RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

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

BEA-RI Risques industriels

Rapport d'enquête

Sur l'incendie survenu au sein du site exploité par SOPAVE à Viviez (12) le 17 février 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'incendie survenu au sein du site exploité par SOPAVE à Viviez (12) le 17 février 2024
N° : MTE-BEARI-2025-005
Date du rapport : 16/05/2025
Proposition de mots-clés : incendie, batteries au lithium, stockage de batteries usagées, emballement thermique

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 samedi 17 février 2024 à 13h59, alors qu'aucun salarié n'est présent au sein du site SOPAVE de Viviez (12), l'alarme incendie se déclenche. L'opérateur d'astreinte se rend sur le site pour une levée de doute, et constate un incendie dans le bâtiment B2 au niveau de caisses de stockage de petites batteries grand public. Les services d'incendie et de secours sont appelés à 14h18, ils arriveront sur site à 14h33. Les sapeurs-pompiers quitteront le site SOPAVE le jeudi 22 février à 14h.

Au vu des circonstances et du contexte de l'accident, le directeur du BEA-RI a décidé le 21 février 2024 de l'ouverture d'une enquête. Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur le site le 27 février 2024. Ils ont recueilli les témoignages des acteurs impliqués dans l'évènement et dans sa gestion et ont eu communication des pièces et documents nécessaires à leur enquête.

L'analyse des enregistrements effectués par la vidéo surveillance a rapidement permis de considérer que la cause la plus vraisemblable de l'incendie était l'emballement thermique d'un accumulateur portable stocké en contenant plastique. Mais l'importance de l'incendie ne permettra pas d'investiguer ou de déterminer la cause de cet emballement thermique. Le BEA-RI a par contre souhaité investiguer l'impact du mode de stockage de ce type de batterie sur la propagation d'un incendie. Le BEA-RI a alors sollicité l'appui de l'INERIS pour réaliser des essais et apporter des éléments d'information quant à un mode de stockage qui permettrait de diminuer le risque de propagation d'un incendie initié par l'emballement thermique d'une batterie entreposée. Trois configurations ont été testées :

- Batteries d'électromobilité Li-Ion stockées en PALOX[1] ;
- Batteries d'électromobilité Li-Ion stockées en fûts métalliques ;
- Batteries d'électromobilité Li-Ion stockées en fûts métalliques avec sprinklage.

Les conclusions principales de ces essais sont que le contenant de type PALOX plastique a un impact négatif sur la vitesse de développement du feu. En effet, il est lui-même composé de matière combustible prenant feu relativement rapidement. Sa propre combustion apporte ainsi lors de la phase de naissance du feu de la chaleur supplémentaire (contribuant à la propagation de l'emballement thermique de batterie en batterie) et un passage d'air vers l'intérieur du conteneur, permettant un apport d'oxygène vers les batteries, alimentant ainsi les réactions de combustion à l'intérieur du contenant. Il a également un impact négatif sur l'intensité du feu. Le pouvoir calorifique du polyéthylène est très élevé. Il a tendance à fondre et à s'étaler sur le sol, favorisant l'apparition d'un feu de nappe sur une surface supérieure à celle du PALOX d'origine, et donc des puissances thermiques qui s'en trouvent augmentées. Le contenant de type métallique a lui permis lors des essais de ralentir sensiblement voire de stopper la propagation de l'emballement thermique des batteries, et de diminuer l'intensité des effets thermiques mesurés.

Dans le cadre de cette enquête, le BEA-RI émet des enseignements de sécurité relatifs à la nécessité de réduire les délais de détection et d'intervention des incendies sur les sites de stockage de batteries de type Li-Ion, ainsi qu'aux moyens d'extinction à employer et aux modes de stockage de ce type de batteries.

[1] Contenant plastique de dimensions 1*1,2*0,8m fermé par un couvercle plastique.

Puis, le BEA-RI émet les recommandations suivantes à l'attention de l'exploitant:

- **Équiper ses installations de stockage de batteries d'un système de détection incendie permettant de détecter au plus tôt la présence de fumées puis de flammes au-dessus d'un stockage de batteries ;**
- **Accélérer la procédure de levée de doute et améliorer la gestion de l'alerte en cas de détection incendie ;**
- **Adopter une organisation permettant d'intervenir dans les premiers instants sur le départ d'incendie (personnels formés, moyens d'intervention opérationnels et moyens de protection adaptés) ;**
- **Réévaluer et adapter si nécessaire les besoins en eau d'extinction d'un feu de batteries et les capacités de confinement de ces eaux ;**
- **Décharger au maximum les batteries de véhicule électrique avant stockage (si possible en amont du transport) ;**
- **Stocker les batteries de type « consumer market » en fûts métalliques ;**
- **Limiter la durée de stockage des batteries ;**
- **Réexaminer les modalités de stockage (en hauteur et en superficie) au regard de la stratégie incendie retenue et de son efficacité.**

Et émet la recommandation suivante à l'autorité réglementaire : dans un contexte d'électrification des usages et des mobilités, faire évoluer la réglementation pour mieux encadrer l'implantation, les dispositions constructives, l'exploitation et la gestion en cas d'accident, des sites de stockage des batteries neuves ou usagées en fonction des typologies de batteries et compte-tenu notamment des enseignements techniques tirés de la présente enquête.

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 8
II.3 Les mesures prises après l'accident 8
II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête 8

III. Contextualisation 9

III.1 Établissements SNAM et SOPAVE à Viviez (12) 9
III.2 Entrepôt de stockage de batteries 10
III.3 Facteurs influençant la réaction des batteries Li-ion 12

IV. Compte-rendu des investigations menées 13

IV.1 Reconnaissance de terrain 13
IV.2 Investigations complémentaires 13
IV.2.1 Essai dans la configuration n°1 14
IV.2.2 Essai dans la configuration n°2 15
IV.2.3 Essai dans la configuration n°3 16
IV.2.4 Conclusions sur les essais réalisés 17

V. Déroulement de l'évènement 20

V.1 Chronologie de l'évènement 20

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement 23

VI.1 Scénario 23
VI.2 Facteurs contributifs 24
VI.2.1 Sensibilité à l'emballement thermique des batteries Li-Ion 24
VI.2.2 Mode de stockage des batteries 25
VI.2.3 Organisation du stockage des batteries 25
VI.2.4 Dispositifs de désenfumage 25
VI.2.5 Cinétique de la détection de l'incendie 25
VI.2.6 Cinétique de l'intervention 26
VI.2.7 Moyens d'intervention 26

VII. Enseignements de sécurité 26

VII.1 Délai d'intervention 26
VII.2 Moyens d'extinction 26
VII.3 Mode de stockage 27
VII.4 L'emballement thermique : un incontournable de l'évaluation des risques 27

VIII. Recommandations de sécurité 27

VIII.1 Recommandations de sécurité à l'attention de l'exploitant du site 27
VIII.2 Recommandation de sécurité à l'attention de l'autorité réglementaire 28

IX. Annexe 29

Annexe 1 Rapport INERIS 30

Rapport d'enquête

Sur l'incendie survenu au sein du site exploité par SOPAVE à Viviez (12) le 17 février 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 samedi 17 février 2024, à 13h59 alors qu'aucun salarié n'est présent au sein du site SOPAVE de Viviez (12), l'alarme incendie se déclenche. L'opérateur d'astreinte se rend sur le site pour une levée de doute, et constate un incendie dans le bâtiment B2 au niveau de caisses de stockage de petites batteries grand public issues de collectes ménagères. Les services d'incendie et de secours sont appelés à 14h18, ils arriveront sur site à 14h33. Les sapeurs-pompiers quitteront le site SOPAVE le jeudi 22 février à 14h.

Figure n°1 : vue aérienne du site SOPAVE et désignation de l'installation impactée par l'incendie (bâtiment B2) - (crédit SOPAVE)

II.2 Le bilan de l'accident

Sur le plan humain, l'incendie n'a causé aucun blessé grave, seul un des salariés intervenus pour la levée de doute a été incommodé par les fumées de l'incendie.

Les dégâts matériels ont été limités au bâtiment B2 entièrement détruit. Il n'y a pas eu de dommages sur les autres installations de SOPAVE ou sur des installations tierces.

Des mesures de prélèvement d'urgence ont été mises en œuvre par l'exploitant afin de déterminer les impacts sur la qualité de l'air à proximité du site. Des campagnes de mesures tout au long du sinistre ont également été réalisées par les sapeurs-pompiers dont les résultats ont été publiés sur le site Internet de la préfecture de l'Aveyron.

La totalité des eaux d'extinction a été récupérée via le bassin de décantation du site puis redirigée vers des lagunes situées à l'ouest du site.

Figure n°2 : photographie du bâtiment (B2) impacté par l'incendie - (crédit DREAL)

II.3 Les mesures prises après l'accident

À la suite de l'accident, l'entrepôt a été sécurisé et maintenu en l'état dans l'attente des différentes investigations.

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 le 21 février 2024 de l'ouverture d'une enquête.

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur place le 27 février 2024. Ils ont rencontré les représentants de la société SOPAVE ainsi que l'inspection des installations classées, et un représentant du service départemental d'incendie et de secours de l'Aveyron.

Ils ont recueilli les témoignages 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 Établissements SNAM et SOPAVE à Viviez (12)

La société SNAM, établissement SEVESO, exploite une unité de traitement de déchets provenant d'accumulateurs Nickel-Cadmium ainsi qu'une unité de traitement d'accumulateurs Lithium-ion sur la commune de Viviez (12).

En 2018, SNAM a acheté la société SOPAVE SAS (Société Plastiques Aveyron). Cette société est située à proximité géographique du site SNAM sur la commune de Viviez. Les activités pratiquées sur le site étaient préalablement au rachat : l'entreposage de déchets d'emballage en matières plastiques, le broyage de déchets métalliques, et l'entreposage de matières premières et de produits finis en lien avec les activités de SNAM (batteries et produits associés). Au jour du sinistre, seules des activités de tri et de stockage étaient pratiquées sur ce site.

Administrativement, le site SOPAVE était couvert par une déclaration du 4 décembre 2018 pour transit, regroupement, tri ou préparation en vue de réutilisation de métaux ou de déchets de métaux non dangereux et détention de produits dangereux pour l'environnement aquatique.

Le site regroupe les installations suivantes :

- Une entrée située côté Est ;
- Les bâtiments B1 et B2 dans lesquels sont principalement entreposés des produits dangereux pour l'environnement ainsi que des batteries ;
- Deux bassins de rétention du côté Ouest du site ;
- Une ancienne station de traitement des effluents côté Sud.

Figure n°3 : Aire d'entreposage des emballages plastiques (crédit SOPAVE)

Figure n°4 : Bâtiment B2 (crédit SOPAVE)

Figure n°5 : Bassins de rétention 1 et 2 (crédit SOPAVE)

Figure n°6 : Bâtiment B1 (crédit SOPAVE)

En vue de travaux sur le site SNAM, impactant le site SOPAVE, des échanges étaient en cours avec l'administration, mais le 17 février 2024, date de l'événement les augmentations de stockage prévues n'avaient pas encore eu lieu.

III.2 Entrepôt de stockage de batteries

Le bâtiment touché lors de l'incendie est un bâtiment de stockage localisé côté Ouest du site, dont les dimensions sont les suivantes : longueur de 73 mètres, largeur de 42 mètres et hauteur de 9 mètres.

Il est constitué d'une structure métallique et d'une toiture principalement en zinc et dalles translucides polyester, avec un lattis en bois (sous toiture). Le sol est bétonné. 2 côtés du bâtiment ont des parois béton sur toute la hauteur, les deux autres sont en béton sur 1 mètre puis en bardage métallique.

Le bâtiment était doté d'une détection incendie dont le report est assuré vers une personne d'astreinte qui effectue la levée de doute en se rendant sur site. En parallèle, pour assurer la sureté du site (intrusion, etc.), ce dernier est équipé d'une vidéo-surveillance dont le report est veillé par un gardien posté sur le site SNAM Viviez sur les créneaux non-ouvrés, et effectuant des rondes sur les différents sites.

L'entrepôt était susceptible de contenir :

- Des batteries Li-Ion automobiles avec des plaques isolantes et des batteries portables reconditionnées dans des PALOX (cf figure n°7 ci-dessous) avec de la vermiculite[2] ;
- Des batteries de technologie NiMH[3] automobiles ;
- Des accumulateurs démontés et égouttés de base alcaline/saline ;
- Des big-bags de black-mass (mélanges métalliques) ;
- Des palettes de lingots métallique de Cadmium.

[2] La vermiculite est un minéral naturel, proche de la famille des micas, souvent utilisé pour isoler thermiquement et phoniquement.

[3] Les batteries NiMH (Nickel-Métal-Hydrure) utilisent un alliage absorbant l'hydrogène pour l'électrode négative et de l'oxyhydroxyde de nickel (NiOOH) pour l'électrode positive. En règle générale elles ne contiennent pas de lithium sauf dans de rares cas, de petites quantités de lithium peuvent être présentes pour modifier les performances.

Figure n°7 : stockage PALOX

Au moment de l'incendie le stockage était organisé en théorie et de manière maximale de la manière suivante : 12 ilots de 4 travées de Palox sur 4 hauteurs. Ces ilots étant espacés de 5m.

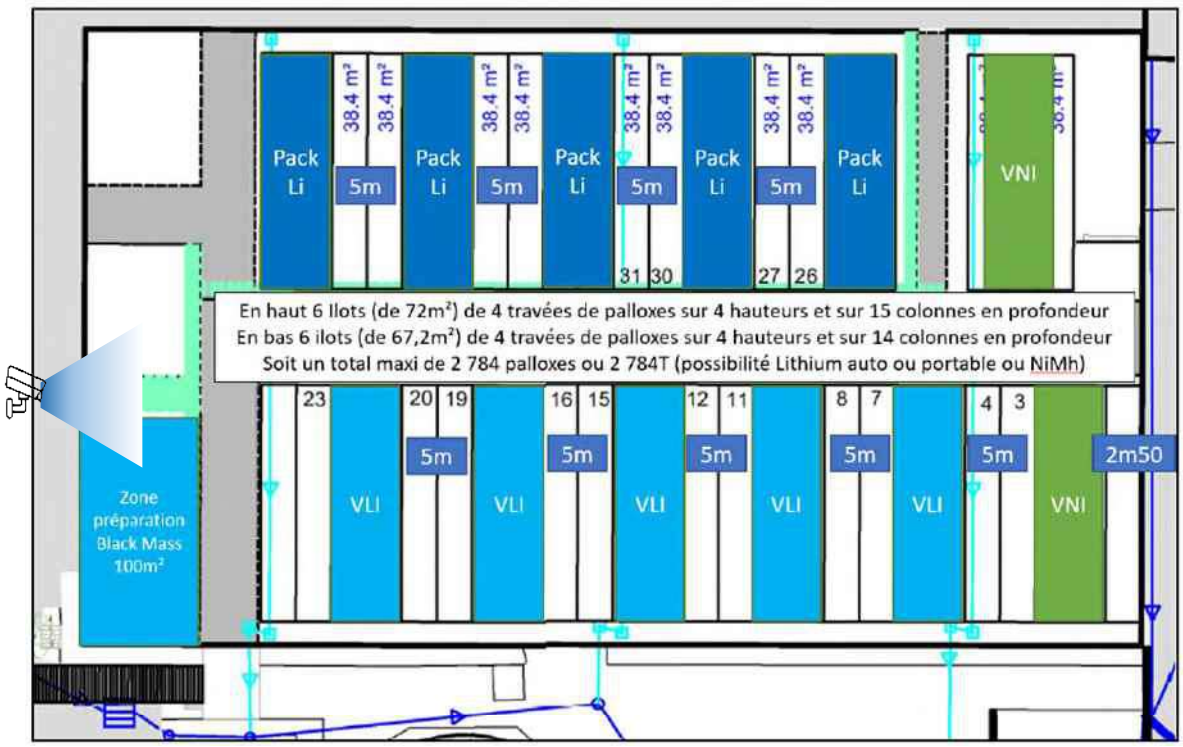


Figure n°8 : organisation du stockage au niveau du bâtiment B2 (crédit SOPAVE)

Figure n°9 : stockage au niveau du bâtiment B2 (crédit SOPAVE)

Le dernier état des stocks était le suivant :

Accumulateurs portables	360 m²
Lithium automobile	264 m²
Alcalines	102 m²
NiMh	14 m²
Total surfaces de stockage	**740 m²**

Tonnage accumulateurs portables net	396
Tonnage lithium automobile net	680
Total tonnage lithium	**1076**

Tonnage cellules clôtures net	125
Tonnage NiMH automobile brut	10
Total autres tonnages	**135**

Tonnage Big-Bag mélange métallique	65

Figure n°10 : état des stocks au niveau du bâtiment 2 (crédit SOPAVE)

III.3 Facteurs influençant la réaction des batteries Li-ion

Des défaillances variées peuvent amener à l'emballement thermique des batteries Li-Ion : surchauffe, surcharge, court-circuit, ou déformation mécanique ; et la réactivité des batteries Li-Ion en emballement thermique va dépendre de la défaillance rencontrée.

En parallèle, l'impact de l'état de charge sur l'emballement thermique est sûrement le paramètre le plus documenté. Son impact n'est toutefois pas linéaire. Le vieillissement de la batterie a lui aussi un impact : la température de début d'emballement thermique a tendance à diminuer avec le vieillissement et la propagation de l'emballement thermique a également tendance à être plus rapide entre batteries vieillies qu'entre batteries neuves.

Le comportement en emballement thermique de la batterie peut être différent en fonction de sa constitution, notamment la présence d'un packaging et des matériaux qui le constituent peuvent influer sur son potentiel calorifique et sur sa sensibilité à la déformation. Enfin, le format de la cellule (forme et dimension) impacte également son comportement en emballement thermique.

IV. Compte-rendu des investigations menées

IV.1 Reconnaissance de terrain

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur le site le 27 février 2024, après avoir échangé la veille avec l'inspection des installations classées de la DREAL Occitanie. Un représentant du service départemental d'incendie et de secours de l'Aveyron était présent lors de la visite sur site.

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 pu échanger avec l'exploitant sur le déroulement de l'événement et les difficultés rencontrées.

IV.2 Investigations complémentaires

L'analyse des enregistrements effectués par la vidéo-surveillance a permis de déterminer rapidement l'origine de l'incendie :

- Personne n'est entré dans l'entrepôt le jour de l'incendie, un acte de malveillance a donc pu être écarté ;
- L'hypothèse de l'effondrement d'une caisse de stockage a pu être écartée également grâce à la vidéosurveillance.

L'hypothèse de l'emballement thermique d'un accumulateur portable stocké en PALOX est donc très vraisemblable.

Les phénomènes suivants ont pu contribuer à cet emballement :

- Dégradation et/ou usure d'une batterie ;
- Infiltration d'eau ou condensation dans les PALOX ;
- Court-circuit d'une batterie.

Mais l'importance de l'incendie ne permettra pas d'investiguer ou de déterminer la cause de cet emballement thermique.

Le BEA-RI a par contre souhaité investiguer l'impact du mode de stockage de ce type de batteries sur la propagation d'un incendie.

Dans le cadre de la convention qui les lie, le BEA-RI a sollicité l'appui de l'INERIS pour réaliser des essais et apporter des éléments d'information quant à un mode de stockage qui permettrait de diminuer le risque de propagation d'un incendie initié par l'emballement thermique d'une batterie entreposée. Trois configurations ont été testées avec des batteries fournies par la société SOPAVE et représentatives de celles considérées comme à l'origine de l'incendie :

- Batteries d'électromobilité Li-Ion stockées en PALOX ;
- Batteries d'électromobilité Li-Ion stockées en fûts métalliques ;
- Batteries d'électromobilité Li-Ion stockées en fûts métalliques avec sprinklage.

IV.2.1 Essai dans la configuration n°1

Dans la première configuration, on utilise 3 bacs plastiques de type PALOX de dimensions 1x1,2x0,8 m sans évents et couvercles fermés. Pour étudier la propagation du feu, on dispose à côté et au-dessus du bac principal deux bacs vides. Il n'y a pas d'espace entre les bacs.

Le bac principal contient 500 kg de batteries Li-Ion de type "mobilité légère" issues de filières de récupération de déchets après tri par nature chimique des batteries. Il n'y a pas de vermiculite dans le bac.

Le déclencheur est un pad chauffant positionné sur une batterie assemblée par l'Ineris et simulant une batterie de vélo électrique chargée à 100%. Le même dispositif sera utilisé pour les trois essais. La batterie équipée est positionnée au 1/3 de la hauteur et au 1/3 en diagonal du contenant, comme sur le schéma ci-dessous :

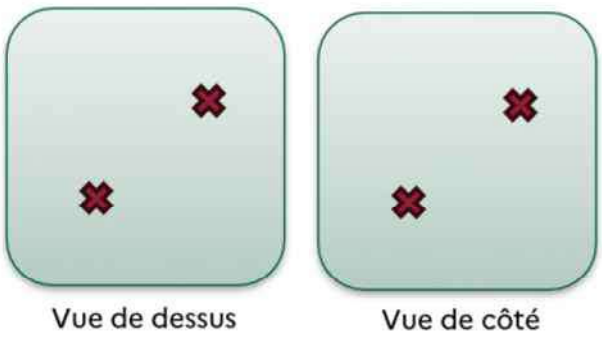


Figure n°11 : positionnement des batteries instrumentées dans un contenant de type PALOX (crédit INERIS)

Le niveau de charge des autres batteries n'est pas connu. La diversité des batteries utilisées est représentative des batteries reçues par SOPAVE.

Sont réalisés : une analyse de gaz, un suivi de la masse. Des fluxmètres et des thermocouples sont positionnés.

