d'Incendie et de Secours.

Les enquêteurs ont recueilli les témoignages et les déclarations des acteurs impliqués dans l'évènement et dans sa gestion. Ils ont eu, consécutivement à ces entretiens, communication des pièces et documents nécessaires à leur enquête.

III. Contextualisation

III.1 Historique de la société

En 1898, LA VOLTA crée une centrale hydraulique et une installation d'électrolyse chlore/soude à Pomblière-Saint-Marcel (73). En 1915, la société d'Electro-Chimie reprend LA VOLTA et installe la première usine de liquéfaction de chlore en France. L'usine commence en 1923 à produire du sodium métallique par électrolyse de la soude fondue, puis produira du sodium métal par électrolyse du chlorure de sodium fondu un peu plus tard, dans les années 1950. En 1966 a lieu la première livraison de sodium hautement purifié à l'industrie nucléaire française.

En 1971, la société d'Electro-Chimie fusionne avec le groupe PUK (Pechiney Ugine Kuhlmann), et quittera Pechiney en 1996 pour devenir MSSA ("Métaux Spéciaux S. A."), filiale d'Internationale Alkaline SAS. La capacité d'électrolyse du sodium est doublée en 2000 et MSSA, seul producteur de sodium en Europe, devient le premier producteur mondial de sodium métal.

En 2011, le groupe japonais NIPPON SODA (NISSO) acquiert Alkaline SAS. NIPPON SODA cède sa filiale Alkaline SAS en mars 2023, à un investisseur familial allemand ICIG (International Chemical Investors Group).

III.2 L'entreprise aujourd'hui

Aujourd'hui, MSSA, est un des rares producteurs de lithium et de sodium métal, et est unique en Europe et seul hors de Chine. Il est leader mondial sur le marché, et réalise un chiffre d'affaires de 100 M€ par an (90% de ce dernier est réalisé à l'exportation). Ces métaux sont vendus notamment dans les secteurs du nucléaire, de la pharmacie, de l'électronique, du bâtiment, des énergies solaires ou encore de l'aéronautique.

MSSA emploie 311 salariés localisés en Savoie et 10 localisés en Charente-Maritime.

Les effectifs sont en croissance, 50 personnes ont été recrutées en 10 ans.

III.3 Le site de Saint-Marcel

L'usine de Saint-Marcel est spécialisée dans la fabrication de sodium par électrolyse du chlorure de sodium, et produit également du lithium selon un procédé similaire à partir de chlorure de lithium. Elle est répartie sur deux sites distants géographiquement de 600 mètres et reliés par canalisations pour le transfert de produits.

L'usine basse possède 2 salles d'électrolyse pouvant mettre en service jusqu'à 92 cellules d'électrolyse. Du chlore gazeux est produit dans le cadre de cette activité, et transféré par canalisation, vers une unité de liquéfaction et de remplissage d'emballages (wagons, iso-conteneurs ou bouteilles) située au sein de l'usine haute.

L'établissement fonctionne en continu et le procédé ne peut être interrompu. En effet, au bout de quelques heures d'arrêt, il y a un risque élevé de perte définitive des cellules d'électrolyse par prise en masse de leur contenu.

Au titre des installations classées pour la protection de l'Environnement, MSSA est classé SEVESO Seuil Haut. Ce sont les substances sodium, lithium (substances qui réagissent violemment au contact de l'eau ou peuvent s'enflammer au contact de l'air), javel (substance dangereuse pour l'environnement aquatique) et chlore (substance toxique) qui lui confèrent ce classement. Le site relève également de la directive IED sur les émissions industrielles.

III.4 La production de sodium et les risques générés

Le sodium (Na) est un métal alcalin aux multiples applications :

- Industrie chimique : utilisé comme réactif pour la fabrication de peroxydes, de cyanure de sodium, et de divers composés organiques ;
- Métallurgie : sert à l'extraction de métaux comme le titane et le zirconium ;
- Secteur pharmaceutique : présent dans certains médicaments et solutions médicales ;
- Énergie : employé dans les batteries au sodium et les réacteurs nucléaires à refroidissement liquide ;
- Agroalimentaire : utilisé sous forme de sel de table (chlorure de sodium, NaCl) ou d'additifs alimentaires.

III.4.1 Fabrication du Sodium

Le sodium métallique est principalement obtenu par électrolyse du chlorure de sodium (NaCl) fondu : le NaCl est chauffé à haute température (~600°C) pour le rendre liquide, et un courant électrique sépare les ions sodium et chlorure, produisant du sodium métallique et du chlore gazeux.

III.4.2 Risques générés par le Sodium

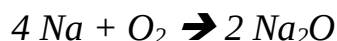
Le Sodium réagit violemment avec l'eau, produisant de l'hydrogène et pouvant causer des explosions. Il s'enflamme spontanément en présence d'air humide et en grande quantité, peut être toxique pour l'organisme et corrosif pour la peau.

III.4.3 Gestion des résidus de fabrication

Les résidus de fabrication contiennent principalement du sodium (Na), du calcium (Ca) et du chlore (Cl). Ils sont traités par brûlage puis hydrolyse ou par hydrolyse directe. Les produits à détruire sont transformés en chaux (Ca(OH)₂), en soude (NaOH), et en sel (chlorure de sodium - NaCl), puis évacués en solution aqueuse vers la station de traitement des effluents liquides.