Figure n°12 : contenu du bac dans l'essai n°1 (crédit Ineris)

Figure n°13 : positionnement des PALOX dans l'essai n°1 (crédit Ineris)

IV.2.2 Essai dans la configuration n°2

Dans cette deuxième configuration, des fûts métalliques de 200L sans évent, couvercle fermé sont utilisés. Ils sont répartis sur deux niveaux (4 fûts par niveau). À l'étage inférieur sont positionnés 1 fût rempli de batteries Li-Ion et 3 fûts vides. Au-dessus du fût rempli, un fût complété au 1/3 est positionné, les 3 autres fûts sont vides. Les deux étages sont séparés par une palette en bois.

Figure n°14 : positionnement des fûts dans l'essai n°2 (crédit Ineris)

Un grillage de protection a été placé pour prévenir le risque de chute des fûts. Les batteries utilisées sont issues de la même filière que pour l'essai n°1, de la même manière il n'y a pas de vermiculite dans les bacs. Le poids total de batteries du fût principal est de 220 kg.

Le dispositif de déclenchement est le même que celui utilisé pour l'essai n°1. L'instrumentation est également constituée de thermocouples et de fluxmètres. Les batteries instrumentées sont positionnées de la manière suivante :

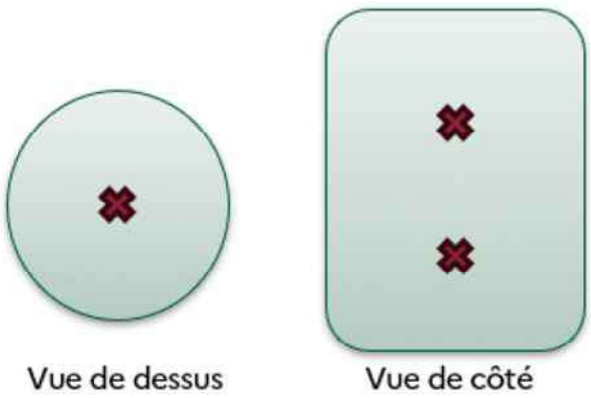


Figure n°15 : positionnement des batteries instrumentées dans un contenant de type fût métallique (crédit Ineris)

IV.2.3 Essai dans la configuration n°3

L'objectif de ce 3ème essai est d'estimer l'impact du sprinklage sur la dynamique de la propagation de l'incendie, ainsi que sur les effets thermiques et les émissions gazeuses associées. La configuration retenue pour cet essai (32 fûts métalliques disposés en 8 palettes de 4 fûts et formant un ensemble de deux étages de 16 fûts) permet de reproduire l'aspect confiné du fût rempli de batteries à partir duquel

l'incendie démarre, en limitant le passage de l'eau de sprinklage jusqu'à ce fût. Sur l'étage inférieur, un fût est rempli de batteries usagées alors que celui juste au-dessus contient des batteries dans le 1/3 inférieur de son volume. Tous les autres fûts sont vides.

Figure n°16 : configuration de l'essai n°3, 8 palettes de 4 fûts répartis sur 2 étages (crédit Ineris)

Pour cet essai, un système de sprinklage a été ajouté dans la chambre d'essai. Le système a été dimensionné pour obtenir un taux d'application de 12,5 l/m²/min. Il est composé de 4 têtes de sprinklage formant un carré de 3 m de côté, placé à une hauteur au sol de 6 m.

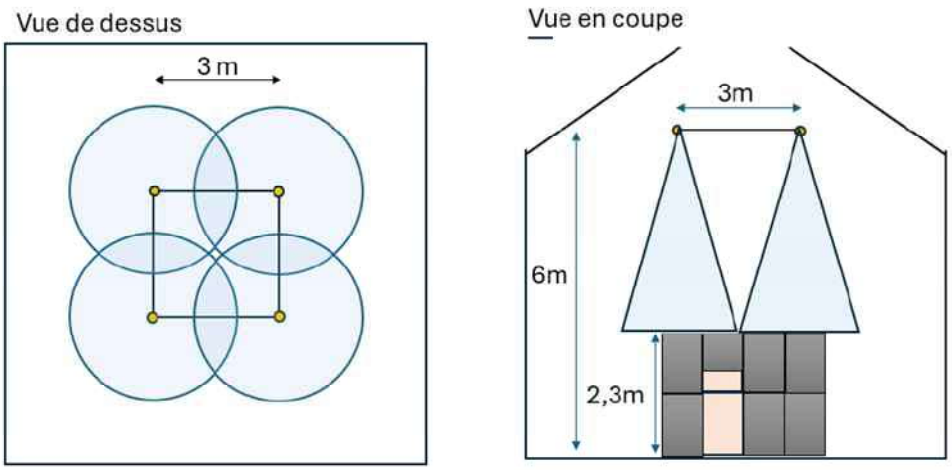


Figure n°17 : schématisation du système de sprinklage installé lors de l'essai n°3 (crédit Ineris)

IV.2.4 Conclusions sur les essais réalisés

Le rapport complet de l'Ineris relatif à cette campagne d'essais figure en **annexe 1** de ce document. Les principales conclusions qui peuvent être tirées de cette campagne d'essais sont les suivantes.

La cinétique de l'emballement thermique observée dans le cadre du premier essai, dont la configuration de l'essai se rapproche des conditions de stockage des batteries usagées dans l'entrepôt SOPAVE, est intéressante à noter car cohérente avec la cinétique du feu survenu dans l'entrepôt SOPAVE :

- La première fumée est visible à 4min 25s ;
- Un premier flash lumineux est observé à 6min 47s ;
- La propagation au PALOX supérieur sera effective à 13min 30s ;
- L'intensité maximale du feu sera observée au bout de 16 minutes.

Pour un même déclencheur initial, le tableau suivant récapitule les principales tendances observées lors des 3 essais de la campagne expérimentale.

	Essai 1: Palox plastiques	Essai 2: Fûts métalliques	Essai 3: Fûts métalliques avec sprinklage (inactif)
Délai entre 1er emballement thermique et 1ère flamme	2min34s	28min52s	105min02s (1)
Délai entre 1er emballement thermique et intensité maximale	11min35s	35min35s	~121min (2)
Températures maximales dans le contenant rempli de batteries (hors températures batteries déclenchées)	>1000 °C	>1000 °C	600 °C
Température maximale dans les contenants voisins à celui rempli de batterie	>1000 °C	800 °C	450 °C
Propagation de l'emballement thermique aux batteries du contenant supérieur	Oui (3)	Oui	Non
Flux radiatif à 4 m lors de l'intensité maximale	~25 kW/m² (pic à 36 kW/m²)	~5 kW/m² (pic à 10 kW/m²)	<0,1 kW/m² (2)
Flux radiatif à 4 m lors de l'intensité maximale rapportée à la masse initiale de combustible (W/m²/kg)	42,0	16,6	0,2
Masse initiale de combustibles (batteries usagées, palette bois, palox plastique - hors fût métallique) (kg)	595	302	542
Perte de masse	39,2 %	39,4 %	5,1 %

Puissance thermique (HRR) maximum (MW)	13,0	2,4	0,1
Puissance thermique (HRR) maximum rapportée à la masse initiale de combustible (kW/kg)	21,8	7,9	0,2
Energie totale libérée (MJ)	6000	1500	120
Chaleur totale libérée rapportée à la masse initiale de combustible (MJ/kg)	10,1	5,0	0,2
Chaleur de combustion (MJ/kg perdu)	25,9	12,7	4,3
Volume total de gaz libérés (hors H2O) (Nm^3)	289,7	102,5	9,0
Volume de gaz rapporté à la masse perdue (hors H2O) (NL/kg perdu)	1243	862	326,9

(1) Emballement thermique de la 2e batterie instrumentée, déclenchée à 50min21s

(2) La puissance thermique mesurée ne présente pas de pic sur cet essai

(3) Contenant supérieur sans batterie, mais l'intensité du feu aurait induit la propagation de façon certaine

Figure n°18 : tableau récapitulatif des principales grandeurs caractérisant les essais (crédit Ineris)

En ce qui concerne la **dynamique de la propagation**, le développement du feu a été bien plus rapide dans le cas du premier essai : les premières flammes sont apparues 27 minutes plus rapidement lors de l'essai n°1 que lors de l'essai n°2.

Une fois les flammes apparues, l'atteinte du pic de puissance du feu est assez similaire lors des deux premiers essais. L'essai n°3 n'a pas présenté de réelle montée en puissance.

La tendance observée lors de ces essais sur l'influence du type de contenant est donc marquée : l'utilisation de contenants de type fûts métalliques a permis de ralentir le développement du feu. Le PALOX plastique étant lui-même combustible, il s'enflamme rapidement. Dans le cas du fût métallique, le contenant ne peut pas s'enflammer et empêche durablement l'oxygène de l'air de rentrer en contact avec les batteries, limitant ainsi les réactions de combustion.

En ce qui concerne **l'intensité de l'incendie**, le 3ème essai a été sensiblement moins puissant que les deux autres, car la propagation de l'emballement thermique entre batteries n'a été que très partielle. Les deux premiers essais ont tous les deux mené à une combustion très avancée avec une perte de masse de 39% des combustibles initialement présents. Bien que la perte de masse soit similaire, l'intensité du feu a été différente : une fois rapporté à la masse de combustible présente dans chaque essai, le flux radiatif à 4 mètres et la puissance thermique libérée par les réactions de combustion (HRR) sont 2,7 fois plus importants sur l'essai avec les PALOX que sur l'essai en fûts métalliques. La chaleur de combustion est également deux fois supérieure sur le premier essai. La composition des PALOX en plastique (polyéthylène haute densité) peut expliquer cette différence : le contenant est lui-même combustible et son pouvoir calorifique est environ deux fois supérieur à celui du bois composant les palettes.

Le troisième essai, prévu pour mesurer l'impact du sprinklage sur la dynamique de développement du feu, n'a pas mené à un feu d'une intensité suffisante pour déclencher le système d'extinction par sprinklage. Il a tout de même enrichi les données disponibles sur la dynamique de propagation du feu avec des contenants de type fûts métalliques, et en particulier sur la variabilité de cette propagation. En effet, malgré la reproduction des mêmes conditions expérimentales (déclencheur, contenant, batteries), le 2ème essai a mené à un feu généralisé intense, alors que lors du 3ème essai le feu ne s'est que très peu propagé.

Cela attire l'attention sur d'autres paramètres difficilement maitrisables lors des essais comme le niveau de charge des batteries usagées, la nature du matériau de leur enveloppe (plastique combustible ou métallique dissipateur thermique), ou l'influence des batteries les plus proches de la première batterie partant en emballement thermique.

Conclusions générales :

Le contenant de type PALOX plastique a un impact négatif sur la vitesse de développement du feu. En effet, il est lui-même composé de matière combustible prenant feu relativement rapidement. Il apporte ainsi lors de la phase de naissance du feu de la chaleur supplémentaire (participant à la propagation de l'emballement thermique de batterie en batterie) et un passage d'air vers l'intérieur du conteneur, permettant un apport d'oxygène vers les batteries, alimentant ainsi les réactions de combustion à l'intérieur du contenant.

Le contenant de type PALOX a également un impact négatif sur l'intensité du feu. Le pouvoir calorifique du polyéthylène est très élevé. Il a tendance à fondre et à s'étaler sur le sol, favorisant l'apparition d'un feu de nappe sur une surface supérieure à celle du PALOX d'origine, et donc des puissances thermiques qui s'en trouvent augmentées.

Le contenant de type métallique a permis lors des essais de ralentir sensiblement voire de stopper la propagation de l'emballement thermique des batteries, et de diminuer l'intensité des effets thermiques mesurés. Une diminution du facteur d'émission de fluorure d'hydrogène (HF) libéré a également été observée avec ce type de contenant.

On peut toutefois noter une plus forte concentration de gaz inflammables dans les gaz libérés, et donc un risque de formation d'une atmosphère explosive. Ce risque semble toutefois limité compte-tenu du volume des entrepôts de stockage. On relève également une combustion moins complète (facteur d'émission du CO plus élevé), propice à l'émission en plus grande quantité de produits de décomposition tels que des HAP, des dioxines ou des COV.

V. Déroulement de l'évènement

V.1 Chronologie de l'évènement

La veille de l'accident, des opérations de reconditionnement et la réception de camions sont réalisées par un magasinier dans le bâtiment B2.

Le samedi 17 février, alors que le site est fermé pour le week-end pendant les vacances scolaires, à 13h05, un gardien arrive sur le site SOPAVE et réalise sa ronde, il quitte le site à 13h13.

À 13h51, une caméra de surveillance du bâtiment B2 montre que des fumées s'échappent d'une caisse de stockage PALOX contenant des petites batteries grand public. À 13h54, un flash lumineux provient de cette même caisse et des éléments du stockage commencent à tomber au sol. La fumée commence à s'épaissir et monter dans le bâtiment.

À 13h59, l'alarme incendie se déclenche, le système appelle l'astreinte SNAM. La personne d'astreinte essaye sans succès de joindre le gardien. Il prend la décision de se rendre sur le site pour faire la levée de doute.

À 14h04, la caméra montre que les flammes se propagent au PALOX du dessus. Les flammes sont de plus en plus importantes.

La personne d'astreinte arrive sur le site à 14h13, elle ne constate rien de particulier et se rend au niveau de la centrale incendie, située dans le bâtiment B1. La centrale indique que le problème se trouve dans le bâtiment B2, elle se rend alors au bâtiment B2 et constate un feu de PALOX dans le bâtiment. Elle appelle les sapeurs-pompiers à 14h18 et bloque le portail d'entrée en position ouverte pour faciliter leur arrivée.

Figures n°19 et 20 : premières photos prises par l'opérateur SNAM (crédit SOPAVE) aux alentours de 14h15

À 14h23, la personne d'astreinte alerte la cellule de crise SNAM, de la fumée commence à sortir du bâtiment. Elle essaye d'utiliser le RIA situé à proximité des PALOX en feu mais il n'est pas alimenté (mise hors gel de l'installation).

À 14h26, la caméra montre une intensification du foyer et des projections de débris enflammés jusqu'à l'autre bout de l'allée principale large d'une dizaine de mètres.

Les pompiers arrivent sur le site SOPAVE à 14h33. Un deuxième personnel SNAM arrive à 14h38.

À 14h39, la caméra montre des débris de toiture plastique enflammés qui tombent.

Les autres véhicules de pompiers arrivent sur le site, ainsi que du personnel SNAM.

À 14h45, l'alimentation des RIA qui était fermée jusqu'alors est ouverte. Les pompiers demandent à ce que les énergies soient coupées, la coupure sera effective à 14h50. Les pompiers sont alimentés en eau.

À 15h18, la bordure du toit du bâtiment B2 commence à tomber.

La stratégie suivie dans un premier temps est de ne pas arroser pour limiter les quantités d'eau dans les bassins de rétention. Dans la nuit du 20 février, un arrosage est réalisé par les sapeurs-pompiers. Le 21 février matin, l'arrosage est centré sur les batteries alcalines /salines.

Le 22 février, une cartographie thermique des amas de déchets du bâtiment B2 est réalisée. À 14h, les sapeurs-pompiers jugent la situation maitrisée et sans risque de reprise. Ils forment le personnel SNAM à l'utilisation des motopompes et des lances puis quittent le site.

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement

VI.1 Scénario

Les différents éléments recueillis permettent d'émettre l'hypothèse que l'emballement thermique d'une batterie d'électromobilité et stockée en PALOX soit à l'origine de l'incendie. S'il n'est pas possible de déterminer la cause de l'emballement thermique de la batterie, la vidéosurveillance permet toutefois de retracer le déroulement de la séquence accidentelle et la propagation du feu.

Si on considère que les premières fumées sont visibles à **t_0 (13h51)**, **3 minutes** plus tard un flash lumineux apparait, des débris tombent sur le sol et la fumée commence à s'épaissir. **13 minutes** plus tard le feu se propage au PALOX du dessus et **32 minutes** après le début de l'événement, de la fumée commence à sortir du bâtiment. Au bout de **35 minutes,** le foyer s'est intensifié et on observe des projections de débris enflammés jusqu'à l'autre bout de l'allée principale, à **t_0+48 minutes**, des morceaux de toiture plastique enflammée tombent. La bordure du toit tombe **1h27** après l'apparition des premières fumées.

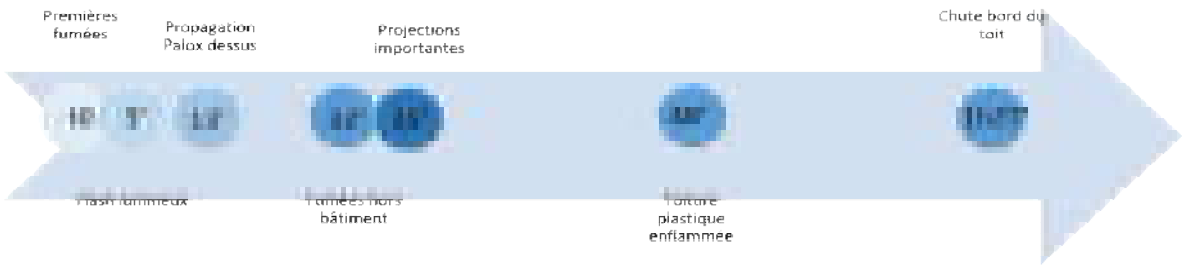


Figure n°21 : Propagation du feu

L'alarme incendie se déclenche **8 minutes** après les premières fumées (t_0 ou 13h51) et le premier opérateur sera sur site **14 minutes** après le déclenchement de cette alarme (ou à t_0+22min). La levée de doute lui prendra ensuite quelques minutes. L'appel au SDIS interviendra à **t_0+27 minutes** soit 19 minutes après le déclenchement de l'alarme et les premiers moyens seront sur site **42 minutes** après les premières fumées (soit 34 minutes après le déclenchement de l'alarme). Les énergies seront coupées et les sapeurs-pompiers seront alimentés en eau **59 minutes** après l'apparition des premières fumées, soit 17 minutes après leur arrivée. Ils quitteront le site **5 jours** plus tard.

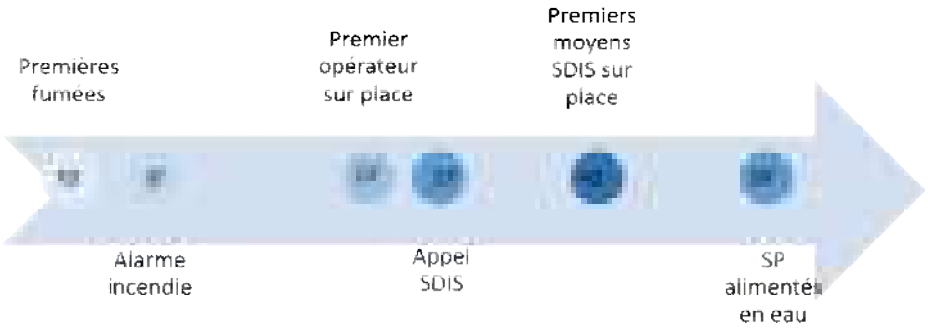


Figure n°22 : arrivée des secours

VI.2 Facteurs contributifs

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

VI.2.1 Sensibilité à l'emballement thermique des batteries Li-Ion

Le risque d'emballement thermique des batteries Li-Ion est connu et largement documenté. Il dépend de nombreux facteurs dont certains ont plus particulièrement été identifiés dans le cadre de la présente enquête :

a) État de charge des batteries stockées

Dans le cas des batteries d'électromobilité ou d'outillage électroportatif, il n'est pas envisageable de connaitre l'état de charge de chaque batterie (SOC), ni même d'envisager de les décharger, à cause de la diversité de modèles présents sur le marché. Pourtant, l'état de charge des batteries stockées est un facteur aggravant vis-à-vis du risque d'emballement thermique.

b) Vieillissement et niveau de dégradation des batteries stockées

L'âge d'une batterie augmente la probabilité d'instabilité de celle-ci. Sur le lieu de l'accident, certaines batteries étaient stockées depuis plus de 4 ans à additionner à la durée de massification chez le collecteur (éco-organisme). À cela s'ajoutent les chocs plus ou moins importants potentiellement subis par la batterie durant son utilisation et durant sa manutention en tant que déchet.

c) Niveau d'intégration des batteries stockées

Le conditionnement, ou le niveau de protection des batteries influent sur leur risque d'emballement thermique. Sur le "consumer market[4]", le niveau de protection est très variable et les protections physiques et électroniques peuvent être endommagées, certaines batteries n'ont pas de boitier externe: elles possèdent donc des pièces nues sous tension qui peuvent mettre la batterie en court-circuit si elles sont en contact avec une autre partie conductrice comme par exemple le boitier métallique d'une autre batterie.

VI.2.2 Mode de stockage des batteries

Les contenants dans lesquels sont stockés les batteries peuvent avoir une influence sur la propagation de l'emballement thermique d'une batterie aux batteries stockées dans le même contenant et aux stockages adjacents. La propagation de l'emballement thermique sera moins rapide dans un fût métallique que dans un stockage en PALOX qui lui-même possède un pouvoir combustible non négligeable à la condition de l'adjonction d'une sache plastique pour éviter les court-circuit avec les parois du fût.

VI.2.3 Organisation du stockage des batteries

Plus l'espace ou les protections physiques entre les travées d'un lieu de stockage sera important, moins il y aura de risque de propagation de l'incendie (projections générées par les batteries en feu) et plus il sera envisageable d'intervenir et de préserver une partie du stockage. Sur le site, des travées de 5m et une allée centrale plus importante étaient prévues, mais dans les conditions de stockage effectives ce jour-là elles se sont avérées insuffisantes, en raison notamment des projections.