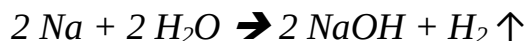
L'évènement présenté et analysé dans la suite du rapport fait appel aux réactions impliquant le sodium qui est le composé principalement ciblé pour l'élimination.

Le brûlage par oxydation à l'air fait intervenir la réaction suivante :



L'hydrolyse est une méthode utilisée pour éliminer le sodium métallique de manière contrôlée dans les résidus de fabrication. Les principales réactions chimiques de l'hydrolyse sont les suivantes :

Dans le cas d'une hydrolyse directe de résidu de sodium, celui-ci réagit avec l'eau pour former une solution basique (hydroxyde de sodium) lors d'une réaction exothermique. Un dégagement d'hydrogène a alors lieu, ce qui peut entraîner un risque d'inflammation ou d'explosion. La réaction est :



L'hydrolyse peut être aussi réalisée sur un résidu préalable brûlé. Dans l'hypothèse où l'étape de combustion a été parfaite, l'hydrolyse présente l'avantage de ne pas entraîner de dégagement d'hydrogène. La réaction est :



III.5 Étapes du process et installations intervenant dans le traitement des résidus de fabrication du sodium

Les étapes de récupération et traitement des résidus de fabrication impliqués dans l'accident du 10 septembre 2024 sont les suivantes (cf. Figure 2) :

1. Soutirage du résidu en fond de filtre et pressage du résidu en culots de 3 kilos environ. Les filtres fonctionnent en continu, le soutirage des résidus étant pour sa part une opération ponctuelle réalisée à intervalles réguliers ;
2. Tri manuel des culots en fonction de leur forme et couleur ;
- 3.A.1 Les culots fissurés ou dont la coloration n'est pas celle attendue sont mis en bennes (dénommées « gamates ») pour une étape de brûlage préalable à l'hydrolyse ;
- 3.A.2 Les culots mis en benne sont brûlés, refroidis (au minimum 16 heures) ;
- 3.A.3 Les culots brûlés sont concassés puis reconditionnés en benne ou en bétonnière en vue de leur hydrolyse ;
- 3.B Les culots intacts sont mis en paniers par 15 ;
4. Les paniers, les bennes ou les bétonnières sont placés dans la cellule pour hydrolyse ;
5. Le résidu de l'hydrolyse est envoyé à la station de traitement des effluents liquides avant rejet.

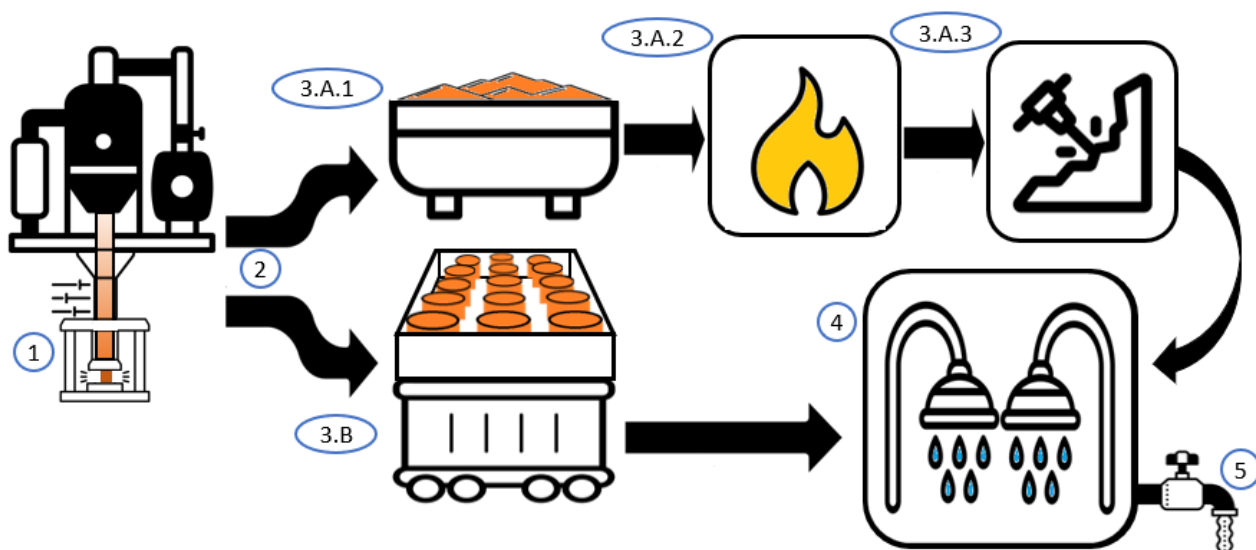


Figure 2 : Process de traitement des résidus

IV. Déroulement de l'évènement

IV.1 Déclenchement de l'évènement

Le vendredi 10 septembre 2024, à 19h54, juste avant le changement de poste, une explosion se produit dans l'atelier d'hydrolyse avec un fort dégagement de fumées. Des riverains alertent immédiatement les sapeurs-pompiers. En parallèle, le cadre d'astreinte se rend sur place.