VI.2.4 Dispositifs de désenfumage

La propagation du feu se réalise également par le déplacement des fumées chaudes générées. L'absence de déclenchement d'un système de désenfumage a pu intensifier la propagation de l'incendie.

VI.2.5 Cinétique de la détection de l'incendie

L'emballement thermique se caractérise dans ses premières phases par l'émission de fumées, qui, pendant les premières minutes, et au regard de la hauteur sous toiture, peuvent ne pas être détectées par la détection incendie. Dans le cas présent, l'alerte a été transmise 8 minutes après les premières fumées visibles sur la vidéosurveillance. En sachant que chaque seconde perdue diminue la capacité de limiter la propagation de l'incendie, il est donc important que la détection incendie soit conçue en ce sens (localisation des capteurs, type de détection incendie adaptée aux risques et au bâtiment, sensibilité du dispositif, réactivité des opérateurs, capacité rapide de levée de doute).

[4] Consumer market : qualifie notamment les batteries de petite mobilité, ou équipant du matériel électroportatif etc …

VI.2.6 Cinétique de l'intervention

L'examen de la chronologie des événements permet de constater qu'une durée de près d'une heure s'est écoulée avant que les premiers moyens d'extinction soient opérationnels. Cette durée est le cumul du délai de levée de doute, du délai de lancement de l'alerte, et du délai incompressible de projection et de déploiement des moyens de secours sur le lieu de l'incendie. Cette heure a permis le développement de l'incendie à l'ensemble de la cellule rendant son extinction quasi impossible.

VI.2.7 Moyens d'intervention

La disponibilité de réserves suffisantes en eau à proximité immédiate d'un site de stockage de batteries est stratégique. L'absence de système d'extinction automatique, d'alimentation en eau des RIA et de personnels formés et équipés pour intervenir dans les premiers instants de l'incendie ont favorisé le développement du sinistre.

L'ensemble des éléments précédents auraient pu permettre de contribuer à l'atténuation de l'incendie. Mais il est important également de souligner que le site SOPAVE était équipé d'un système de détection incendie, que le dispositif d'astreinte était fonctionnel, que les capacités de rétention des eaux d'extinction ont été suffisantes, et enfin que le délai écoulé entre la détection de l'incendie et l'appel au SDIS peut-être jugé satisfaisant eu égard à la méthode de levée de doute utilisée.

VII. Enseignements de sécurité

Les essais menés dans le cadre de cette enquête sont relatifs à des batteries de type Li-Ion destinées à des usages de mobilité légère. Les enseignements de sécurité qui suivent sont donc à destination du stockage de ce type de batteries.

VII.1 Délai d'intervention

Comme dans la majorité des incendies, plus l'emballement thermique des batteries est détecté et pris en charge rapidement, plus les chances de limiter la propagation de l'incendie sont importantes. Un système de détection incendie adapté aux risques et aux contraintes bâtimentaires est donc à privilégier. Il convient également de limiter au maximum le délai de détection et de levée de doute par exemple en recourant à la vidéosurveillance (qui peut être couplé à des caméras thermiques).

VII.2 Moyens d'extinction

Contrairement à certaines idées reçues, l'usage massif d'eau est un moyen efficace pour limiter l'évolution d'un incendie de batteries Li-Ion au sein d'un site de stockage de batteries[5]. Le retour

[5] La stratégie d'intervention peut être différente lorsque les batteries sont stockées et utilisés dans des stations de stockage d'énergie.

d'expérience de l'incendie de l'entrepôt Highway France Logistics 8 à Grand-Couronnes (76) le 16 janvier 2023 issu du rapport BEA-RI relatif à cet événement en date du 28 mars 2025 confirme notamment que « l'eau peut être utilisée quelle que soit la technologie de batterie lithium. »

VII.3 Mode de stockage

Le mode de stockage des batteries joue un rôle essentiel dans l'éventuelle propagation d'un emballement thermique :

- Le stockage en fûts métalliques est plus conservateur que le stockage en bacs plastiques en limitant le pouvoir combustible du contenant et assurant une forme d'étanchéité sous réserve d'un filmage du fût permettant d'éviter la mise en court-circuit des batteries avec les parois du fût;
- La bibliographie incite également à privilégier le stockage de batteries faiblement chargées et à limiter leur durée de stockage, notamment dans le cas des batteries de véhicule électrique dont l'état de charge est plus facilement maitrisable ;
- Dans la littérature et suite à différents essais effectués dans d'autres cadres que celui du BEA-RI, l'ajout de vermiculite dans des proportions suffisantes dans des fûts métalliques est également évoqué et semble ralentir la propagation d'un éventuel incendie ;
- Les principes généraux de stockage de produits dangereux (îlotage, rétention, limitation des hauteurs de stockage, etc.) sont également applicables aux batteries Li-Ion.

VII.4 L'emballement thermique : un incontournable de l'évaluation des risques

L'emballement thermique d'une batterie lithium dépend de nombreux facteurs (technologie et chimie, niveau d'intégration, vieillissement et niveau de dégradation, état de charge) que l'exploitant d'un site d'élimination de batteries usagers ne peut pas maitriser. Dans ces conditions, la question n'est pas tant de savoir si un emballement thermique peut se produire mais bien de partir du postulat qu'il se produira et de concevoir un ensemble de mesures de mitigation, de protection et de lutte pour limiter ses conséquences sur les personnels, le matériel, les installations et l'environnement.

VIII. Recommandations de sécurité

VIII.1 Recommandations de sécurité à l'attention de l'exploitant du site

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

- **Équiper ses installations de stockage de batteries d'un système de détection incendie permettant de détecter au plus tôt la présence de fumées puis de flammes au-dessus d'un stockage de batteries ;**
- **Accélérer la procédure de levée de doute et améliorer la gestion de l'alerte en cas de détection incendie ;**

- **Adopter une organisation permettant d'intervenir dans les premiers instants sur le départ d'incendie (personnels formés, moyens d'intervention opérationnels et moyens de protection adaptés) ;**
- **Réévaluer et adapter si nécessaire les besoins en eau d'extinction d'un feu de batteries et les capacités de confinement de ces eaux ;**
- **Décharger au maximum les batteries de véhicule électrique avant stockage (si possible en amont du transport) ;**
- **Stocker les batteries de type « consumer market » en fûts métalliques ;**
- **Limiter la durée de stockage des batteries ;**
- **Réexaminer les modalités de stockage (en hauteur et en superficie) au regard de la stratégie incendie retenue et de son efficacité.**

VIII.2 Recommandation de sécurité à l'attention de l'autorité réglementaire

Le BEA-RI émet la recommandation suivante à l'attention de l'autorité réglementaire :

Dans un contexte d'électrification des usages et des mobilités, faire évoluer la réglementation pour mieux encadrer l'implantation, les dispositions constructives, l'exploitation et la gestion en cas d'accident des sites de stockage des batteries neuves ou usagées en fonction des typologies de batteries et compte-tenu notamment des enseignements techniques tirés de la présente enquête.

IX. Annexe

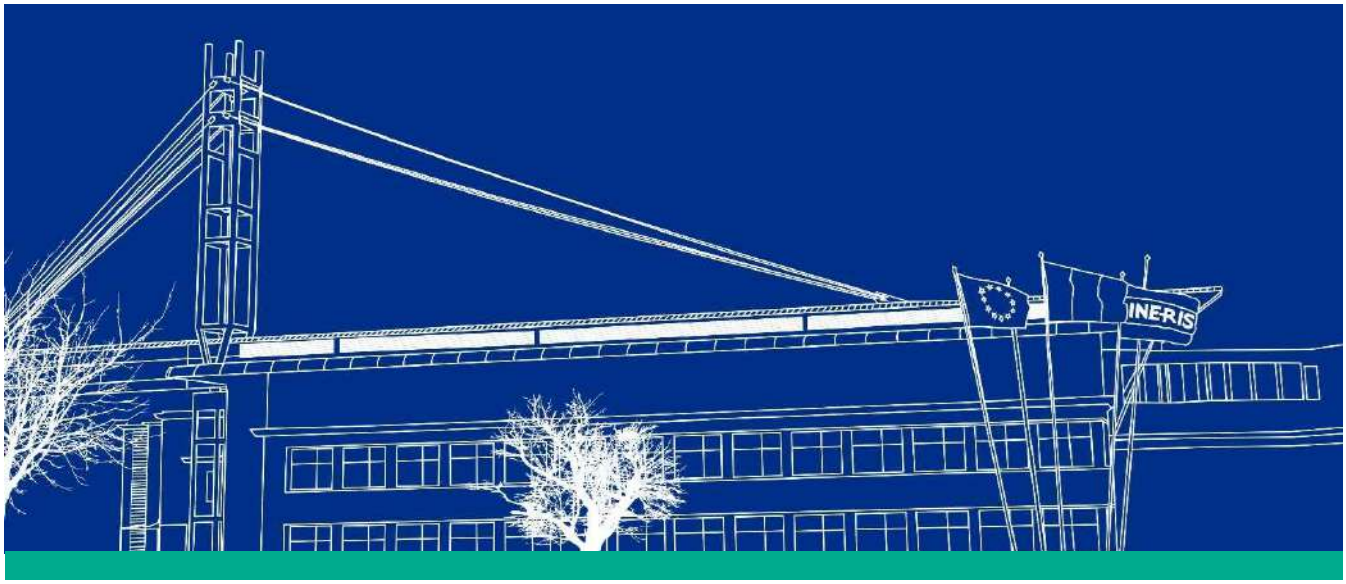
Annexe 1 Rapport INERIS 30

Annexe 1 Rapport INERIS

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Appui à l'expertise de l'incendie survenu le 17 février 2024 au niveau de l'entrepôt de stockage de batteries usagées du site SOPAVE de VIVIEZ, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 224374 228931 - 2825739 - v2.021/05/2025

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 224374 228931 - 2825739 - v2.0

Appui à l'expertise de l'incendie survenu le 17 février 2024 au niveau de l'entrepôt de stockage de batteries usagées du site SOPAVE de VIVIEZ

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

Nom de la Direction en charge du rapport : DIRECTION GENERALE

Rédaction : LESAGE Jerome

Vérification : DELBAERE THIERRY; CHAUMETTE SYLVAIN; BORDES ARNAUD; LEROY GUILLAUME

Approbation : BOUET REMY - le 21/05/2025

Table des matières

Glossaire 5
1 Introduction 6
1.1 Déontologie 6
1.2 Contexte 6
1.3 Visites et réunions d'échanges 6
2 Réponses aux questions posées par le BEA-RI 7
2.1 Description de la campagne expérimentale 7
2.1.1 Type de contenant 7
2.1.2 Type de batteries testées 7
2.1.3 Type de déclencheur 8
2.1.4 Instrumentations 10
2.2 Essai 1 : contenant de type palox plastique 13
2.2.1 Configuration d'essai 13
2.2.2 Résultats 15
2.3 Essai 2 : contenant de type fût métallique 31
2.3.1 Configuration d'essai 31
2.3.2 Résultats 33
2.4 Essai 3 : contenant de type fût métallique avec sprinklage 45
2.4.1 Configuration d'essai 45
2.4.2 Résultats 47
2.5 Enseignements sur l'influence du mode de stockage des batteries et du système d'extinction 59
3 Conclusion 64
4 Annexes 65

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

Institut national de l'environnement industriel et des risques, **Appui à l'expertise de l'incendie survenu le 17 février 2024 au niveau de l'entrepôt de stockage de batteries usagées du site SOPAVE de VIVIEZ**, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 224374 228931 - 2825739 - v2.021/05/2025.

Glossaire

SDIS : Service Départemental d'Incendie et de Secours

HRR : Heat Release Rate, puissance thermique dégagée par les réactions de combustion

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

OC : Oxygen Consumption, méthode permettant l'estimation de la puissance thermique dégagée par les réactions de combustion à partir de la consommation d'oxygène

CDG : Carbon Dioxyde Generation, méthode permettant l'estimation de la puissance thermique dégagée par les réactions de combustion à partir de la consommation d'oxygène

NMC : Nickel Manganèse Cobalt, utilisé dans la cathode de certain type de cellule Li-ion

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrène, type de plastique très couramment utilisé

1 Introduction

1.1 Déontologie

L'INERIS n'a jamais réalisé d'études pour le compte de la SOPAVE, entreprise dans laquelle l'incendie s'est produit.

L'INERIS a déjà réalisé pour le compte de la SNAM (qui détient la société SOPAVE) des mesures de l'air extérieur. L'INERIS n'a pas collaboré dans les cinq dernières années avec la SNAM ou la SOPAVE sur la problématique de gestion des risques accidentels liés à leur activité de recyclage des batteries.

1.2 Contexte

Le 17 février 2024, un incendie s'est déclaré au sein de l'entrepôt de stockage de batteries usagées de la société SOPAVE, située à Viviez dans l'Aveyron. Cet entrepôt contenait environ 1200 tonnes de batteries destinées à être recyclées par la SNAM, dont 1100 tonnes de batteries Li-ion.

Le feu s'est propagé à l'ensemble de l'entrepôt, nécessitant l'intervention de près de 60 pompiers pour le maitriser. L'incendie a duré 5 jours.

Le BEA-RI a ouvert une enquête sur cet accident et a sollicité l'appui de l'Ineris. Dans sa lettre de mission adressée (annexe 1), le BEA-RI demande à l'Ineris de réaliser des essais sur des batteries de même type récupérées auprès de le SNAM en vue :

- D'étudier l'influence du mode de stockage des batteries et du système d'extinction automatique sur les mécanismes de propagation d'un incendie lié à l'emballement thermique d'une batterie de type petite mobilité stockée en vrac avec des batteries de même type, et de conclure sur leur influence ;
- De transmettre les données brutes relatives aux substances émises lors des essais.

Les réponses aux demandes du BEA-RI sont développées dans la section 2 de ce rapport.

1.3 Visites et réunions d'échanges

L'INERIS a effectué une visite des installations impactées par l'incendie le 27 février 2024, soit 10 jours après le début de l'incendie, en présence des enquêteurs du BEA-RI, des représentants de la société SNAM, du SDIS12, et de la DREAL. Cette visite a permis de prendre connaissance de la chronologie de l'accident et d'effectuer les premières constatations, ainsi que de connaître la façon dont les batteries étaient stockées et les mesures de sécurité mises en œuvre.

L'INERIS a également participé à plusieurs réunions avec la SNAM et le BEA-RI, notamment dans le but de mettre en œuvre la campagne expérimentale réalisée dans le cadre de cette enquête.

2 Réponses aux questions posées par le BEA-RI

Afin de répondre aux missions de la saisine, et en concertation avec la SNAM et le BEA-RI, l'INERIS a réalisé une campagne expérimentale afin d'évaluer l'impact du type de contenant et du système d'extinction par sprinklage sur la propagation de l'incendie lors d'un départ en emballement thermique d'une batterie isolée au sein d'un contenant.

Cette campagne d'essai et les résultats expérimentaux obtenus sont décrits dans les sections 2.1 à 2.4.

La section 2.5 établit ensuite les enseignements tirés de cette campagne d'essai sur l'influence du mode de stockage des batteries et du système d'extinction automatique sur les mécanismes de propagation d'un incendie

2.1 Description de la campagne expérimentale

2.1.1 Type de contenant

Deux types de contenant ont été évalués :

- Palox plastique (polyéthylène haute-densité) de dimensions 1 x 1,2 x 0,8 m et pesant environ 30 kg. Ils sont fermés par un couvercle plastique posé au-dessus du palox. Ces contenants sont ceux qui étaient utilisés dans l'entrepôt qui a subi l'incendie ;
- Fût métallique (tôle fine d'acier) de 88 cm de hauteur et de diamètre 60 cm et pesant environ 16 kg. Ils sont fermés par un couvercle métallique maintenu par un collier de serrage à levier.

Nota : ces contenants ne sont pas équipés d'évent de surpression.

Figure 1: illustration d'un fût métallique (gauche) et d'un palox (droite)

2.1.2 Type de batteries testées

Les batteries utilisées sont toutes de technologie Li-ion. Elles ont été fournies par la SNAM issues de la filière de recyclage dénommée « consumer market ». Au sein de cette filière, seules les batteries de mobilité légère (trottinettes, vélos électriques, …) ont été sélectionnées. Tous les types de batteries de mobilité légère arbitrairement (avec boitier plastique, métal, ou sans boitier) ont été conservées et mélangées. Elles ont été déposées une à une au sein du contenant.

Nota : pour éviter les courts-circuits lors du remplissage des contenants, les batteries avec des pièces nues sous tension ont été préalablement enveloppées d'un film plastique fin.

L'ensemble des essais ont été réalisés sans vermiculite entre les batteries.

Figure 2: illustration de l'empilement des batteries dans leur fût métallique (gauche) ou leur palox (droite)

2.1.3 Type de déclencheur

L'emballement thermique de la 1e batterie au sein du contenant a été initié par surchauffe. A cet effet, une batterie a été spécialement préparée pour permettre de reproduire le même déclencheur d'essai en essai.

Cette batterie spécialement préparée est constituée d'un empilement de 6 cellules Li-ion pouch NMC de 32 Ah[1], préalablement chargées à 100 %. L'énergie électrique contenue dans cette batterie est de l'ordre de 700 Wh, soit l'équivalent d'une batterie de vélo électrique.

Au centre de cet empilement, un pad thermique de 500 W a été positionné. L'ensemble ainsi formé est maintenu en compression à l'aide de scotch thermique, puis placé dans un boitier plastique ABS de dimensions approximatives 30 x 23 x 9 cm, d'étanchéité IP65.

Trois thermocouples sont positionnés au sein de cette batterie pour monitorer son emballement thermique.

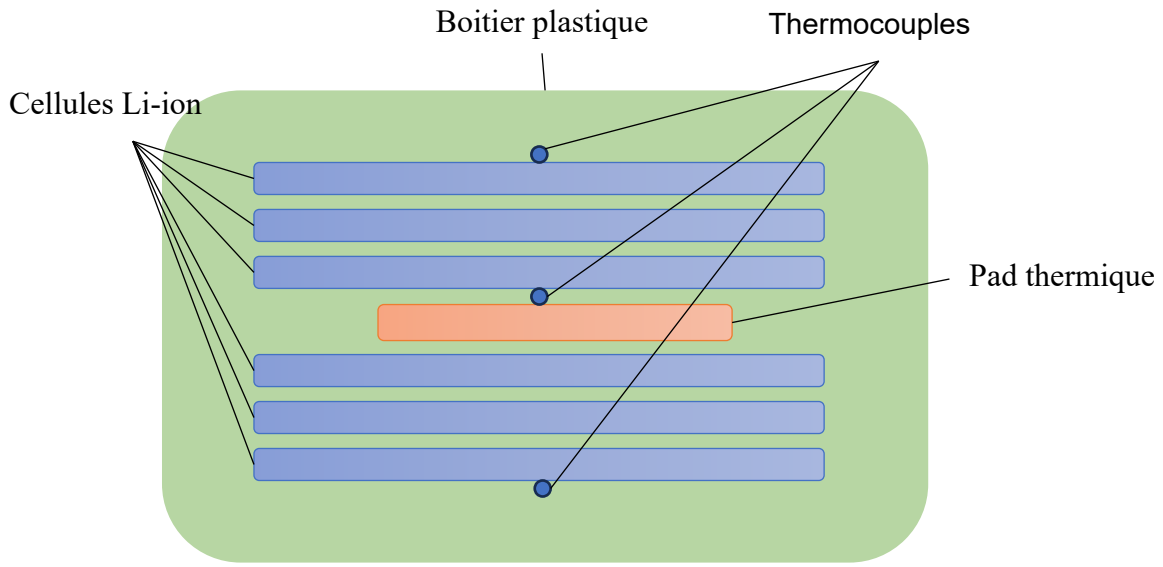


Figure 3: schéma de la batterie utilisée pour le déclenchement de l'emballement thermique

[1] Cellules Li-ion restante d'une campagne d'essai, et mise à disposition gracieusement par Total Energies

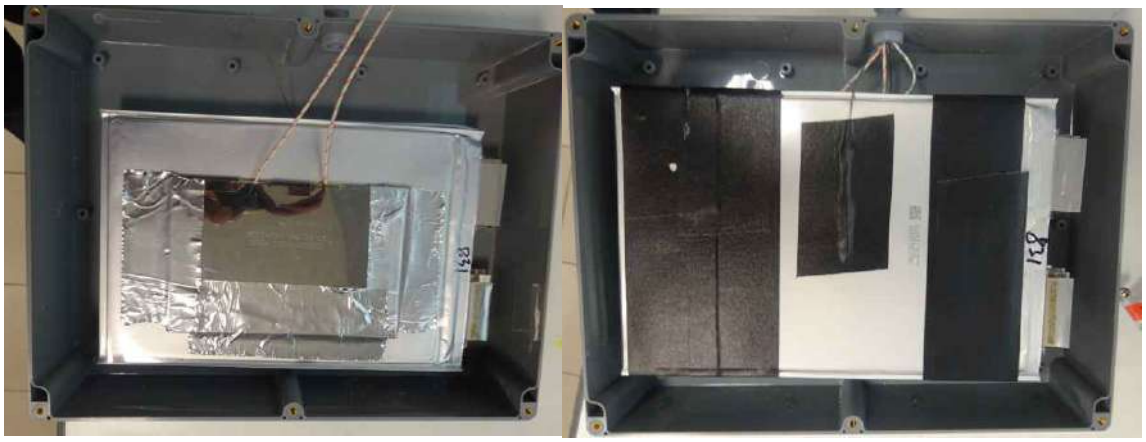


Figure 4: photographies de l'intérieur d'une batterie utilisée pour le déclenchement de l'emballement thermique (gauche : 3 cellules et pad thermique maintenu avec du scotch aluminium, droite : empilement complet maintenu avec du scotch thermique)

Lors de chaque essai, deux batteries instrumentées sont placées dans le contenant dans lequel l'incendie est déclenché, ceci dans le but de permettre un deuxième départ en emballement thermique si le premier ne se propageait pas ou peu aux autres batteries du contenant.

La position de la batterie principale et de la batterie redondante dépend du type de contenant :

- dans un palox plastique, la batterie principale se trouve à 1/3 de la hauteur et 1/3 de la diagonale, alors que la batterie redondante se trouve à 2/3 de la hauteur et à 2/3 de la même diagonale (Figure 5),
- dans un fût métallique, la batterie principale se trouve à 1/3 de la hauteur et la batterie redondante se trouve à 2/3 de la hauteur. Les deux batteries sont sur l'axe central du fût (Figure 6).

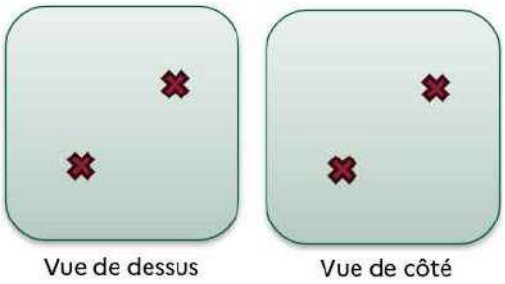


Figure 5: position des batteries instrumentées dans un contenant de type palox

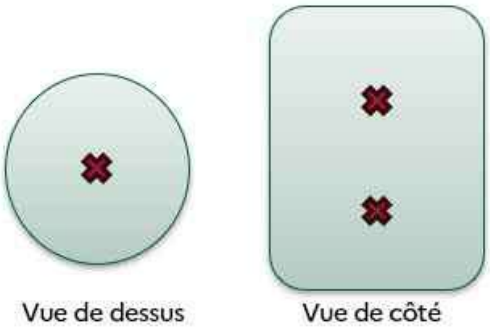


Figure 6: position des batteries instrumentées dans un contenant de type fût métallique

2.1.4 Instrumentations

2.1.4.1 Mesure de températures dans les batteries instrumentées

Comme précisé avant, chaque batterie instrumentée contient trois thermocouples, un contre le pad thermique, un sur la cellule du bas et un autre sur la cellule du haut (voir Figure 3).

Dans la suite de ce rapport, ces thermocouples sont dénommés BATx-I-y, avec :

- x = numéro de la batterie (1 = principale et 2 = redondante),
- I = Intérieur de la batterie,
- y position du TC (H = haut, M = milieu, B = bas).

2.1.4.2 Mesure de températures dans les contenants

Des thermocouples sont placés à l'intérieur de chaque contenant, collés sur les batteries usagées.

Ils ont été positionnés approximativement selon 4 colonnes A, B, C et D et à 3 ou 4 niveaux différents (voir Figure 7 et Figure 8).

La batterie instrumentée principale se trouve donc au niveau 1, et la redondante au niveau 3. Dans un palox plastique, la batterie instrumentée principale se trouve en colonne A, et la redondante en colonne C.

L'ensemble de ces thermocouples intérieurs collés sur les batteries sont désignés dans la suite de ce rapport « Ti-j », avec :

- i = numéro du niveau,
- j = lettre associée à la colonne.

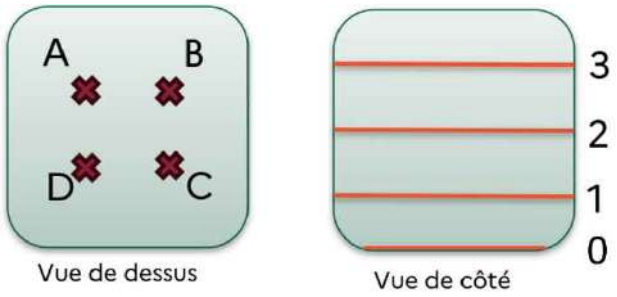


Figure 7: position des thermocouples à l'intérieur d'un contenant de type palox

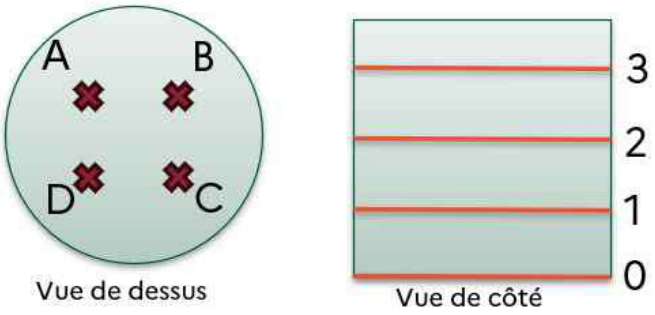


Figure 8: position des thermocouples à l'intérieur d'un contenant de type fût métallique

En plus de ce maillage, sur le premier essai, quelques thermocouples ont été ajoutés pour surveiller la propagation de l'emballement thermique des batteries instrumentées vers les batteries à proximité immédiates. Ils sont dénommés BATx-E-y, avec :

- x = numéro de la batterie instrumentée (1 ou 2),
- E = Extérieur à la batterie instrumentée,
- y = lettre de la colonne pointée par le vecteur [batterie instrumentée => thermocouple].

2.1.4.3 Mesure de températures dans le ciel gazeux

Dans chaque contenant rempli de batterie, un thermocouple mesure la température de l'air interne à environ 5 cm sous le couvercle. Ce thermocouple est appelé T-PALOX-AIR-H dans le cas d'un palox et T-FUT1-AIR dans le cas d'un fût métallique.

2.1.4.4 Mesure de flux thermiques radiatifs

Lors de chaque essai, 5 fluxmètres radiatifs sont placés autour de l'échantillon.

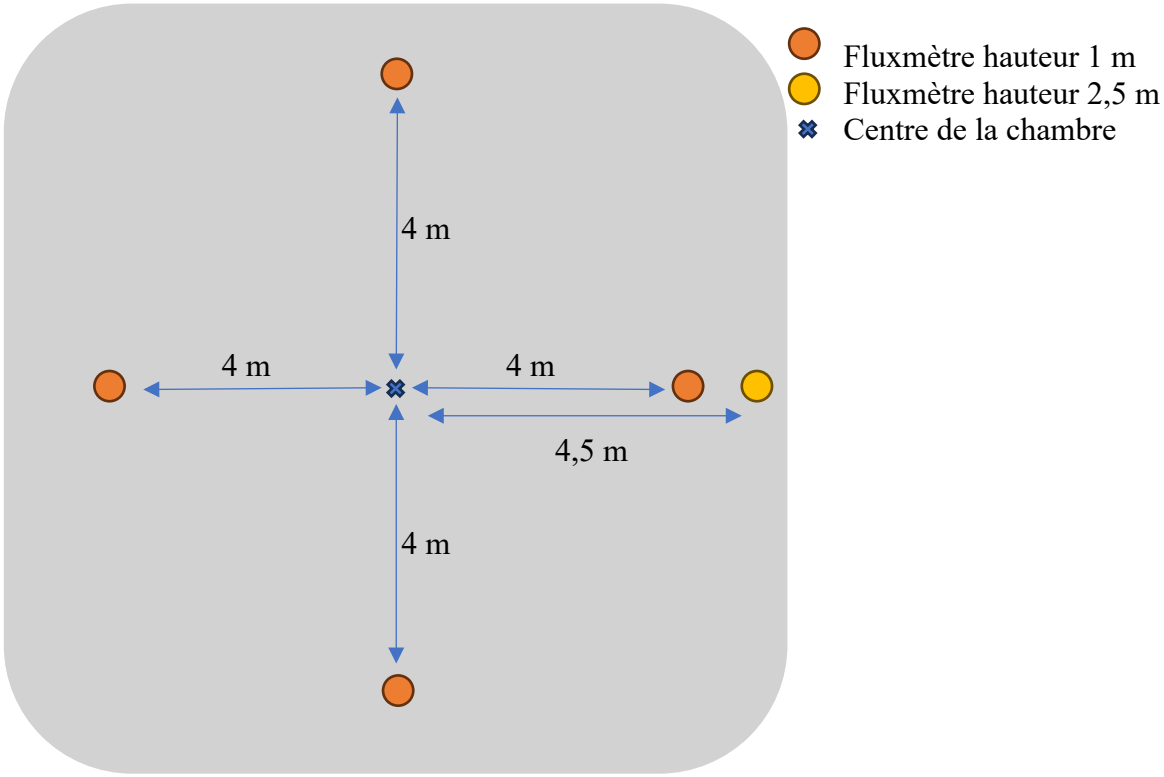


Figure 9: position des fluxmètres

2.1.4.5 Mesure de gaz

Durant chaque essai, les gaz sont aspirés puis retraités par notre système de traitement des fumées.

Un prélèvement des gaz est effectué sur la gaine d'aspiration et permet une analyse en continu de la concentration des gaz suivants :

CO_2	Formaldéhyde	HCN	HCl
CO	H_2	SO_2	HBr
HF	NO	DMC	SiF_4
CH_4	NO_2	EMC	POF_3
C_2H_4	N_2O	EC	H_2O
C_2H_2	NH_3		

Tableau 1 : liste des gaz analysés

2.1.4.6 Débit calorifique et chaleur de combustion

Il est d'usage depuis le début des années 80 de mesurer le débit calorifique des incendies (ou puissance thermique dégagée, ou HRR en anglais pour Heat Release Rate) par des méthodes dites de calorimétrie incendie, basées sur les bilans matières effectués sur les gaz émis en s'appuyant sur les lois de la thermochimie qui permettent de relier le débit calorifique du feu (HRR pour Heat Release Rate) et la consommation ou productions d'espèces chimiques associées à une combustion :

a) calorimétrie basée sur la consommation d'oxygène, méthode dite OC (Oxygen consumption): il a été démontré (principe de Thornton) que pour la plupart des matières combustibles carbonées, la consommation d'1 kg d'O_2 correspond à la production de 13,1 MJ d'énergie : ce facteur calorimétrique est un coefficient moyen, et en pratique on tient compte des pertes liées aux émissions de composés imbrûlés (CO notamment) et d'autres facteurs de correction,

b) le principe CDG (Carbon dioxide generation) permet de relier cette même grandeur (HRR) aux débits de production d'oxydes de carbone (CO + CO2).

Ces méthodes permettent de s'affranchir des contraintes liées à l'établissement d'un bilan thermique conventionnel (mesures des différentes pertes par convection, conduction et rayonnement), quasiment impossible en pratique à appliquer dans un essai feu à moyenne échelle.

Les études publiées sur le niveau de précision de ces méthodes alternatives font valoir des précisions variables allant de +/-5 % pour des feux "simples" (ex. feu de nappe de solvant) menés sur appareillages de laboratoire (calorimètre de Tewarson, échelle 10 à 100 g) à des précisions de l'ordre de 15/18 % sur des feux complexes, tridimensionnels (cas présents) ou des expérimentations à grande échelle (échelle de 100 kg à 1000 kg).

La détermination du débit calorifique (HRR) ne préjuge donc pas du mode de transfert thermique de la chaleur dégagée par unité de temps (il est courant de considérer que le rayonnement représente environ 30 à 33 % de l'énergie totale dissipée) ; les pertes par diffusion sont généralement négligeables dans les scénarios pris en compte en ingénierie du feu.

Dans le cadre des essais réalisés, le HRR a été calculé en utilisant la méthode b), suivant le principe CDG selon l'équation suivante :

$$\dot{q}_{CDG} = E_{CO_2}\left(\dot{m}_{CO_2} - \dot{m}^0_{CO_2}\right) + E_{CO}\dot{m}_{CO}$$

Avec :

$\dot{q}_{CDG}$: débit calorifique ou heat release rate (kW ou kW/m^2),

$\dot{m}^0_{CO_2}$: débit massique de CO_2 initial (g/s),

$\dot{m}_{CO_2}$: débit massique de CO_2 au cours de la combustion (g/s),

$\dot{m}_{CO}$: débit massique de production de CO au cours de la combustion (g/s),

E_{CO_2} : quantité d'énergie libérée par unité de masse de CO_2 générée = 13,3±11 % kJ/g de CO_2[2].

E_{CO} : quantité d'énergie libérée par unité de masse de CO générée = 11,1±18 % kJ/g de CO.

La chaleur de combustion généralement exprimée en MJ/kg ou kJ/g est la quantité de chaleur produite durant la phase de combustion. Elle est calculée par l'intégration de l'aire sous la courbe HRR ; la chaleur de combustion totale dissipée est alors déterminée.

Nota : une limitation de la technique utilisée est le fait que l'énergie électrique libérée par la surcharge générée pendant l'essai n'est pas directement accessible par la calorimétrie incendie, car non liée à des réactions thermochimiques (effet Joule).

2.1.4.7 Perte de masse

La masse est enregistrée en continue pendant les essais, ce qui permet d'observer la diminution de masse au fur et à mesure de la combustion et ainsi estimer la vitesse de combustion associée au produit testé.

2.2 Essai 1 : contenant de type palox plastique

2.2.1 Configuration d'essai

La configuration de l'essai se rapproche des conditions de stockage des batteries usagées dans l'entrepôt SOPAVE incendié, dans lequel les batteries étaient stockées dans des palox plastiques.

Les objectifs de ce premier essai sont :

- de valider que, lors de l'emballement thermique d'une batterie au sein d'un palox plastique, celui-ci peut mener à un incendie de l'ensemble des batteries du palox, se propager aux palox environnants,
- d'observer la dynamique de cette propagation,
- de quantifier les effets thermiques et les émissions gazeuses associées.

A cet effet, 3 palox ont été disposés au centre de la chambre, comme illustré sur la Figure 10.

[2] Biteau H. *et al,* « Calculation Methods for the Heat Release Rate of Materials of Unknown Composition », Fire Safety Science, 2008. 9: p. 1165-1176

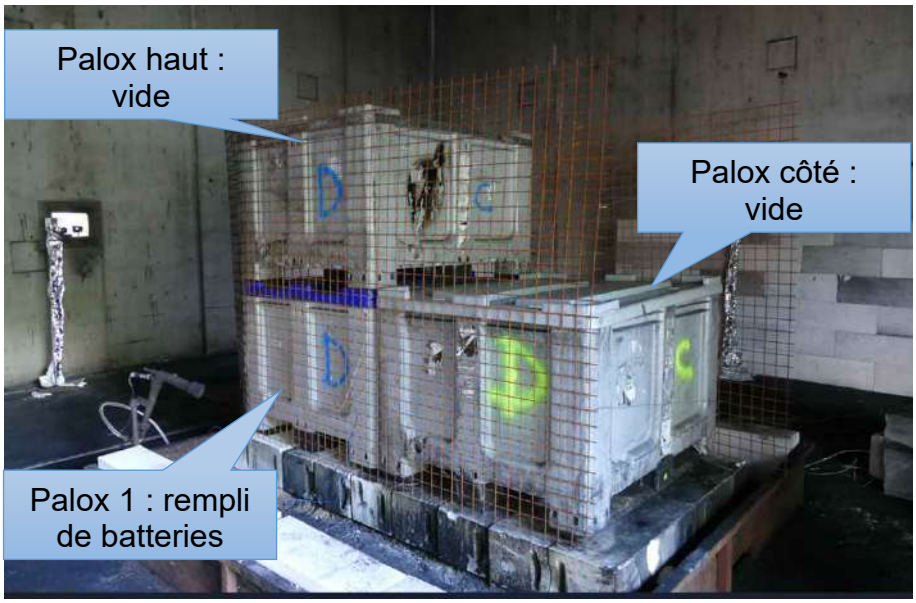


Figure 10: configuration de l'essai 1 : 3 palox plastiques

Le palox en bas à gauche (palox 1) est rempli de batteries usagées (voir § 2.1.2), alors que celui juste au-dessus (palox haut) et celui de droite (palox côté) sont laissés vides.

Les faces latérales des palox sont identifiées à l'aide des lettres A à D, dans le sens horaire vue du dessus (les faces C et D sont marquées à la bombe de peinture et visibles sur la Figure 10).

Pour surveiller les températures au sein des palox vides haut et côté, les thermocouples suivants ont été ajoutés :

- 5 thermocouples à l'intérieur du palox haut placés au centre de chacune des 4 faces latérales et de la face inférieure.
  Identification : palox-haut-x, avec x = lettre de la face latérale ou « fond »,
- 3 thermocouples à l'intérieur du palox côté, placés sur la face se trouvant contre le palox 1.
  Identification : palox-cote-x, avec x = haut, bas ou M (milieu).

Figure 11: position des 3 thermocouples « palox-cote-x » au sein du palox 3

L’ensemble des 3 palox ont été enfin entourés d’un treillis métallique afin d’éviter leur éventuelle chute pendant l’essai.

Nota : le brûleur visible sur la Figure 10, a été placé en préventif mais n’a pas été utilisé pendant l’essai (aurait permis de forcer une combustion complète pour faciliter le nettoyage des résidus).

2.2.2 Résultats

2.2.2.1 Déroulement de l’essai

Le départ en emballement thermique d’une seule batterie a suffi à initier un feu généralisé et à engendrer la combustion complète de l’ensemble des palox et batteries usagées. L’emballement thermique de cette 1e batterie s’est propagée progressivement, avec des premières flammes visibles après 10 min, puis un pic de puissance thermique après environ 16 min, suivie d’une lente décroissance durant les 20 minutes suivantes amenant à un feu résiduel qui s’est maintenu environ 2 heures.

Les principales étapes de l’essai sont décrites dans le tableau ci-dessous.

#	t =	Description
1	0s	Lancement des enregistrements
2	40s	Début de l'agression thermique appliquée à la batterie instrumentée principale
3	4min 25s	Début de l'emballement thermique de la batterie instrumentée principale (visible sur la Figure 12), suivie de fumées sortant du fût quelques secondes plus tard et pendant environ 1 min.
4	6min 30s et 6min 44s	Dégazage ponctuel
5	6min 47s et 6min 54s	Brefs flashs lumineux sous le palox
6	6min 59s	Inflammation sous le palox rempli de batteries donnant naissance à des flammes ponctuelles

7	10min 30s	Début d'inflammation du flanc du palox supérieur et inflammation plus marquée du palox 1. Crépitement/explosions/projections fréquentes.
8	13min 30s	Inflammation plus marquée du palox 1, qui se propage rapidement à l'ensemble du palox supérieur, puis au palox d'à côté.

9	14min 30s	Augmentation rapide de l'intensité du feu et des explosions/projections. Affaissement du palox 1.
10	16min	L'intensité du feu semble être maximale.