Au sein du site, le personnel de l'atelier a attendu que la réaction chimique s'atténue, pour sortir les résidus en cours de traitement, puis a appelé l'astreinte mécanique pour remplacer les pièces endommagées (bâche de toit de la cellule hydrolyse). Il existe une procédure permettant de gérer ce type d'évènement qui est connu sur le site. Le personnel est donc habitué à gérer la situation quand elle se produit.

IV.2 L'intervention des secours publics

Les sapeurs-pompiers seront prévenus par un riverain ayant aperçu le nuage de fumée provoqué par l'incident. Après prise de contact avec l'industriel, les sapeurs-pompiers n'engageront pas de moyens opérationnels sur le site.

V. Compte-rendu des investigations menées

V.1 Reconnaissance de terrain

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur le site le 13 novembre 2024, après avoir échangé avec l'inspection des installations classées de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes et le service départemental d'incendie et de secours de la Savoie.

La visite de terrain a permis de visualiser les installations impliquées dans la séquence accidentelle et de comprendre le fonctionnement de ces dernières. Les enquêteurs ont conduit différents entretiens avec plusieurs entités concernées directement ou indirectement par l'accident. Sans reprendre dans le détail l'ensemble des constatations dressées, les enquêteurs retiennent les éléments marquants suivants.

V.1.1 Les installations de traitement des résidus du process de fabrication du sodium

Au niveau du soutirage du résidu, une automatisation du process est en cours de déploiement. Certains filtres sont déjà équipés de systèmes permettant de racler et soutirer les résidus de manière automatique, alors que pour d'autres, cette étape est toujours réalisée manuellement. Le process est en cours de réglage pour les filtres déjà modernisés.

Toutefois, il n'existe pas de traçabilité permettant de relier les culots traités dans un batch¹ d'hydrolyse à leur cellule d'électrolyse d'origine et donc au type de soutirage subi.

Le tri des culots est réalisé manuellement par les opérateurs. Les critères de tri sont : la coloration (représentative de la concentration en sodium des culots) et la forme ou présence de fissures (qui ne doivent pas conduire à une infiltration ou une rétention d'eau pendant l'hydrolyse). Les culots ayant la bonne coloration et qui ne sont pas cassés / fissurés sont mis en paniers pour une hydrolyse directe, les autres sont mis dans des bennes pour être préalablement brûlés. Cette étape de tri repose sur l'expérience des opérateurs. Une séquence de brûlage comme d'hydrolyse dure plusieurs heures.

¹ Un batch est un traitement par lot ou pour un volume déterminé.



Figure 3 : culots en attente de tri dans une gamate

Figure 4 : panier d'hydrolyse en attente de chargement avec des culots intègres



Figure 5 : panier d'hydrolyse chargé

Les opérateurs ont à leur disposition dans l'atelier de la poudre de carbonate de sodium qu'ils répandent sur les résidus qui apparaissent réactifs pour éviter un emballement de réaction.

Les paniers d'hydrolyse sont percés de nombreux trous sur toute leur surface pour permettre un écoulement de l'eau lors de l'étape d'hydrolyse. Certains paniers montrent des déformations importantes au niveau du fond du panier. L'exploitant indique qu'ils sont réparés ou remplacés lorsque les déformations deviennent trop importantes.

Pour l'étape de brûlage, qui ne concerne qu'une partie des résidus, deux fours fonctionnent en parallèle. L'atelier fonctionne en 2x8. Pendant l'opération de brûlage, l'opérateur mélange manuellement le contenu de la gamate pour obtenir un mélange homogène. Cette opération est réalisée à l'aide d'une canne manipulée au travers d'un bouclier thermique. L'opération de brûlage fait réagir le sodium métallique avec l'oxygène de l'air pour obtenir un oxyde de sodium dont l'hydrolyse sera moins réactive (pas d'émission d' H_2).



Figure 6 : étape de brûlage

L'opération manuelle de mélange pendant le brûlage peut conduire à laisser des amas non oxydés qui pourront rester réactifs pendant l'hydrolyse. Un contrôle visuel des résidus après brûlage, puis refroidissement, est donc réalisé lors de l'étape de concassage et de reconditionnement en gamate ou en bétonnière, qui précède l'envoi à l'hydrolyse. Le concassage est réalisé dans un abri situé en dehors de l'atelier, à l'aide d'un brise roche. Cette étape génère donc des mouvements de matière sur le site.

L'étape d'hydrolyse se déroule dans une cellule, ou bunker, qui fonctionne, elle, en 3x8. Les paniers de culots ou les résidus préalablement passés au brûlage, reconditionnés en gamate ou en bétonnière, sont positionnés sous deux rampes d'aspersion d'eau dans un bunker.

Le processus est suivi par un opérateur depuis une salle de commande où sont reportées : la température des fumées, leur vitesse et le débit de l'eau pulvérisée sur les résidus. Un hublot placé sur le côté du bunker permet également un contrôle visuel de l'intérieur de la cellule d'hydrolyse.