11	23min 35s	Perte d'une caméra
12	26min	Décroissance du feu déjà marquée, qui continue de diminuer en intensité

2.2.2.2 *Evolution des températures*

2.2.2.2.1 Palox 1 niveau 1

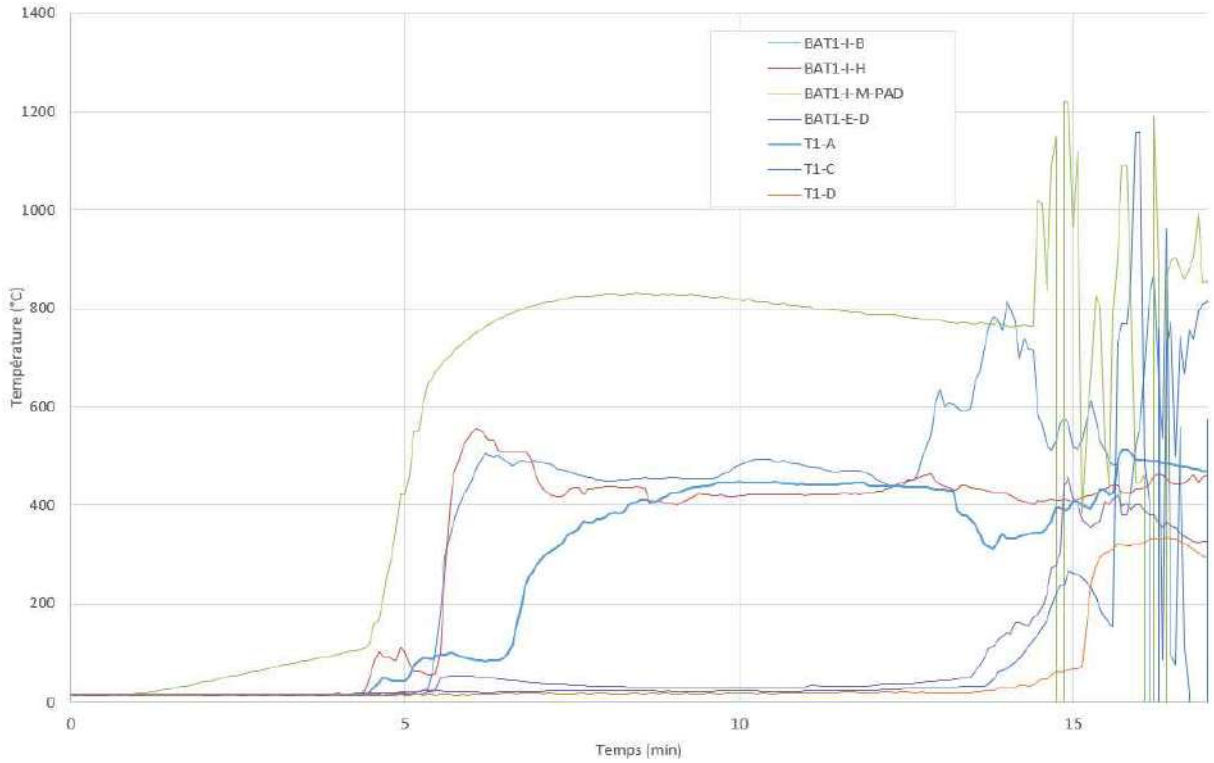


Figure 12: évolution des températures sur le niveau 1 du palox 1 en début d'essai

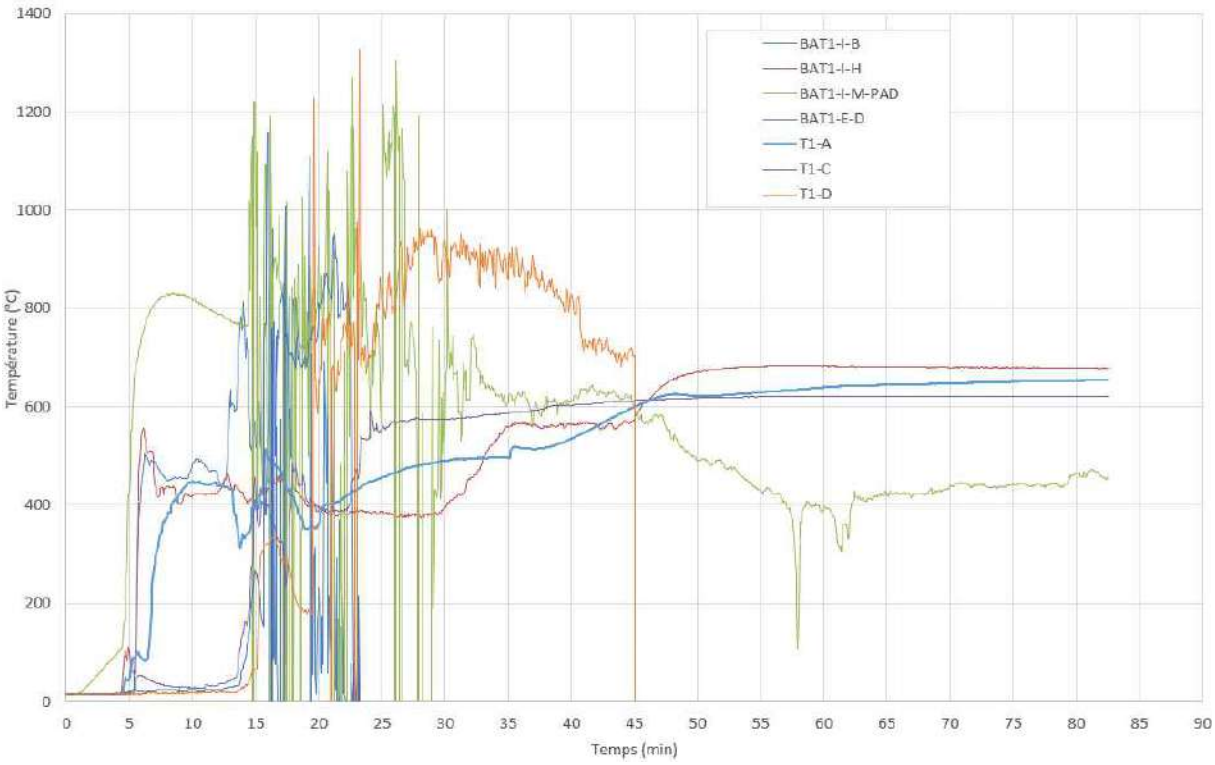


Figure 13: évolution des températures sur le niveau 1 du palox 1 tout au long de l'essai

Nota :

- le thermocouple T1-B présente des valeurs aberrantes dès la 5e minute et a été retiré des graphiques pour une meilleure lisibilité ;
- les thermocouples dans la batterie instrumentée principale BAT1-I-B et BAT1-I-M présentent des variations aberrantes non physiques à partir d'environ t = 13 min, non prises en compte dans l'analyse des évènements.

La chauffe puis le démarrage en emballement thermique de la batterie instrumentée principale à 4min40s sont facilement identifiables sur la Figure 12.

La montée en température suivante arrive vers 14 min, simultanément sur les colonnes A et C, puis moins d'une minute plus tard sur la colonne D. Ces montées en températures sont synchrones de la propagation du feu aux parois du palox (§ 2.2.2.1, étapes 8 et 9) : elles pourraient avoir été provoquées aussi bien par la combustion de ces parois plastiques, que par le départ en emballement thermique de batteries se trouvant à proximité de ces thermocouples.

Les températures de ce 1er niveau atteignent un maximum d'environ 900 °C avant de se stabiliser durablement autour de 650 °C.

2.2.2.2.2 Palox 1 niveau 2

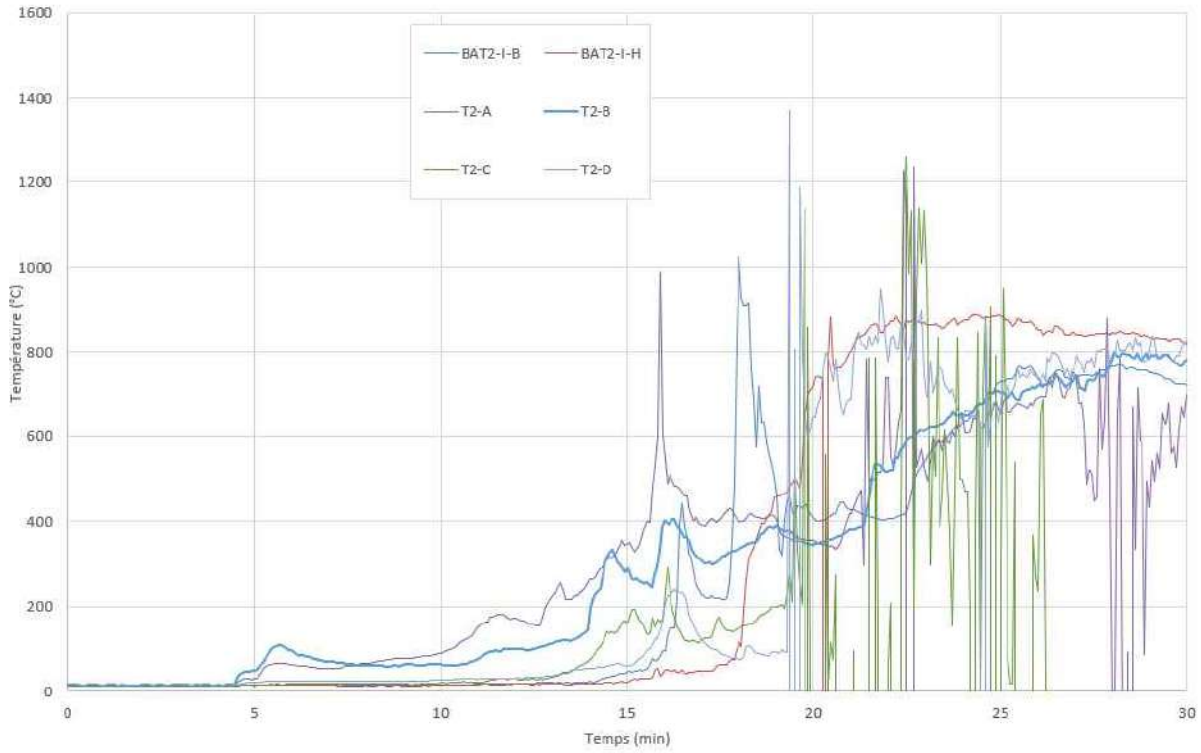


Figure 14: évolution des températures sur le niveau 2 du palox 1 en début d'essai

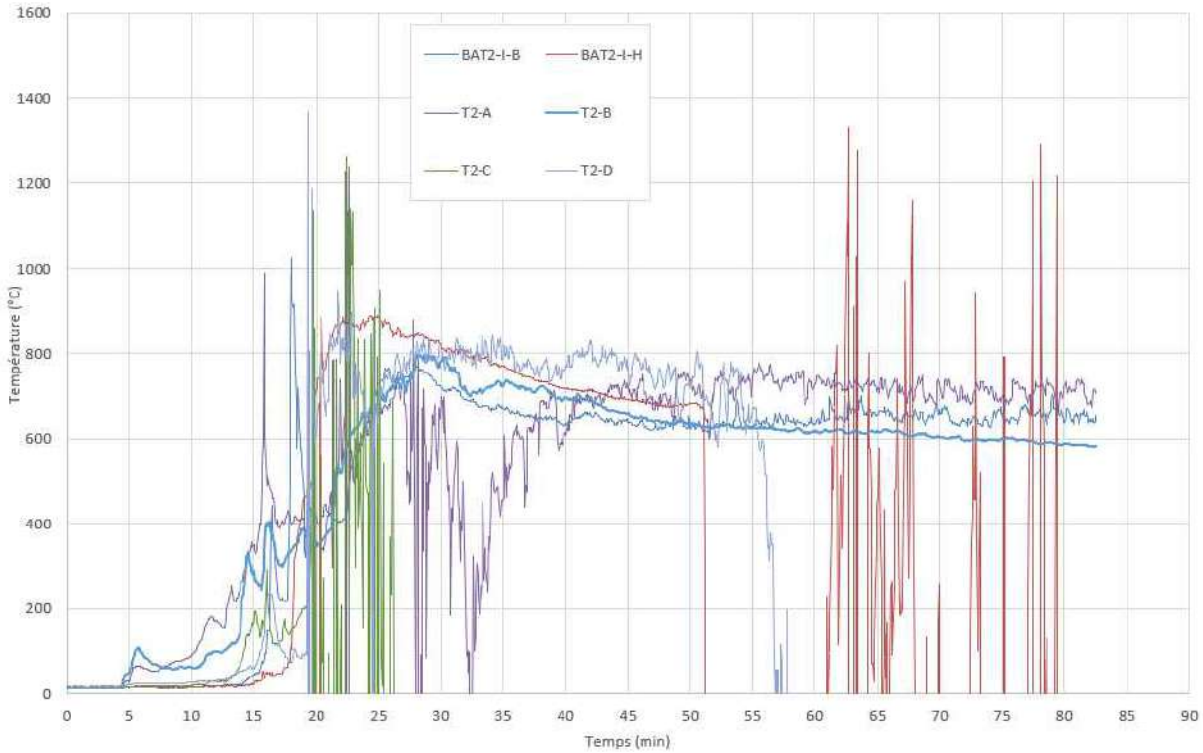


Figure 15: évolution des températures sur le niveau 2 du palox 1 tout au long de l'essai

Nota :

- le thermocouple dans la batterie instrumentée redondante BAT2-I-M présente des valeurs aberrantes à partir de t = 15min. N'apportant que peu d'information supplémentaire par rapport à BAT2-I-B et BAT2-I-H, il a été retiré du graphique pour une meilleure lisibilité ;
- T2-C, T2-D et BAT2-I-B présentent des valeurs aberrantes à partir de la 20^{e} minute, non prises en compte dans l'analyse des évènements ;
- T2-A et BAT2-I-H présentent des valeurs aberrantes respectivement à partir de la 28^{e} et 51^{e} minute, non prises en compte dans l'analyse des évènements.

Avant la propagation du feu au paroi du palox vers 14 min (§ 2.2.2.1, étapes 8 et 9), l'évolution des températures mesurées sur ce second niveau ne présente pas de variation rapide laissant penser à un emballement thermique de batteries sur lesquelles ces thermocouples sont apposés. Les rebonds sur T2-A observés à 11 min puis 12 min40s peuvent malgré tout laisser penser à un emballement thermique d'une cellule Li-ion dans le voisinage de ce thermocouple.

2.2.2.2.3 Palox 1 niveau 3

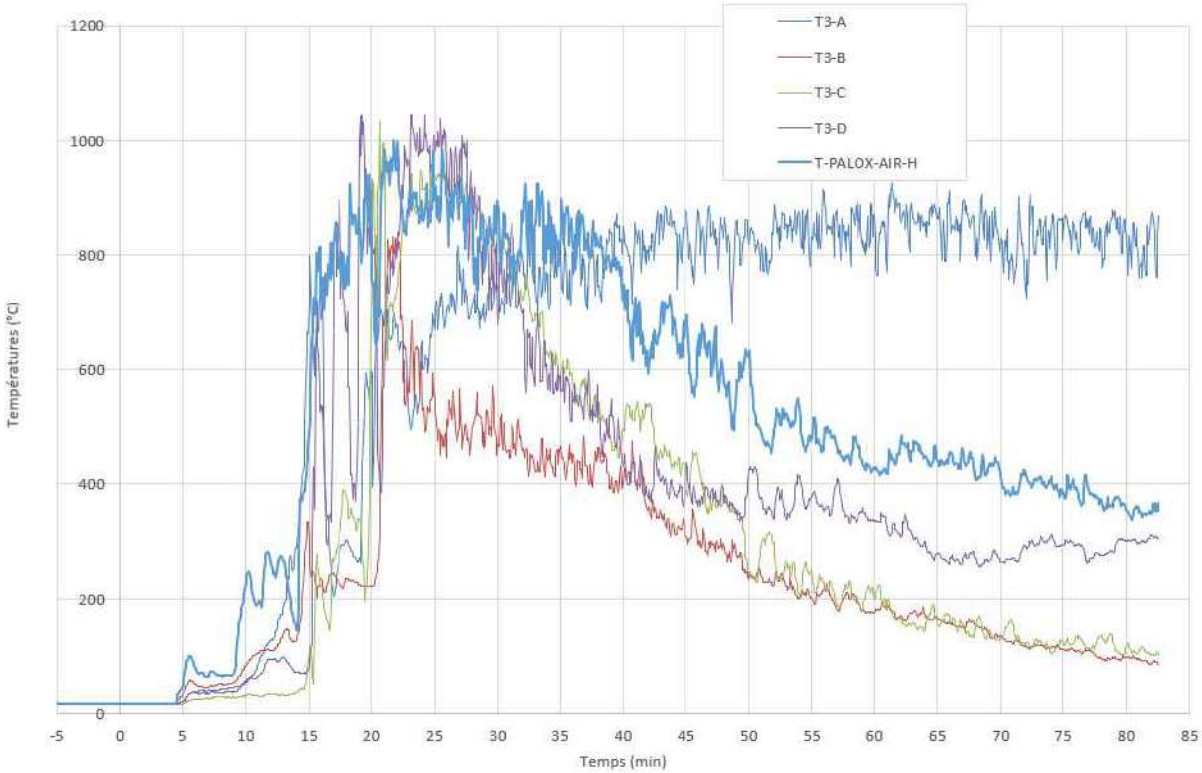


Figure 16: évolution des températures sur le niveau 3 du palox 1 et de son ciel gazeux tout au long de l'essai

Les températures relevées à ce 3e niveau restent sous 200°C jusqu'à t=10min. Elles connaissent ensuite une augmentation brutale à partir de t=14min, instant à partir duquel le feu englobe le palox 1 (§ 2.2.2.1, étape 9). Les températures maximales atteignent environ 1000°C entre t=20min et t=25min.

2.2.2.2.4 Palox haut

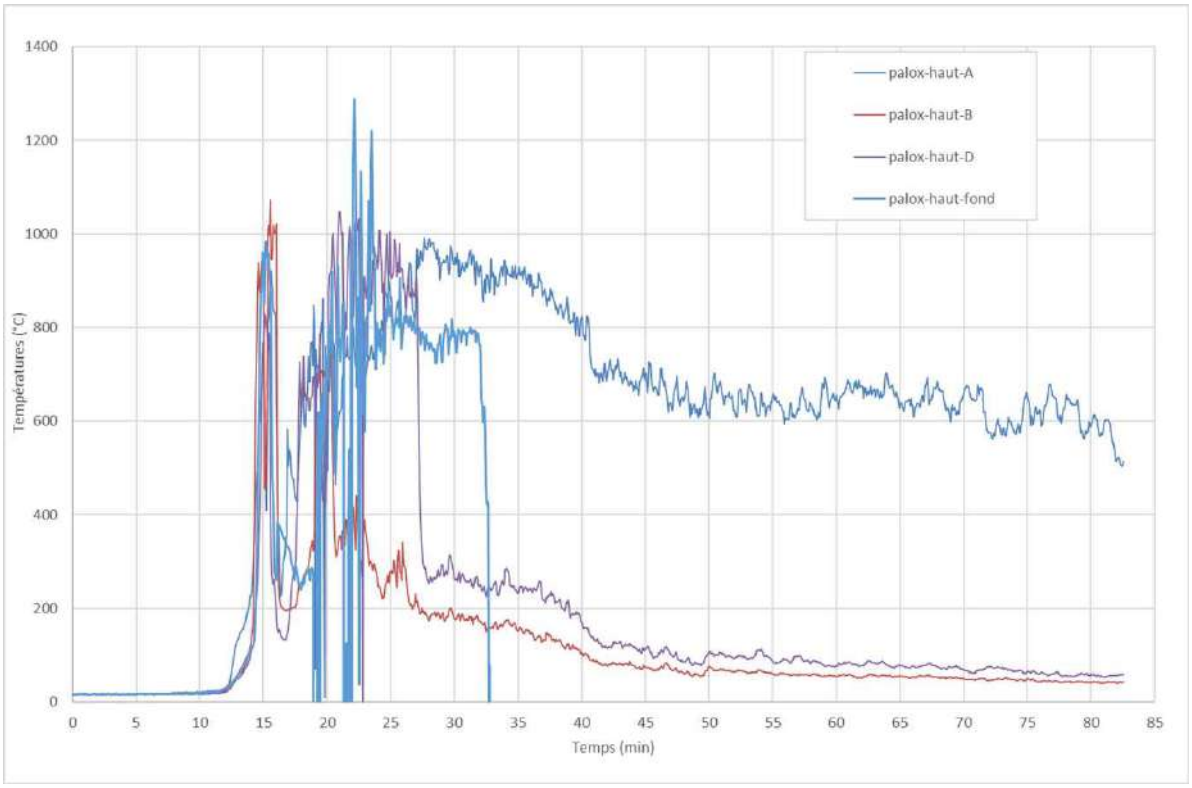


Figure 17: évolution des températures dans le palox du dessus tout au long de l'essai

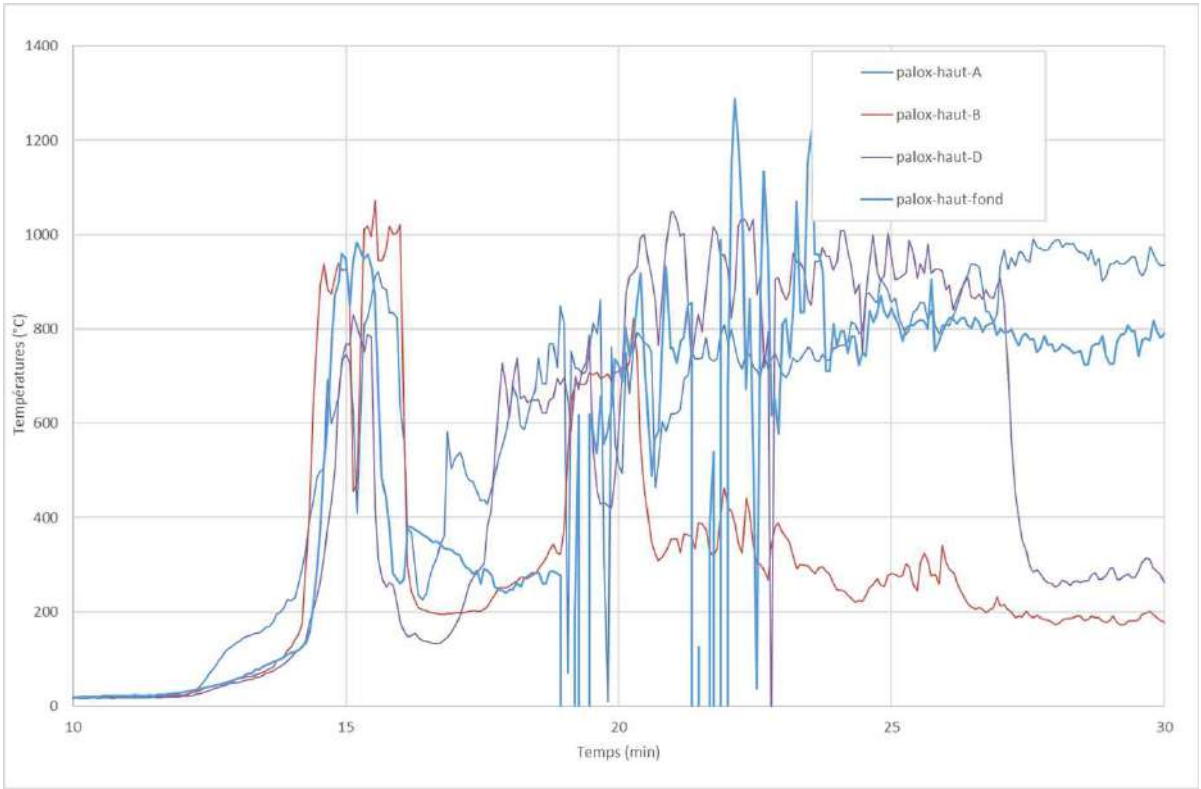


Figure 18: évolution des températures dans le palox du dessus – zoom sur l'intervalle de temps [10min ; 30min]

Nota :

- le thermocouple palox-haut-C présente des valeurs aberrantes à partir de t = 16min. N'apportant que peu d'information supplémentaire, il a été retiré du graphique pour une meilleure lisibilité ;
- Palox-haut-fond et palox-haut-A présentent des valeurs aberrantes à partir de la 19e minute, non prises en compte dans l'analyse des évènements.