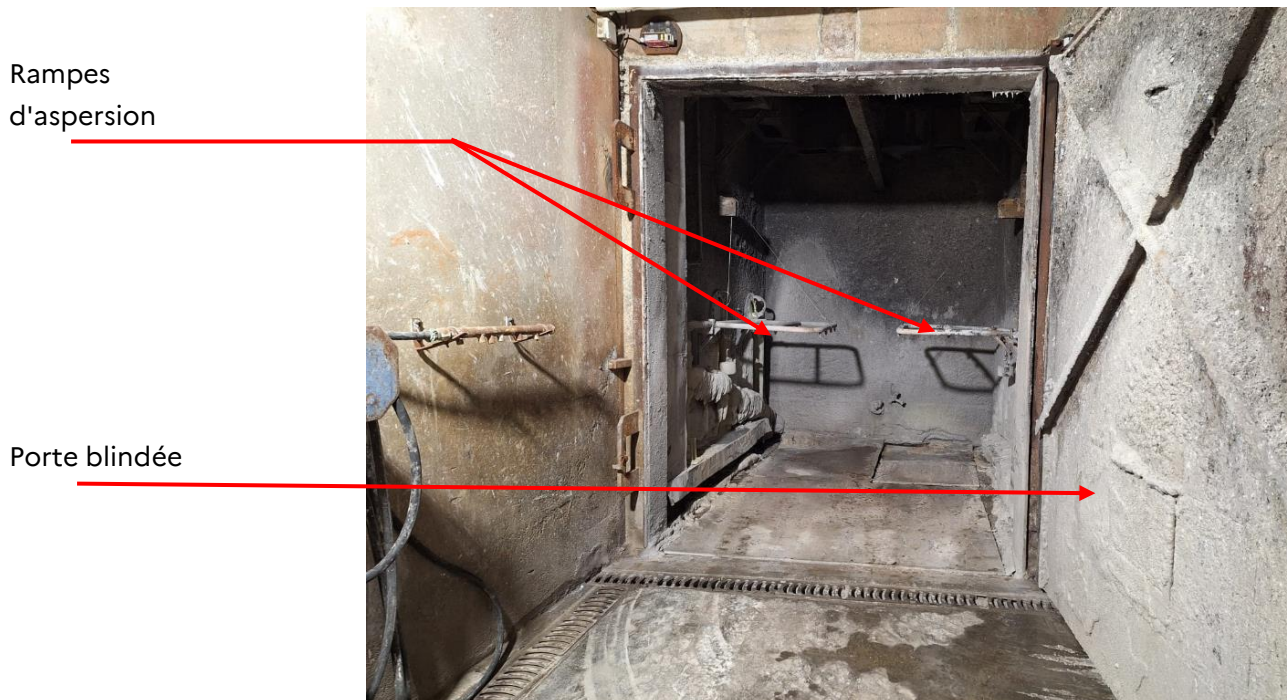


Figure 7 : Cellule d'hydrolyse

Le débit d'eau aspergé est augmenté progressivement. Les opérateurs peuvent utiliser un mode automatique de franchissement des paliers de débit d'eau programmé et intervenir en cas de besoin, ou effectuer la procédure manuellement. Dans les deux cas, le débit peut être ajusté en fonction de la réactivité des résidus perçue par l'augmentation de la température des fumées ou par le bruit des réactions chimiques. Par défaut, l'aspersion d'eau est asservie à plusieurs paramètres, liés aux températures interne et externe au bunker, déclenchant une coupure de l'aspersion en cas de dépassement.

Le toit de l'enceinte est constitué d'une bâche permettant d'évacuer la pression en cas d'explosion et de deux ventilateurs qui aspirent les fumées de l'hydrolyse vers l'unité de traitement des fumées. La bâche fait office d'évent lorsqu'une quantité trop importante de sodium entre en contact avec de l'eau et qu'une libération trop importante d'hydrogène gazeux conduit à une explosion.

V.1.2 Exigüité du site et gestion des emplacements de stockage

La localisation du site, encaissé dans une vallée à proximité immédiate de la voie ferrée et de la route, et son ancienneté, complexifient ses possibilités d'extension. Les nouveaux équipements à mettre en place ou les installations à rénover doivent s'intégrer au sein des implantations existantes. Que ce soit dans l'atelier même ou sur d'autres parties du site, les zones de stockages de produits ne sont pas clairement délimitées et marquées en lien avec les risques des produits présents. A titre d'exemple, au

sein de l'atelier d'hydrolyse, les gamates à brûler de retour du concassage, ou en attente d'hydrolyse doivent cohabiter avec le va-et-vient des engins de manutention.

Une seconde alcôve de brûlage des résidus a néanmoins pu être installée au sein des installations de traitement et a ainsi permis une augmentation de la capacité de traitement nécessaire à la résorption du stock et a apporté de la résilience pour le traitement du flux de résidu.

V.2 Analyse des documents et entretiens

V.2.1 Une importante accidentologie sur le site

Le service départemental d'incendie et de secours a relevé 49 événements sur ce site dans l'année qui a précédé l'évènement du 10 septembre 2024 dont 20 en lien avec les produits fabriqués sur le site (sodium, chlore, lithium). Parmi ces 20 événements, 10 sont liés au Sodium.

L'accidentologie (accidents du travail ou interventions des sapeurs-pompiers) est importante sur le site.

Depuis 2021, suite à un accident au sein de l'atelier d'hydrolyse du sodium, qui a eu un impact important à l'extérieur du site (dépôts corrosifs), tous les événements accidentels sont recensés et l'information est transmise à la DREAL, pour l'activité d'hydrolyse, lorsque la bâche fait office d'évent. Les résultats sont les suivants :

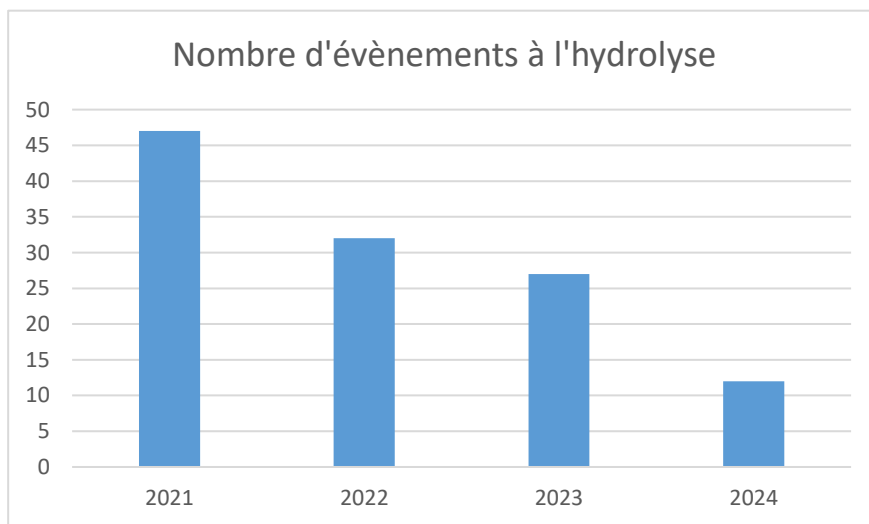


Figure 8 : évolution de l'accidentologie sur l'hydrolyse depuis 2021 (suivi réalisé par le site)

Le nombre d'événement a fortement baissé depuis 2021 notamment avec un plan d'actions prévoyant une optimisation des paramètres de traitement mais reste néanmoins encore significatif aujourd'hui avec en moyenne un événement par mois. En lien avec ce suivi, les événements les plus significatifs

sont systématiquement suivis d'un RETEX interne avec recherche des causes et de mesures à mettre en place afin de faire diminuer cette accidentologie.

V.2.2 Un important passif à résorber

Au fil des années, l'exploitant a accumulé un important stock de résidus d'électrolyse, qu'il s'est engagé à résorber.

Pour répondre à cet engagement, des aménagements ont été réalisés pour permettre le traitement d'un volume de déchets supérieur à celui produit par la production courante du site. Le site est actuellement en capacité de traiter un volume correspondant à deux fois celui du flux produit pour les résidus de sodium, ce qui lui permet de résorber une partie de son passif. Il lui faudra néanmoins à ce rythme encore plusieurs années pour parvenir à totalement traiter les déchets anciens entreposés sur le site.

V.2.3 Un manque de données sur la traçabilité du traitement des résidus

Les opérateurs disposent de formulaires à renseigner pendant leur poste au traitement des résidus.

Un premier formulaire, intitulé "Feuille de poste Kaizen", rappelle en en-tête l'objectif Kaizen : "traiter tout le stock historique de résidus". Ce formulaire, renseigné par les opérateurs permet de suivre, sur le plan d'un bilan quantitatif, les volumes traités par type de conditionnement (paniers de culots, gamate, bétonnière).

Un second formulaire, intitulé "Enregistrement - Feuille de poste – traitement des résidus", comprend deux parties :

- Informations sur les activités du poste : cette partie n'est pas remplie, elle reprend certaines informations qui feraient doublon avec la feuille de poste Kaizen, mais elle permettrait aussi de renseigner la provenance des déchets traités, qui n'est donc pas suivi ;
- Relevé des paramètres (températures, débits, pressions) : cette partie est intégralement remplie heure par heure.

Figure 9 : première partie du formulaire Enregistrement - Feuille de poste – traitement des résidus – non renseignée par les opérateurs

Matin 4H / 12H	Nom de l'opérateur :
1-Consigne du Chef de poste	
2-Brûlage	
Origine des résidus brûlés :	
Quantité des résidus brûlés :	
N° Récepteur :	
Origine ou référence des crêpines des fûts brûlés :	
Origine des culots brûlés :	
N° des fûts :	
3-Hydrolyse	
Horaire de début :	
Horaire de fin :	
Origines des résidus hydrolysés :	
Quantité des résidus hydrolysés :	
Origine des culots hydrolysés :	
N° des fûts :	
4-Autres travaux réalisés et/ ou incidents	
5-Signature de l'opérateur	Signature du Chef de poste

V.2.4 Des évolutions de process en cours ou envisagées

Au-delà de l'ajout d'une deuxième cellule pour réaliser le brûlage qui a déjà été mise en place, d'autres évolutions sont en cours de déploiement ou d'étude.

La première concerne les filtres pour lesquels une automatisation du process est en cours de déploiement. Certains filtres sont déjà équipés de systèmes permettant de racler et soutirer les résidus de manière automatique. Selon l'exploitant, cette automatisation peut permettre d'améliorer la qualité des culots de résidus. Toutefois, il n'a pas été en mesure de déterminer si les culots ayant conduits à l'explosion du 10 septembre venaient d'un filtre automatisé ou non. D'une manière générale, l'exploitant ne tient pas d'indicateur de ce type. Cette donnée serait profitable aux réglages restants à ajuster sur les installations en cours de mise en place et pour apprécier si l'automatisation du raclage des filtres est de nature à avoir un impact sur la sécurité du processus d'hydrolyse.