Les températures à l'intérieur de ce palox du haut commencent à monter vers 12 min. Cette montée s'accélère soudainement vers 14min30s, passant très rapidement de 200 °C à plus de 800°C. Ceci est synchrone de l'augmentation rapide de l'intensité du feu observée sur la vidéo (§ 2.2.2.1, étape 9).

Entre les minutes 16 et 19, les températures décroissent pour remonter ensuite au-dessus de 800 °C. Cette observation peut s'expliquer par la combustion quasi complète du palox supérieur (diminution des températures) puis l'affaissement des palox : les thermocouples « palox-haut » se retrouvent à nouveau dans le cœur du foyer inférieur. On peut supposer que palox-haut-A et palox-haut-D, non maintenus, quittent ce foyer vers la 25e et 27e minutes.

2.2.2.2.5 Palox côté

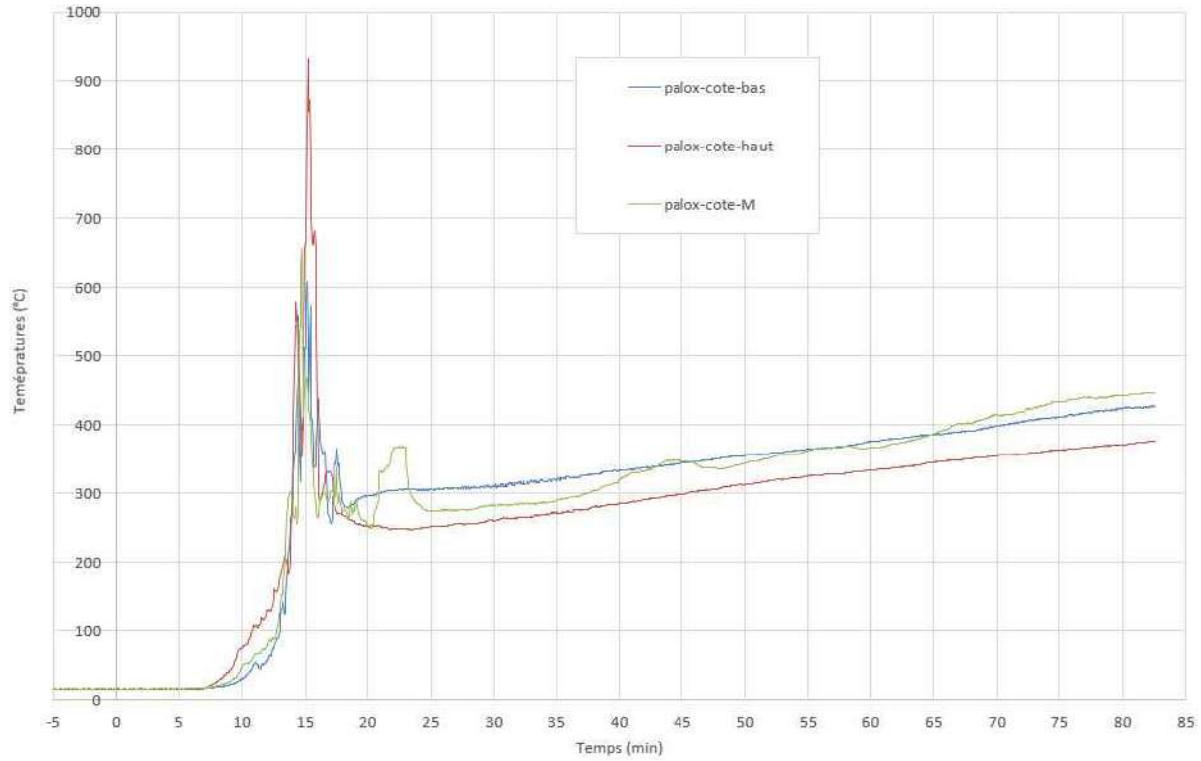


Figure 19: évolution des températures dans le palox du côté tout au long de l'essai

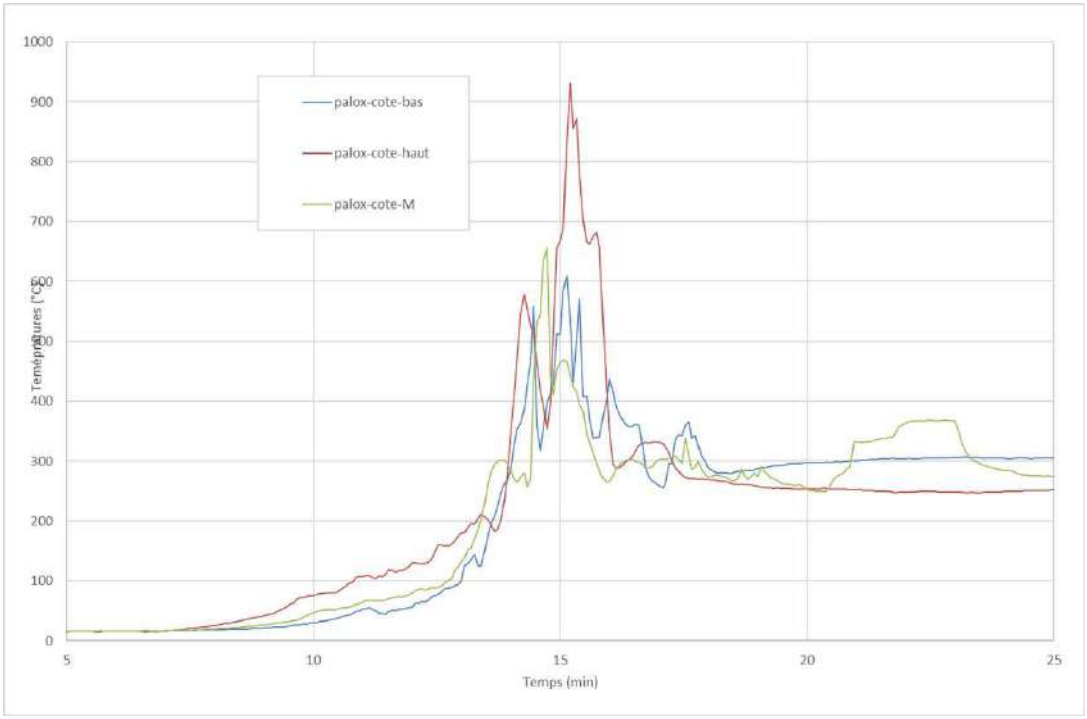


Figure 20: évolution des températures dans le palox de côté – zoom sur l'intervalle de temps [5min ; 25min]

Le palox de côté est plus proche du foyer initial de l'incendie : sa montée en température démarre plus tôt (7min30s), mais de façon plus lente que le palox supérieur. Vers la 14e minute, la montée en température s'accélère, ce qui correspond à l'intensification du feu telle qu'observée sur la vidéo (§ 2.2.2.1, étape 9).

2.2.2.3 Evolution des flux radiatifs

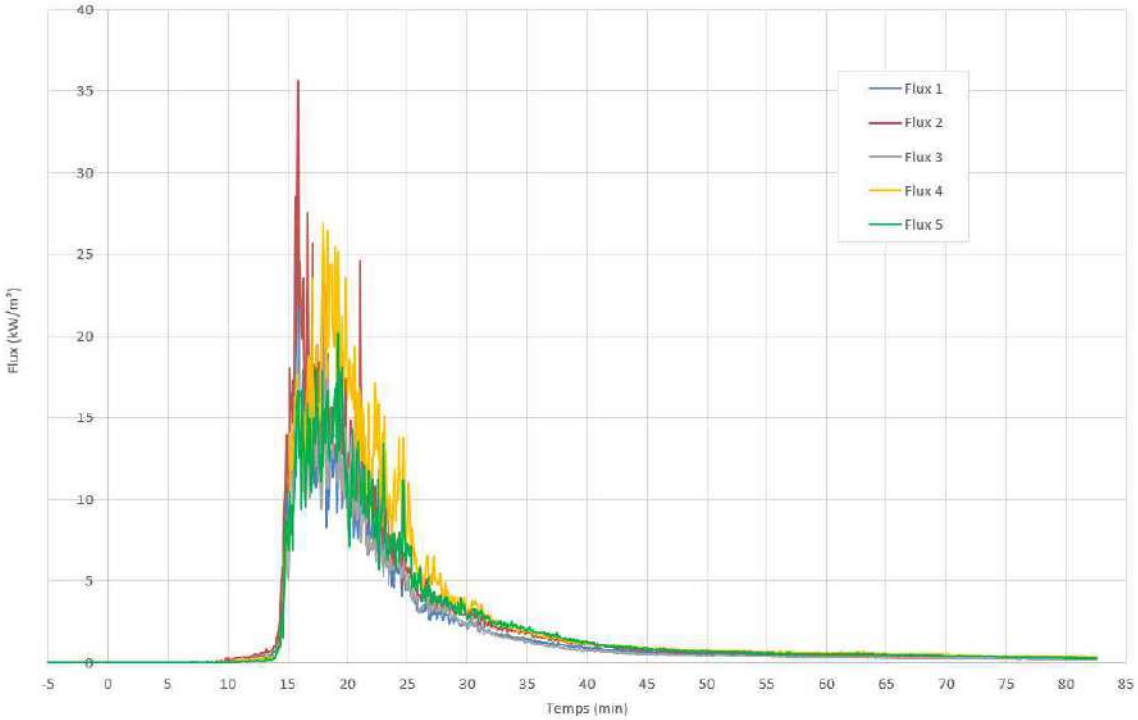


Figure 21 : flux radiatifs mesurés pendant le 1er essai (palox plastique)

Les flux radiatifs mesurés dépassent les 10 kW/m² pendant environ 8 min, et fleurtent avec les 25 kW/m² pendant 5 min, avec un pic ponctuel à 35,6 kW/m². Le seuil des effets dominos (Seuil réglementaire à partir duquel les effets dominos doivent être étudiés) de 8 kW/m² est donc largement dépassé au niveau de ces fluxmètres, situé à 4 m du centre de la chambre d'essai.

2.2.2.4 Emissions gazeuses

L'analyse des gaz réalisée en continu durant l'essai a permis d'établir le bilan présenté dans le Tableau 2 :

	masse mesurée (kg)	**Facteur d'émission (g/kg)**	**volume de gaz (NL)**
CO_2	552.3	2370.4	281176
CO	7.3	31.2	5809
CH_4	0.2	0.8	258
C_2H_4	0.2	0.7	135
C_2H_2	0.2	1.0	196
Formaldéhyde	0.0	0.0	0
H_2	0.1	0.3	750
NO	0.5	2.3	405
NO_2	0.0	0.0	0
N_2O	0.0	0.0	0
NH_3	0.0	0.0	0
HCN	0.0	0.2	36
SO_2	0.0	0.0	0
DMC	0.1	0.4	24
EMC	0.0	0.2	10
EC	0.1	0.3	15
HF	0.5	2.0	525
HCl	0.6	2.5	353
HBr	0.0	0.0	0
SiF_4	0.0	0.0	2
POF_3	0.0	0.0	1
Eau	260.4	1117.7	324 085
	TOTAL (eau non comprise)		**289 695**

Tableau 2 : bilan des gaz libérés lors du 1er essai (palox plastique)

Les débits des différents gaz mesurés sont calculés à partir de leur concentration et du débit d'aspiration des fumées, et présentées dans les figures suivantes.

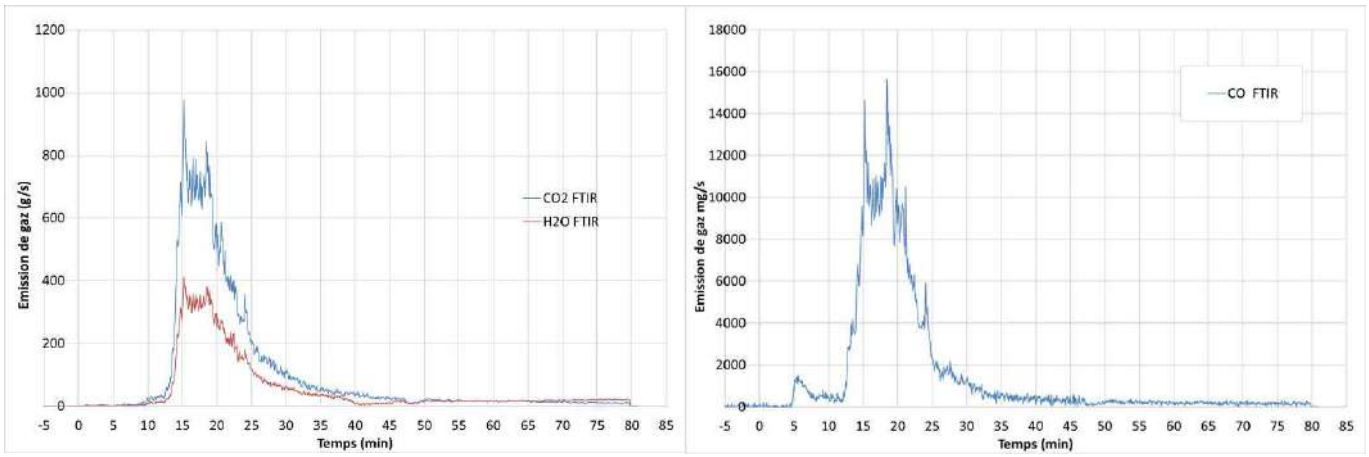


Figure 22 : débit massique du CO_2, de l'H_2O et du CO mesuré pendant le 1er essai (palox plastique)

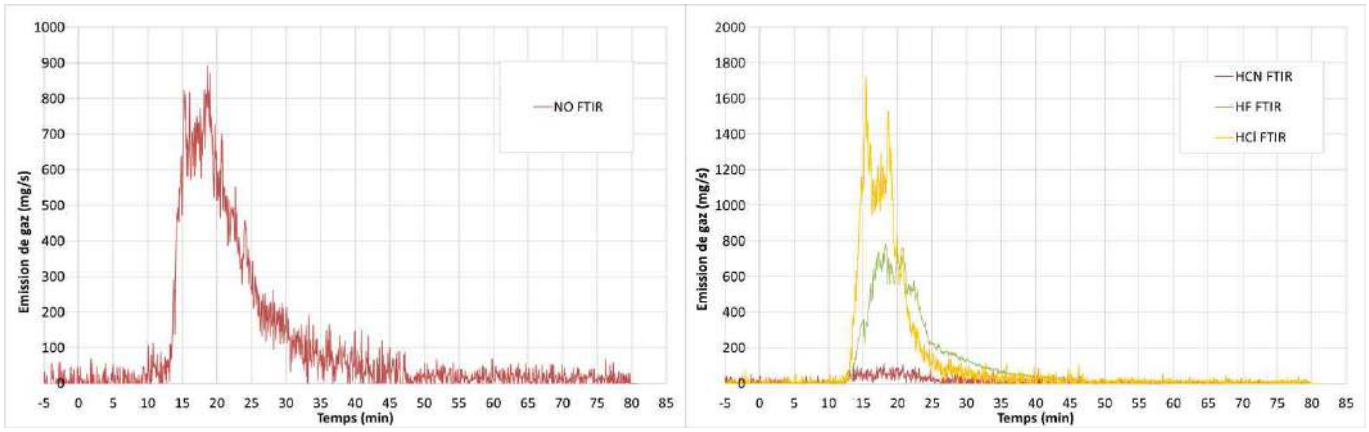


Figure 23 : débit massique du NO, et des acides (HCN, HF, HCl) pendant le 1er essai (palox plastique)

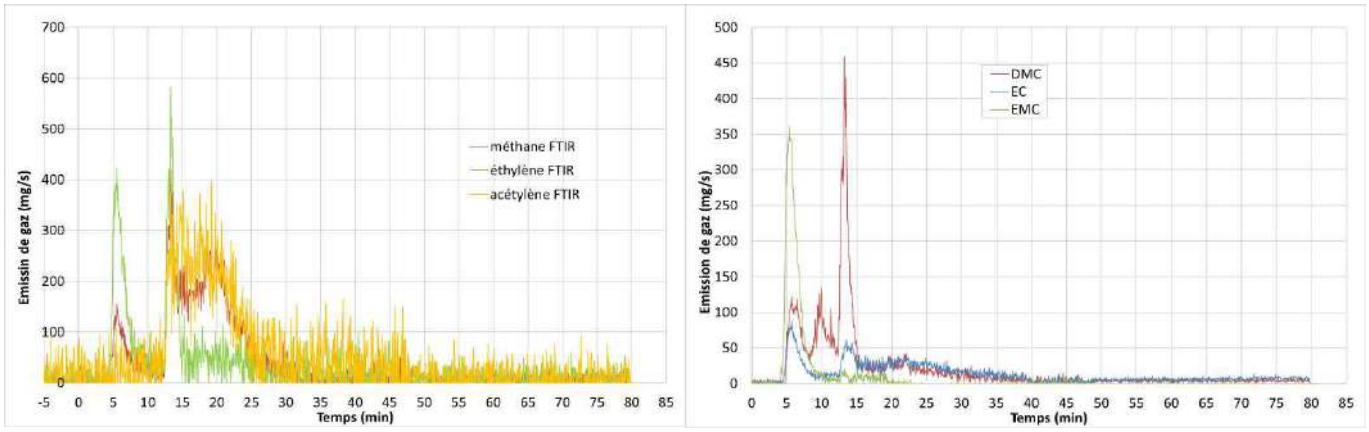


Figure 24 : débit massique des hydrocarbures (CH_4, C_2H_4, C_2H_2) et des carbonates (DMC, EC et EMC) pendant le 1er essai (palox plastique)

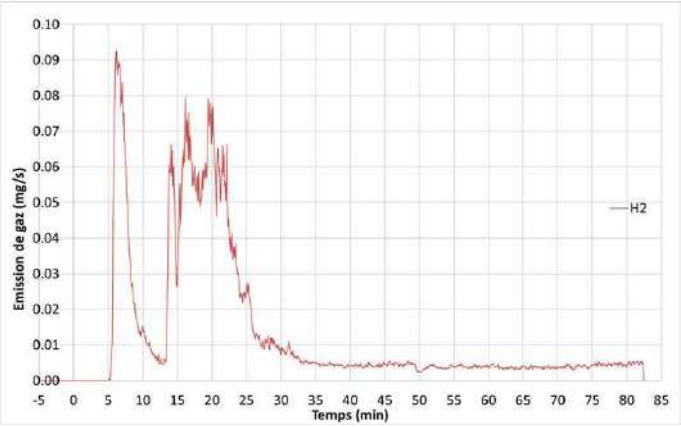


Figure 25 : débit massique de l'H_2 pendant le 1er essai (palox plastique)

Les émissions de carbonates (DMC, EC et EMC), produits typiquement libérés par les cellules Li-ion pendant leur dégazage, sont concentrées en début d'essai, lors de l'emballement thermique des premières batteries. Une fois les flammes apparues, les carbonates sont consommés au fur et à mesure de leurs émissions par combustion, et ne sont donc plus détectés dans le produit gazeux final.

Les hydrocarbures (CH_4, C_2H_4, C_2H_2) et le dihydrogène apparaissent également dès le début de l'essai durant la phase fumigène. Ces gaz sont également typiquement libérés par les cellules Li-ion lors de leur dégazage. On retrouve également ces gaz lors de la phase de feu intense, mais leur débit n'augmente pas comparativement au début d'essai. Pourtant, le nombre de cellules Li-ion en emballement thermique est bien plus important durant cette phase : tout comme les carbonates, les hydrocarbures et le dihydrogène libérés lors de la phase intense du feu sont très majoritairement oxydés lié certainement aux températures élevées et sont donc transformés en produit de combustion.

Le feu ayant été intense et la combustion quasi complète, il est normal d'obtenir une grande quantité de CO_2 et d'eau, dont la génération augmente de façon concomitante à l'intensification du feu vers 14min30s, puis diminue ensuite progressivement avec la décroissance du feu.

Les émissions de NO, et de gaz acides (HCN, HCl, HF), produits finaux de combustions, sont également synchrones de la phase intense du feu. Le HCl n'est généralement pas présent lors de la combustion de cellule Li-ion seule : sa présence en quantité significative lors de cet essai peut s'expliquer non pas par la présence de cellules Li-ion, mais par la combustion des pièces entourant la batterie (plastique, électronique, …). La présence de HF en quantité relativement importante ne peut être attribuée exclusivement à la présence de cellules Li-ion, même si elles y contribuent. Les différents constituants des batteries (enveloppes plastiques, cartes électroniques, …) sont également susceptibles de libérer du HF en quantité non négligeable.

2.2.2.5 Débit calorifique et énergie

Le débit calorifique (couramment appelé HRR pour « Heat Release Rate »), calculé selon la méthode CDG décrite au §2.1.4.6, est présenté sur le graphique de la Figure 26, accompagné de son intégral temporel renseignant sur l'énergie totale libérée depuis le début de l'essai.

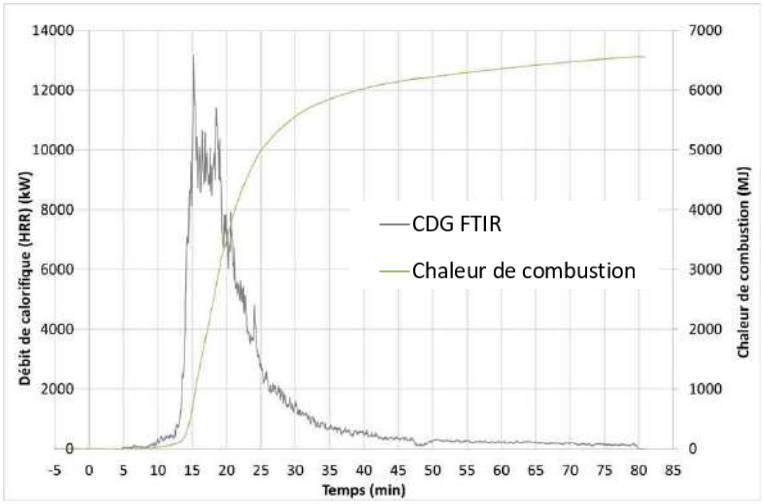


Figure 26 : débit calorifique et énergie libérés pendant le 1er essai (palox plastique)

Le débit calorifique reste d'abord très bas pendant la phase fumigène pour monter très rapidement à 13 MW pic lors de l'intensification du feu, puis se stabilise à environ 10 MW pendant 5 min.

La quantité totale de chaleur de combustion libérée pendant cet essai est de l'ordre de 6000 MJ.

2.2.2.6 Perte de masse et chaleur de combustion

La perte de masse des combustibles durant l'essai est présentée dans la Figure 27.

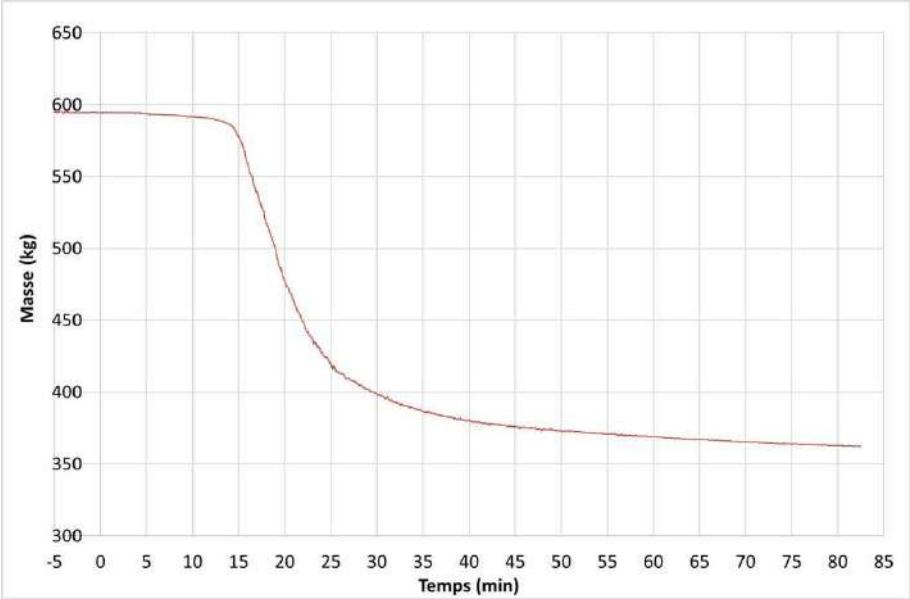


Figure 27 : perte de masse mesurée pendant le 1er essai (palox plastique)

L'ensemble des éléments (batteries usagées et palox plastique) sont ici combustibles. Leur masse initiale est de 595 kg. Cette masse diminue légèrement pendant la phase fumigène et le début de l'incendie, puis chute plus rapidement à partir de la 15e minute, lors de l'intensification du feu, pour arriver en fin d'essai à 362 kg. La perte de masse est de 233 kg, soit 39,2 % de la masse de combustible.

La chaleur de combustion se déduit du ratio énergie libérée sur la perte de masse. Elle atteint donc environ 26 MJ/kg perdu, caractéristique de la chaleur de combustion moyenne des principaux polymères (PVC, PE, PP, PUR)

La masse initiale de batteries usagées est d'environ 500 kg.

2.2.2.7 Photo après essai

L'état des palox et de leur contenu après essai peut être observé sur la figure ci-dessous.

Figure 28 : photo des palox après essai

L'état de dégradation est très avancé, la combustion des palox et des batteries semble complète.

2.3 Essai 2 : contenant de type fût métallique

2.3.1 Configuration d'essai

L'objectif de ce second essai est d'observer si, lors de l'emballement thermique d'une batterie au sein d'un fût métallique, celui-ci peut mener à un incendie de l'ensemble des batteries du fût métallique, se propager aux batteries des fûts métalliques voisins, et de mesurer la dynamique de cette propagation, ainsi que les effets thermiques et les émissions gazeuses associées.

En complément des résultats du premier essai, ces données permettront une analyse comparative de la dynamique de propagation en fonction du type de contenant utilisé pour stocker les batteries usagées.

La configuration expérimentale mise en œuvre pour cet essai est illustrée sur la Figure 29. Afin de reproduire les conditions de stockage réelles, huit fûts métalliques, disposés en quatre palettes de deux fûts et formant un ensemble de deux étages de quatre fûts, sont disposés au centre de la chambre d'essai.

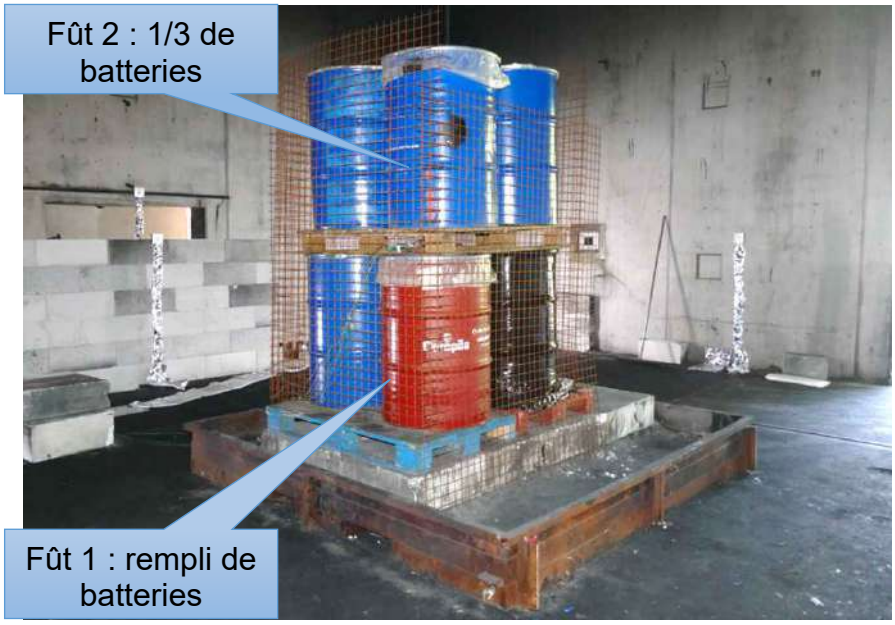


Figure 29: configuration de l'essai 2 : 4 palettes de deux fûts, réparties sur deux étages

Le fût rouge (fût 1) est rempli de batteries usagées (voir § 2.1.2), alors que celui juste au-dessus (fût 2) contient des batteries dans le 1/3 inférieur de son volume. Tous les autres fûts sont laissés vides.

Le fût 2 contient 3 thermocouples permettant de monitorer la température et le possible emballement thermique de ses batteries. La dénomination de ces thermocouples reprend celle établie au § 2.1.4.2, mais en ajoutant FUT2 :

- FUT2-0 : mesure de température au fond du fût 2,
- FUT2-1A et FUT2-1B : mesures de la température au 1er niveau, respectivement colonnes A et B (voir Figure 8).

Afin de ne pas impacter l'étanchéité des fûts, l'ensemble des câbles et thermocouples sortent par un tube métallique soudé au centre du couvercle, puis bouché avec une résine bi-composant supportant les hautes températures.

Figure 30: sortie des câbles et thermocouples étanches

L'ensemble des 8 fûts métalliques ont ensuite été entourés d'un treillis métallique afin d'éviter leur éventuelle chute pendant l'essai.

2.3.2 Résultats

2.3.2.1 Déroulement de l'essai

Le départ en emballement thermique d'une seule batterie a suffi à initier un feu généralisé. La propagation a ensuite été très lente, comme le montrent les principales étapes décrites dans le tableau ci-dessous. Elle a tout de même mené à la combustion complète de l'ensemble des batteries des deux fûts, avec un pic de puissance thermique au bout d'environ 40 min, suivie d'une lente décroissance durant les 20 minutes suivantes amenant à un feu résiduel qui s'est maintenu plus d'une heure.

#	t =	Description
1	0s	Lancement des enregistrements
2	40s	Début de l'agression thermique appliquée à la batterie instrumentée principale
3	4min	Début de l'emballement thermique de la batterie instrumentée principale (voir Figure 31), suivie d'une fumée sortant du fût 1 pendant 1min14s.
4	20min 59s	Dégazages ponctuels limités, pendant 2min30s. Pas ou très peu de fumée visible.

5	22min 24s	Le dégazage de fumée en dehors du fût s'intensifie (avec quelques phases de décroissance), accompagné de bruits sourds laissant penser à de petites explosions dans le fût.
6	28min 03s	Soulèvement du couvercle du fût rempli de batterie par surpression interne. La fumée continue de sortir, plus épaisse.
7	32min 50s	Intensification soudaine du dégazage

8	32min 52s	Inflammation de la fumée présente dans la pièce. Début de combustion des gaz sortant du fût.
9	35min 13s	Percement du fût rempli de batteries sous l'effet de la chaleur. Réaction probable du fût 2

10	39min 35s	L'intensité du feu semble être maximale.
11	65min	Décroissance du feu déjà marquée, qui continue de diminuer en intensité.

2.3.2.2 *Evolution des températures*

2.3.2.2.1 Fût 1 niveau 1

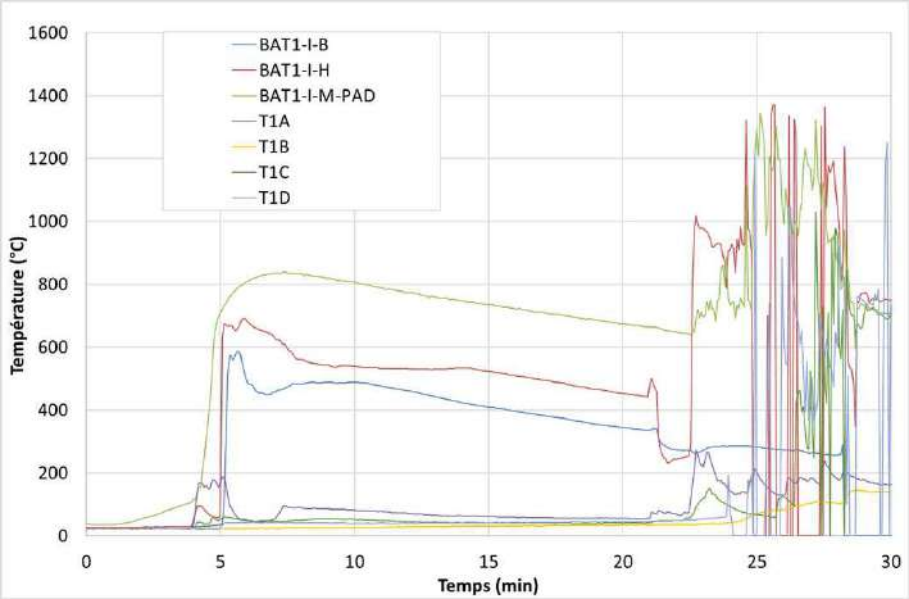


Figure 31: évolution des températures sur le niveau 1 du fût 1 en début d'essai

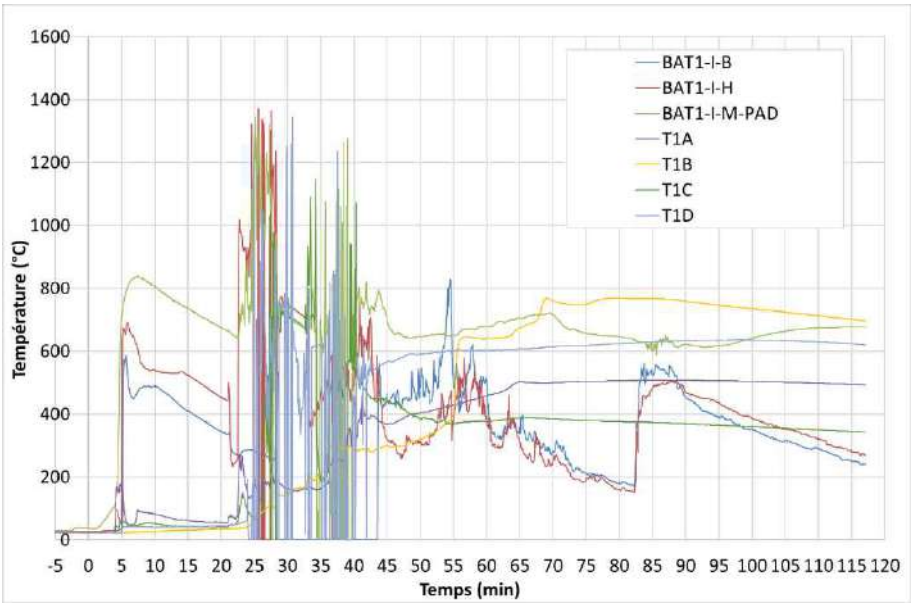


Figure 32: évolution des températures sur le niveau 1 du fût 1 tout au long de l'essai

Nota : plusieurs thermocouples présentent des variations aberrantes (non physiques) à partir d'environ t=24 min, non prises en compte dans l'analyse des évènements.

La chauffe puis le démarrage en emballement thermique de la batterie instrumentée principale à 4min35s sont facilement identifiables sur la Figure 31. La montée en température suivante arrive vers 23 min au niveau de la colonne A (et de la batterie instrumentée principale), puis deux minutes plus tard sur la colonne D. La colonne C monte en température 1 min après, vers t=25 min. Ces montées en températures coïncident avec les dégazages successifs observés sur la vidéo (§ 2.3.2.1, étapes 4 et 5).

Les températures de ce 1er niveau atteignent un maximum d'environ 800 °C avant de se stabiliser durablement autour de 650 °C.

2.3.2.2.2 Fût 1 niveau 2

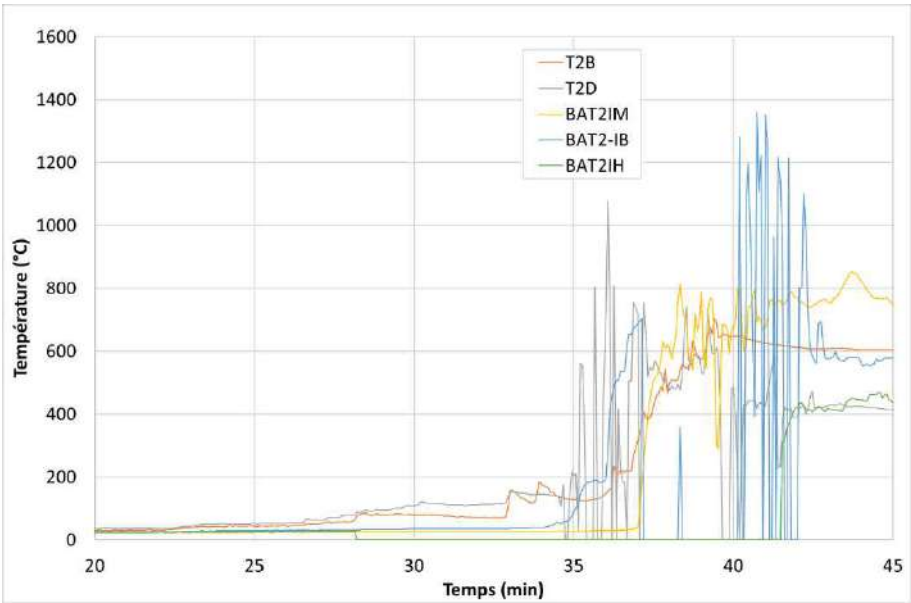


Figure 33: évolution des températures sur le niveau 2 du Fût 1 en début d'essai (intervalle de temps [20min ; 45min])

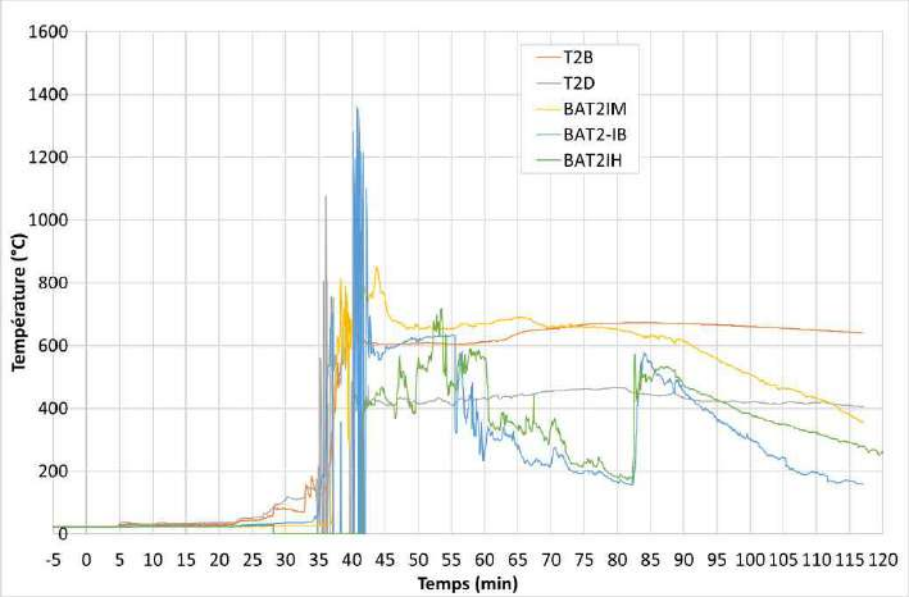


Figure 34: évolution des températures sur le niveau 2 du Fût 1 tout au long de l'essai

Nota : les thermocouples BAT2IH, T2D et BAT2-IB présentent des variations aberrantes (non physiques) à partir de t=28 min, t=34 min et t=37 min respectivement, non prises en compte dans l'analyse des évènements.

Les températures mesurées sur ce 2nd niveau augmentent progressivement et restent sous 200°C jusqu'à t=36 min, instant auquel BAT2-IB passe très rapidement à plus de 600°C, suivie par BAT2IM et T2B dans les deux minutes suivantes. Ces instants correspondent à l'apparition des flammes autour des fûts (§ 2.3.2.1, étapes 9 et 10), faisant monter les températures et provoquant le départ en emballement thermique d'autres batteries.

2.3.2.2.3 Fût 1 niveau 3

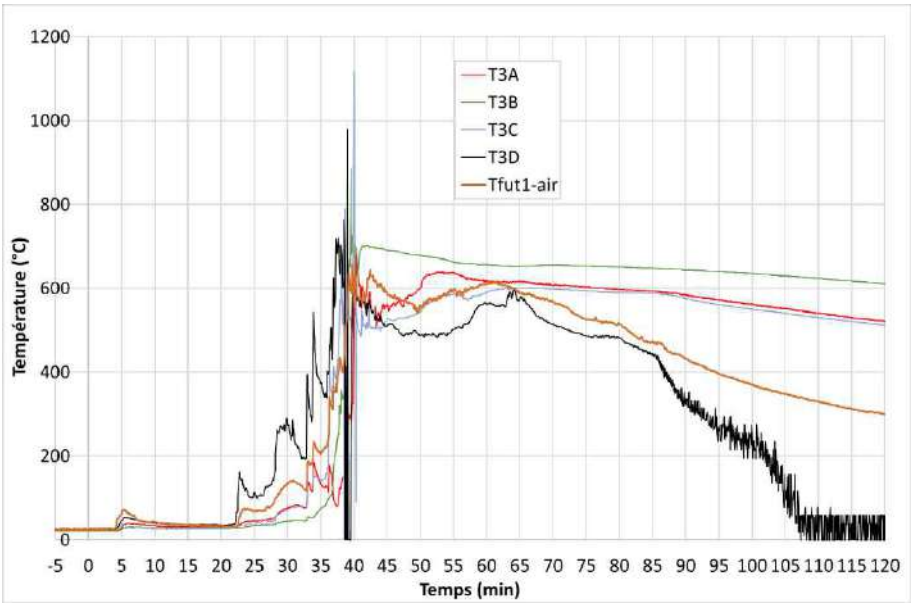


Figure 35: évolution des températures sur le niveau 3 du Fût 1 et de son ciel gazeux tout au long de l'essai

Les températures relevées à ce 3e niveau restent sous 200°C jusqu'à t=28 min, coïncidant avec le soulèvement du couvercle du fût par surpression (§2.3.2.1, étape 6). Elles connaissent ensuite une augmentation rapide à partir de t= 33min, d'abord sur T3D puis sur toutes les autres mesures dans les 5 minutes suivantes. Comme pour le niveau 2, ces instants correspondent à l'apparition des flammes autour des fûts (§ 2.3.2.1, étapes 9 et 10), faisant monter les températures et provoquant le départ en emballement thermique d'autres batteries.

Les températures maximales atteignent environ 700 °C vers t=40 min pour décroitre progressivement ensuite.