La seconde concerne l'étape de brûlage pour laquelle un mélange du bac est réalisé manuellement pendant l'opération. Celle-ci relève d'un travail pénible pour l'opérateur, mais indispensable pour obtenir un résidu uniformément oxydé. Les défauts de mélange peuvent conduire à des amas résiduels très réactifs et susceptibles de générer des explosions s'ils ne sont pas détectés (contrôle visuel dont le taux de fiabilité reste limité) avant l'étape d'hydrolyse. Une réflexion est en cours pour automatiser ce processus de mélange.

V.2.5 Les courbes des enregistrements du jour de l'évènement

L'enregistrement présenté sur la figure 10 retrace les batchs d'hydrolyse réalisés le jour de l'évènement :

- De 09h10 à 14h26 : hydrolyse de deux gamates, sans évènement significatif relevé, changement d'opérateur à 12h00 (relève de poste) ;
- De 15h03 à 18h06 : hydrolyse de 4 bétonnières, sans évènement significatif relevé ;
- 18h39, démarrage d'un batch d'hydrolyse de deux paniers de 15 culots chacun.

Au moment de l'évènement, le batch était initié depuis une heure environ et le débit d'eau était à son niveau minimal. Les courbes des paramètres instrumentés (température des fumées, et vitesse d'éjection) ne montrent pas de dérive ou de valeur anormale préalablement à l'explosion. Aucune mention n'est reportée sur la fiche de poste relativement à une particularité qu'aurait pu relever l'opérateur avant l'évènement.

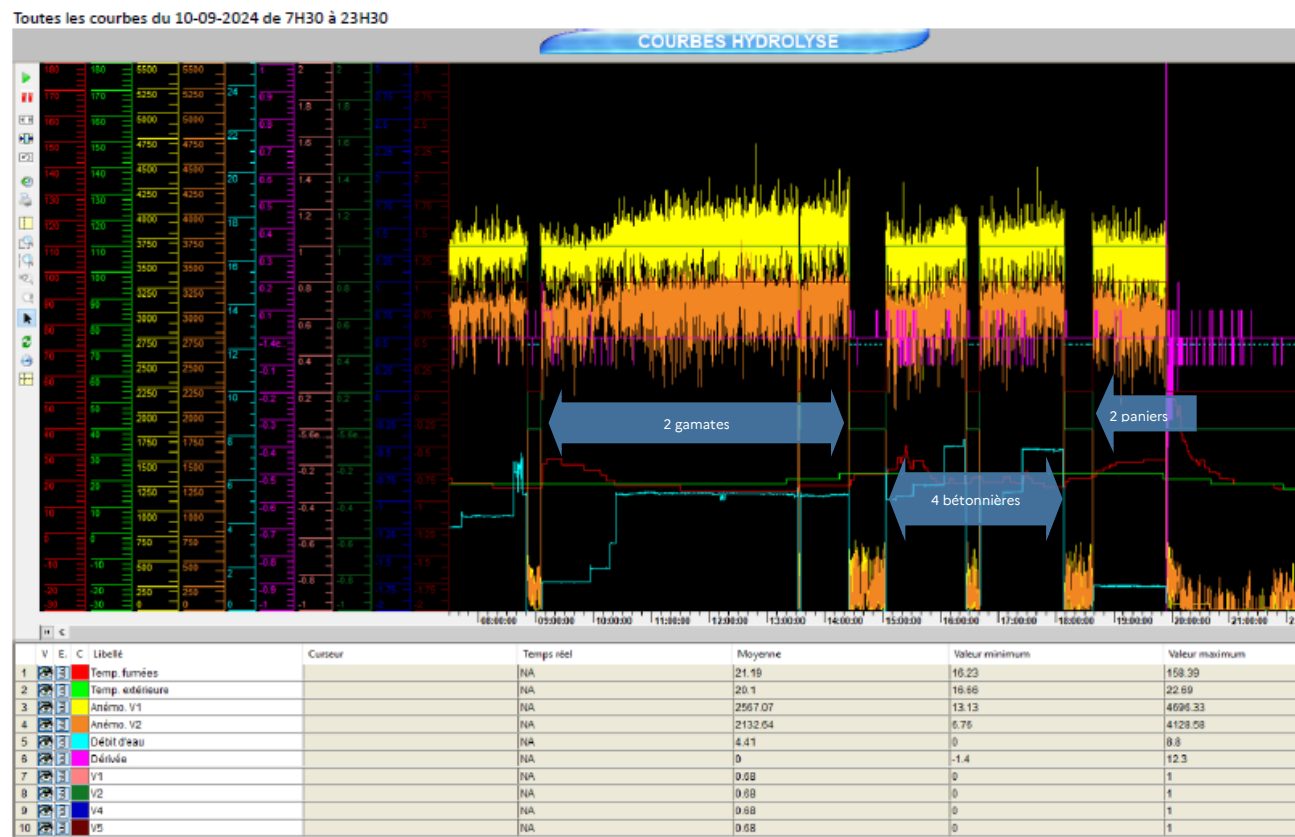


Figure 10 : Courbes relevées au niveau de la cellule d'hydrolyse le jour de l'évènement

VI. Conclusions sur le scénario de l'évènement

VI.1 Scénario

Le vendredi 10 septembre 2024, après l'hydrolyse de 4 bétonnières réalisée sans difficulté reportée sur la fiche de poste, l'opérateur introduit dans la cellule 2 paniers de 15 culots de résidus chacun et débute l'opération d'hydrolyse à 18h39.

À 19h54, juste avant le changement de poste, 75 min après le début de l'opération et alors que le débit d'eau est toujours sur son palier le plus bas, une explosion a lieu dans le bunker d'hydrolyse.

En l'absence d'information relevée sur la fiche de poste ou d'observation possible du matériel utilisé, l'évènement peut être lié à différentes causes qu'il ne sera pas possible de discriminer :

- Formulation du résidu trop concentrée ou inhomogène ;
- Culot fissuré ou endommagé ;
- Utilisation d'un panier déformé conduisant à un mauvais écoulement de l'eau ;
- Bouchage partiel des buses d'aspersion conduisant à un jet ponctuel concentré ou mal orienté.

L'explosion souffle la bâche retenant les gaz avant leur évacuation vers les installations de traitement des fumées et un fort dégagement de fumées est visible hors du site.

L'aspersion d'eau est automatiquement coupée. Les opérateurs informent le cadre d'astreinte qui les rejoint sur place et attendent la fin de la réaction dans le bunker (la température des fumées revient à l'équilibre avec l'air extérieur au bout d'une heure).

Le remplacement de la bâche et le nettoyage de l'installation sont réalisés au plus tôt, entre 21h00 et 23h00.

L'évènement est géré en interne au site (analyse de l'évènement et remise en état des installations), et l'installation est remise en service le lendemain de l'évènement.

VI.2 Facteurs contributifs

Pour rappel, les facteurs contributifs sont des éléments qui, sans être déterminants, ont pu jouer un rôle dans la survenance, l'atténuation ou l'aggravation de l'accident.

VI.2.1 Un site singulier

Le site MSSA de Pomblière est un site unique considéré comme une référence pour les travaux en lien avec le sodium et le lithium métallique. Par contre, cette situation ne lui permet pas de s'appuyer sur des référentiels professionnels, une offre de machine-outil adaptée, un réseau professionnel de pairs avec lesquels partager du retour d'expérience ou faire du benchmarking.

VI.2.2 Un environnement contraint

Le site est ancien, et installé dans un environnement très contraint. Ces deux aspects impactent ses possibilités d'évolution et de modernisation par manque de place.

VI.2.3 Un produit très réactif

Les résidus de process traités au sein de l'atelier d'hydrolyse sont très réactifs notamment au contact de l'eau. Cette réactivité est non seulement inhérente aux caractéristiques chimiques de ses constituants mais dépend aussi des aléas de process et du traitement subi.

VI.2.4 Conditions non satisfaisantes pour atteindre une bonne qualité de brûlage

Certains résidus sont orientés vers une étape préliminaire de brûlage avant celle d'hydrolyse pour diminuer leur réactivité. Les critères de tri sont peu précis et l'évaluation dépend fortement de l'expérience et du savoir-faire des opérateurs.

En complément, les caractéristiques de l'opération de brûlage sont elles aussi peu documentées en ce qui concerne la quantité de produit à introduire, la température à maintenir, le maintien d'un apport d'oxygène suffisant, la durée de brûlage, les caractéristiques de malaxage, la durée de refroidissement, le détail du contrôle après brûlage.

VI.2.5 Etape d'hydrolyse méritant d'être optimisée

Le matériel utilisé (buses, paniers, gamates), son positionnement dans l'atelier, la structure permettant de supporter les explosions, l'automatisation du process ainsi que les conditions d'injection d'eau (brouillard, jet, débit, temporisation, quantité maximum de produit à traiter) sont la résultante d'une stratégie d'élimination retenue au démarrage de l'installation qui ne permet pas d'écarter complètement le risque d'explosion en dépit des efforts produits par l'exploitant en ce sens.

VI.2.6 Process continu et forte pression pour résorber le passif

Sous le coup de sanctions administratives l'exploitant a engagé une action de résorption de son stock de déchets (dont les déchets issus de la fabrication du sodium). Cette résorption se fait dans les mêmes installations que celles qui traitent le flux classique. La pression est donc forte pour l'utilisation à plein des capacités de brûlage et d'hydrolyse des résidus de sodium, et les efforts sont concentrés sur cet objectif.

Certains procédés pourraient être améliorés voire automatisés afin de limiter la survenance d'événements indésirables et la pénibilité des tâches. Cependant, les installations devant fonctionner sans interruption (process de production en continu, donc production de résidus en continu) et les effectifs étant limités, ces innovations sont longues voire difficiles à réaliser.

VI.2.7 Une recherche de solution bridée par les contraintes appliquées au site

De nombreux freins sont mis en avant pour expliquer le peu de solutions alternatives développées et les délais de mise en œuvre de celles décidées :

- Impossibilité d'interrompre le process de fabrication ;
- Priorité mise à la résorption du stock de déchets historiques ;
- Ancienneté et unicité du site ;
- Spécificités du produit

Ces freins conduisent les personnels et leur hiérarchie à manifester une tolérance implicite face à cette situation, bien que chacun reconnaisse que la situation n'est pas satisfaisante au regard des chiffres de l'accidentologie du site et que des plans d'actions continuent à être mis en œuvre.

VII. Enseignements de sécurité

VII.1 Les propriétés spécifiques des résidus de fabrication du sodium métallique

Les résidus de sodium métalliques sont très réactifs. Il n'apparaît donc pas opportun de les transporter hors du site pour les traiter ailleurs et un traitement en flux continu au plus près et au plus tôt après leur soutirage est une bonne pratique. Par ailleurs, il convient de noter qu'il n'existe pas de centre de traitement de déchets agréés possédant des installations capables de traiter ce type de déchet.

Le brûlage préalable des résidus permet de réduire leur réactivité à la condition de pouvoir réaliser un brûlage suffisant et bien homogène.

Le processus d'hydrolyse seul doit être réservé à des résidus répondant à des caractéristiques précises en termes de :

- Composition : pas de concentration d'amas de sodium métallique ;
- Géométrie : elle ne doit pas permettre à l'eau de stagner ou de se piéger dans des fissures pouvant générer la formation de poches d' H_2 dont l'évacuation ne serait pas suffisante.

VII.2 La traçabilité est indispensable au retour d'expérience et à l'amélioration du process

Une traçabilité complète du cycle de production des résidus jusqu'à leur élimination permettrait d'identifier des schémas accidentogènes récurrents ou des points faibles dans le processus et ainsi d'initier des plans d'actions intégrant toutes les étapes depuis le soutirage du résidu jusqu'à la fin du processus de traitement.

Les données recueillies peuvent ainsi permettre d'appuyer la mise en œuvre d'actions dans différents domaines :

- Modification des matériels et protocoles opérationnels ;
- Ajustement des réglages et plages de fonctionnement ;
- Formation des opérateurs ;
- Maintenance préventive.

VIII. Recommandations de sécurité à destination de l'exploitant

Le BEA-RI émet les recommandations suivantes à l'exploitant :

- Mettre en place une traçabilité plus complète du traitement des résidus de fabrication permettant d'identifier des schémas accidentogènes récurrents ou des points faibles dans le processus, notamment en :
 - o identifiant les déchets à toute étape du processus de traitement (entreposage, brûlage, concassage, hydrolyse), en lien avec leur provenance (et donc potentiellement leur réactivité) et le traitement qui doit leur être appliqué ;
 - o traçant précisément le déroulement de chaque poste au brûlage comme à l'hydrolyse, en enregistrant notamment les caractéristiques des résidus traités, les difficultés rencontrées et les actions mises en œuvre ;
- Fiabiliser les pratiques actuelles (en associant les opérateurs), notamment les sujets suivants :
 - o Sur le brûlage et le concassage : préciser les durées de brûlages (en préconisant des durées minimales), les quantités maximales à traiter par opération, les durées de malaxage, les contrôles à réaliser à l'issue de l'opération pendant le concassage pour valider l'efficacité de l'opération et modalités de gestion des non conformités ;
 - o Sur l'hydrolyse : Améliorer la surveillance des opérations en renforçant la métrologie (par exemple : détecteur de gaz, capteur de température, caméra thermique), préciser les temporisations et les plages d'utilisation (paramètres à suivre, valeurs limites et actions associées) ;
 - o Sur la maintenance préventive des postes "brûlage" et "hydrolyse" : préciser le programme de maintenance visant à en garantir le bon fonctionnement dans le temps (entretien des équipements d'injection d'eau, des extractions d'air, des conditionnements utilisés).
- Lancer un programme de recherche et développement, pouvant associer des partenaires externes (université, entreprises spécialisées dans l'élimination des déchets dangereux, ...), pour réinterroger les pratiques actuelles dans l'optique de trouver des solutions plus sûres)
 - o réexaminer le processus de soutirage sous deux angles : la possibilité de mettre en place un traitement des résidus en mode continu, la recherche d'un format optimum des résidus à hydrolyser (taille, géométrie) ;
 - o poursuivre le projet d'automatisation de l'étape de brûlage ;
 - o engager une réflexion sur les équipements mis en œuvre dans l'étape d'hydrolyse et son automatisation dans le but de mieux maîtriser l'émission de H₂.
- S'assurer que les moyens humains et matériels sont suffisants pour que toutes les étapes du processus (tri, brûlage, concassage, vérification, et hydrolyse) puissent être mises en œuvre dans de bonnes conditions de sécurité y compris en période de résorption du passif. Cette analyse pourra intégrer la composition des équipes de travail, l'organisation des postes et les

équipements de protection individuels dont les opérateurs doivent s'équiper, ainsi que leur formation (risques inhérents aux produits et process, compréhension des modes opératoires, pilotage et analyse critique du fonctionnement des installations, et gestion des situations incidentelles et accidentelles) ;

- Réaliser un audit externe de sécurité industrielle du site, afin d'identifier et hiérarchiser les axes d'amélioration. Cet audit pourrait en particulier traiter des aspects suivants :
 - o prévention des risques d'incendie et d'explosion ;
 - o résilience du site face à des situations dégradées ;
 - o interface homme / machine sur les différents postes de travail ;
 - o gestion des interventions ;
 - o culture de sécurité.



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

MATTE / IGEDD / BEA-RI
Tour Séquoïa
92055 La Défense Cedex

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

<https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/bea-ri-r549.html>