2.3.2.2.4 Fût 2 (haut)

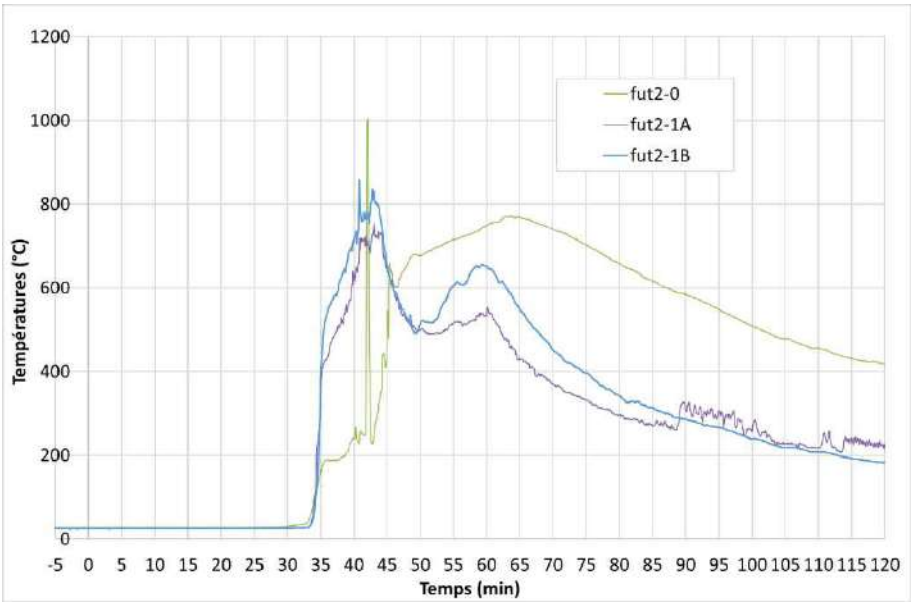


Figure 36: évolution des températures dans le Fût 2 (fût du dessus) tout au long de l'essai

Les températures à l'intérieur de ce fût supérieur commencent à monter sensiblement vers t=33 min, c'est-à-dire au moment de l'apparition des premières flammes (§ 2.3.2.1, étape 8). A partir de cet instant, certaines batteries de ce fût semblent être parties rapidement en emballement thermique, car les températures augmentent de 200 °C à 500 °C en moins d'une minute.

Les températures de ce fût 2 atteignent un maximum d'environ 800 °C vers t=40 min, instant auquel le feu semble atteindre son maximum d'intensité (§2.3.2.1, étape 10).

2.3.2.3 Evolution des flux radiatifs

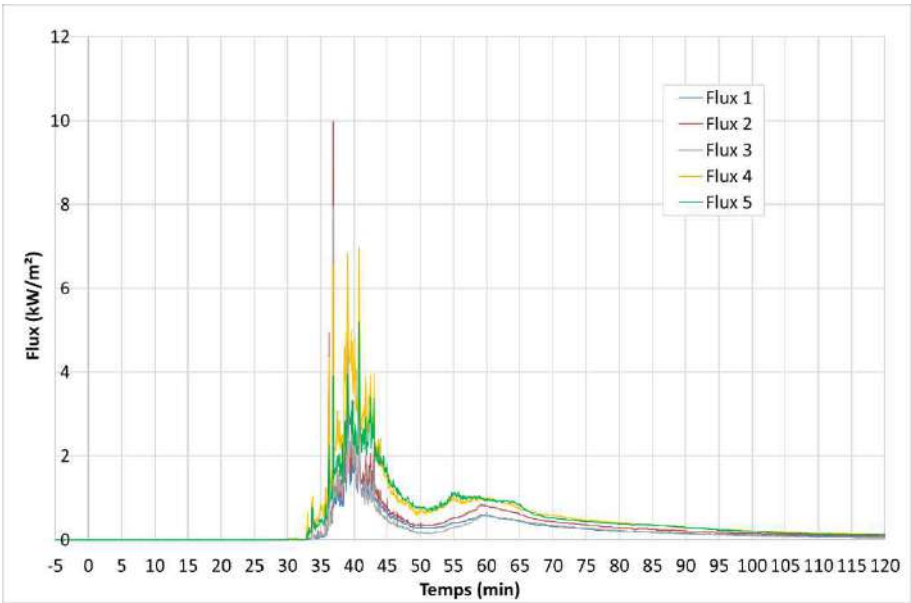


Figure 37 : flux radiatifs mesurés pendant le 2e essai (fûts métalliques)

Les flux radiatifs mesurés restent modérés et dépassent les 2 kW/m² pendant environ 7 min, s'approchent des 5 k/m² pendant 4 min, avec un pic ponctuel à 10 kW/m². Bien que supérieur au seuil des effets domino de 8 kW/m², ce pic est toutefois extrêmement bref (< 1s), ce qui n'est généralement pas suffisant pour propager l'incendie aux corps combustibles environnants situés à une distance similaire de celle des fluxmètres.

2.3.2.4 Emissions gazeuses

L'analyse des gaz réalisée en continu durant l'essai a permis d'établir le bilan présenté dans le Tableau 3 :

	masse mesurée (kg)	**Facteur d'émission (g/kg perdu)**	**volume de gaz (NL)**
CO_2	186.4	1566.4	94897
CO	5.9	49.3	4697
CH_4	0.4	3.4	559
C_2H_4	0.2	1.5	143
C_2H_2	0.1	0.5	56
Formaldéhyde	0.0	0.0	0
H_2	0.1	1.2	1599
NO	0.2	1.7	148

	masse mesurée (kg)	Facteur d'émission (g/kg perdu)	volume de gaz (NL)
NO_2	0.0	0.0	0
N_2O	0.0	0.0	0
NH_3	0.0	0.0	0
HCN	0.0	0.2	24
SO_2	0.0	0.0	0
DMC	0.6	5.4	159
EMC	0.2	1.9	48
EC	0.0	0.3	10
HF	0.0	0.4	49
HCl	0.2	1.8	133
HBr	0.0	0.0	0
SiF_4	0.0	0.3	7
POF_3	0.0	0.0	0
Eau	76.6	643.6	95 304
	TOTAL (eau non comprise)		**102 528**

Tableau 3 : bilan des gaz libérés lors du 2e essai (fûts métalliques)

Les débits des différents gaz mesurés sont calculés à partir de leur concentration et du débit d'aspiration des fumées, et présentées dans les figures suivantes.

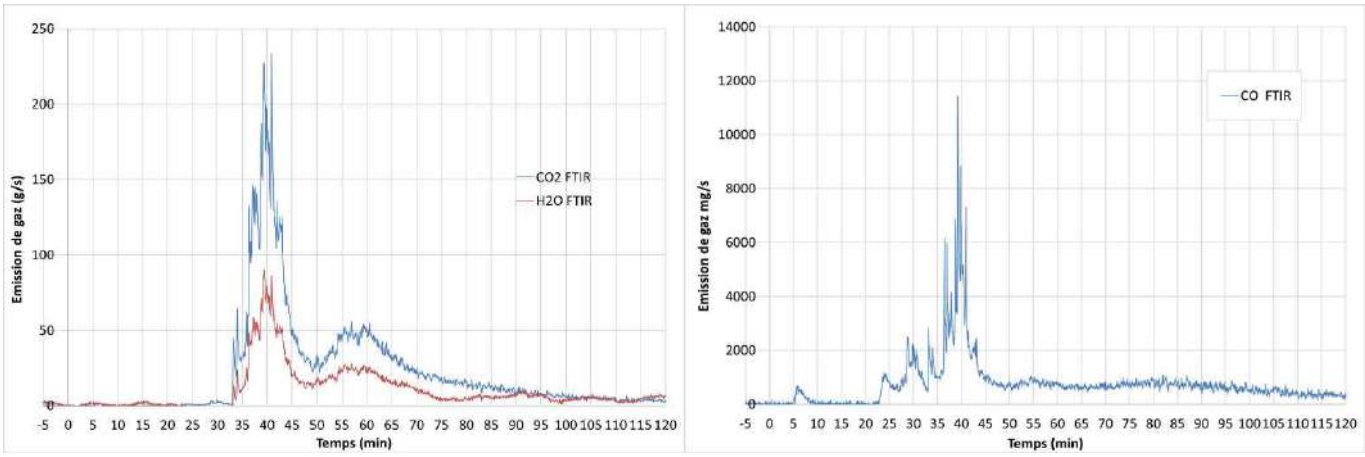


Figure 38 : débit massique du CO_2, de l'H_2O et du CO mesuré lors du 2e essai (fûts métalliques)

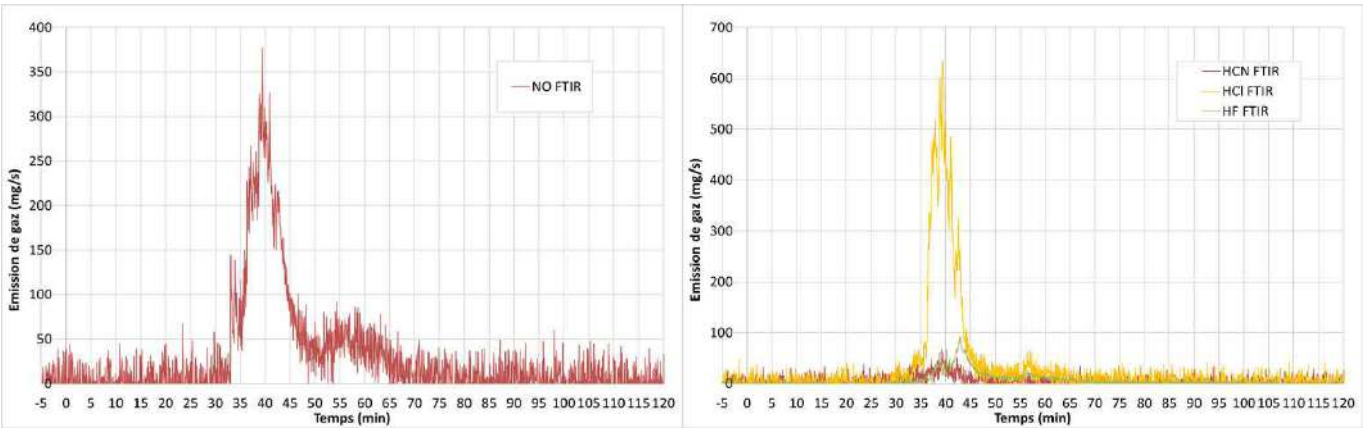


Figure 39 : débit massique du NO, et des acides (HCN, HF, HCl) lors du 2e essai (fûts métalliques)

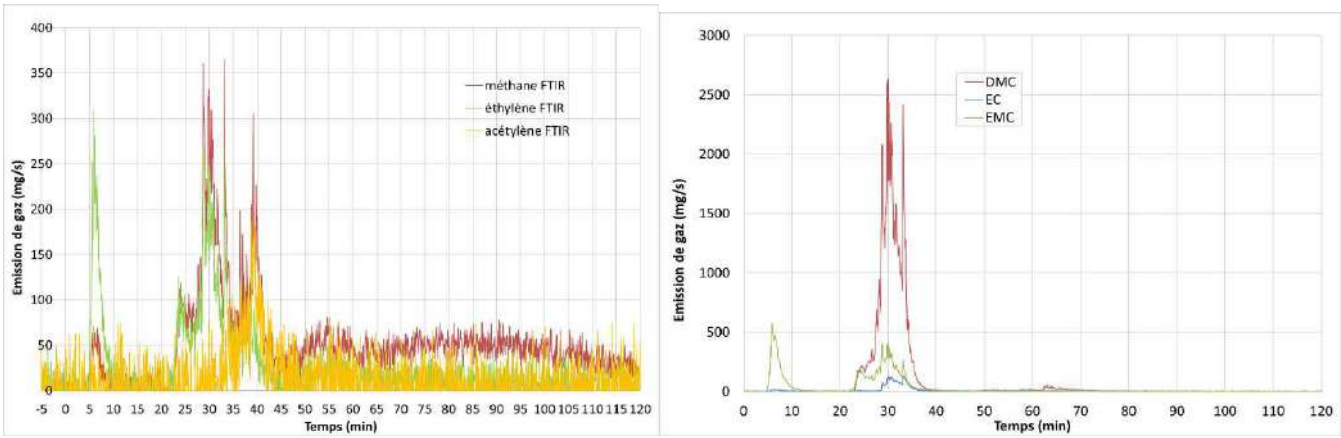


Figure 40 : débit massique des hydrocarbures (CH_4, C_2H_4, C_2H_2) et des carbonates (DMC, EC et EMC) lors du 2e essai (fûts métalliques)

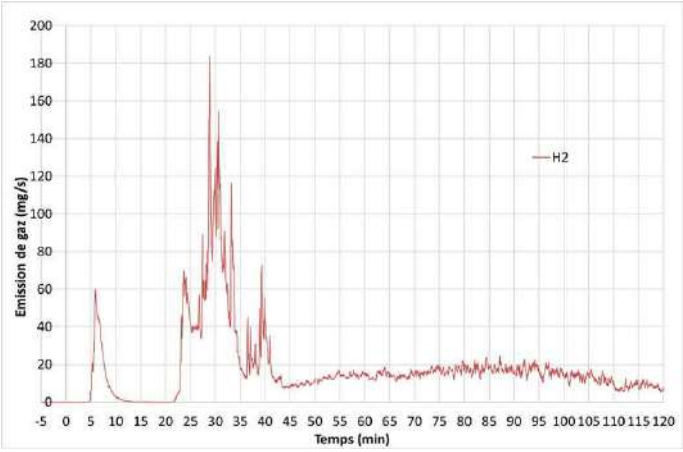


Figure 41 : débit massique de l'H_2 lors du 2e essai (fûts métalliques)

Les émissions de carbonates (DMC, EC et EMC), produits typiquement libérés par les cellules Li-ion pendant leur dégazage, sont concentrées durant les phases fumigènes : en début d'essai, lors de l'emballement thermique de la première batterie et les premières fumées visibles (§ 2.3.2.1, étape 3), puis lors de la reprise des dégazages et avant inflammation des fumées (§ 2.3.2.1, étapes 4 à 7). Une fois les flammes apparues, les carbonates réagissent sous l'effets de la chaleur au fur et à mesure de leurs émissions par combustion, et ne sont donc plus visibles dans le produit gazeux final.

Les hydrocarbures (CH_4, C_2H_4, C_2H_2) et le dihydrogène apparaissent également durant les deux phases fumigènes de cet essai. Ces gaz sont également typiquement libérés par les cellules Li-ion lors de leur dégazage. On retrouve également ces gaz lors de la phase de feu, mais leur débit est plus réduit que lors de la phase fumigène (minutes 23 à 33). Pourtant, le nombre de cellules Li-ion en emballement thermique est bien plus important durant cette phase : tout comme les carbonates, les hydrocarbures et le dihydrogène libérés lors de la phase du feu sont très majoritairement oxydés et sont donc transformés en produit de combustion.

Le feu gagnant ensuite en intensité, la combustion devient alors quasi complète, il est normal d'obtenir une grande quantité de CO_2 et d'eau, dont la génération augmente de façon concomitante à l'intensification du feu vers 33 min, puis diminue ensuite progressivement avec la décroissance du feu.

Les émissions de NO, et de gaz acides (HCN, HCl, HF) sont également synchrones de la phase intense du feu, de la 35e à la 45e minute. Le HCl n'est généralement pas présent lors de la combustion de cellule Li-ion seule : sa présence en quantité significative lors de cet essai s'explique non pas par la présence de cellules Li-ion, mais par la combustion des pièces entourant la batterie (plastique, électronique, …). La présence de HF ne peut être attribuée exclusivement à la présence de cellules Li-ion, même si elles y contribuent. Les différents constituants des batteries (enveloppes plastiques, cartes électroniques, …) sont également susceptibles de libérer du HF.

Le profil des émissions gazeuses est donc très similaire à celui du 1er essai. La principale différence réside dans une phase fumigène plus longue, suivie d'une phase de feu moins intense et moins longue.

2.3.2.5 Débit calorifique et énergie

Le débit calorifique (couramment appelé HRR pour « Heat Release Rate »), calculé selon la méthode CDG décrite au § 2.1.4.6, est présenté sur le graphique de la Figure 42, accompagné de son intégral temporel renseignant sur l'énergie totale libérée depuis le début de l'essai.

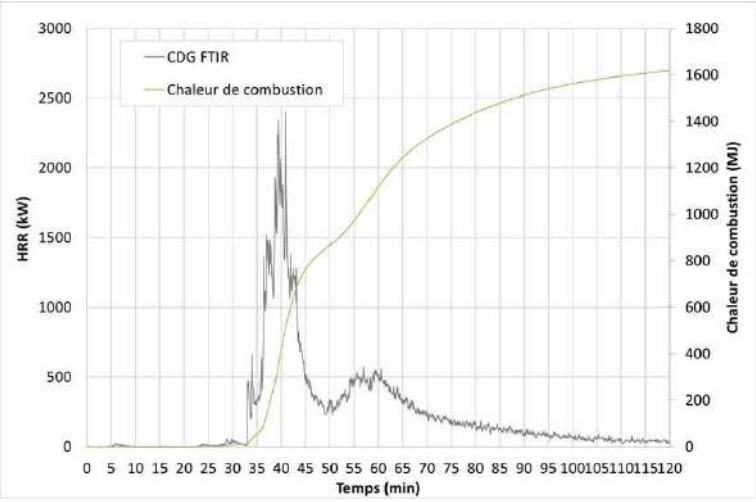


Figure 42 : débit calorifique et énergie libérés lors du 2e essai (fûts métalliques)

Le débit calorifique reste d'abord très bas pendant la phase fumigène pour monter par palier à 0,5 kW, puis 1,3 kW, puis 2 kW. Ces 3 niveaux correspondent respectivement à l'apparition des flammes, le percement du fût 1 et l'intensification du feu.

La quantité totale d'énergie libérée pendant cet essai est de l'ordre de 1500 MJ.

2.3.2.6 Perte de masse et chaleur de combustion

La perte de masse des combustibles (palettes et batteries) durant l'essai est présentée dans la Figure 43.

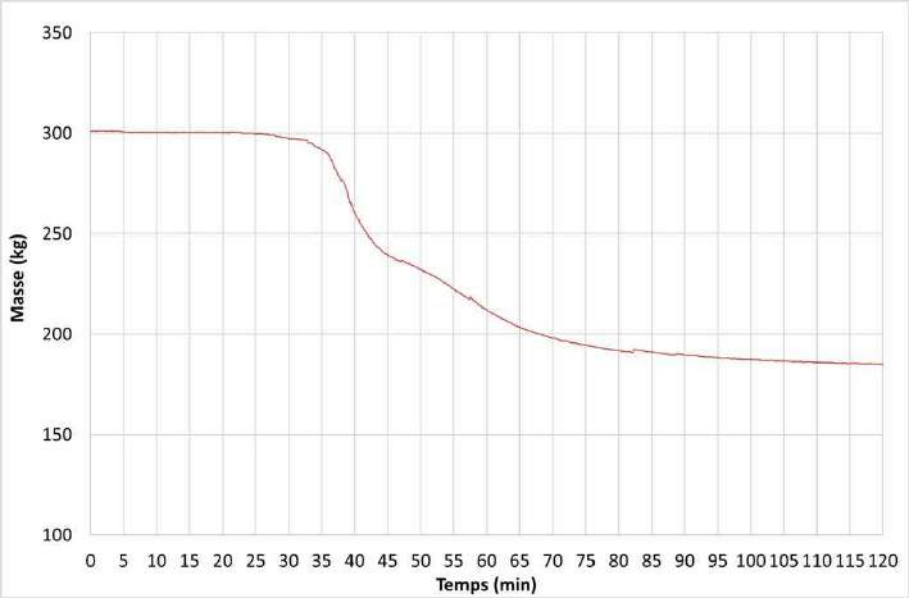


Figure 43 : perte de masse mesurée lors du 2e essai (fûts métalliques)

La masse initiale totale de combustibles (302 kg) ne diminue que très légèrement pendant la phase fumigène, puis chute plus rapidement à partir de la 36e minute, lors de l'intensification du feu, pour arriver en fin d'essai à 183 kg. La perte de masse est de 119 kg, soit 39,4 % de la masse de combustible.

On en déduit une chaleur de combustion de 12,7 MJ/kg perdu ce qui est relativement faible, comparé par exemples à celle des produits cellulosiques qui est de 18 MJ/kg.

La masse initiale de batteries usagées (hors fûts et palettes) est d'environ 220 kg.

2.3.2.7 Photo après essai

L'état des fûts et de leur contenu après essai peut être observé sur la figure ci-dessous.

Figure 44 : photo des fûts après essai (gauche : vue globale, centre : fût initialement rempli de batteries, droite : fût vide)

La combustion des palettes est complète. Le couvercle du fût vide est bombé, provoqué par la montée en pression interne consécutive à son échauffement. Un autre fût vide avait son couvercle partiellement ouvert (le collier de serrage ayant lâché). Le fût initialement rempli de batterie, bien que percé sur son flanc, garde globalement son intégrité mécanique.

2.4 Essai 3 : contenant de type fût métallique avec sprinklage

2.4.1 Configuration d'essai

L'objectif de ce 3e essai est d'estimer l'impact du sprinklage sur la dynamique de propagation de l'incendie, ainsi que sur les effets thermiques et les émissions gazeuses associées.

La configuration expérimentale mise en œuvre pour cet essai est illustrée sur la Figure 45. Afin de reproduire les conditions de stockage réelles, 32 fûts métalliques, disposés en huit palettes de quatre fûts et formant un ensemble de deux étages de seize fûts, sont disposés au centre de la chambre d'essai. Ceci permet de reproduire l'aspect confiné du fût rempli de batterie à partir duquel l'incendie démarre, en limitant le passage de l'eau de sprinklage jusqu'à ce fût.

Figure 45: configuration de l'essai 3 : 8 palettes de quatre fûts, réparties sur deux étages

Sur l'étage inférieur, un fût (appelé « fût bas » ci-après) est rempli de batteries usagées (voir § 2.1.2), alors que celui juste au-dessus (dénommé « fût haut » dans la suite) contient des batteries dans le 1/3 inférieur de son volume. Tous les autres fûts sont laissés vides.

La position des fûts contenant des batteries (Figure 46) a été choisie pour reproduire les conditions les moins favorables pour l'extinction par sprinklage (le fût bas est entouré dans toutes les directions par d'autres fûts).

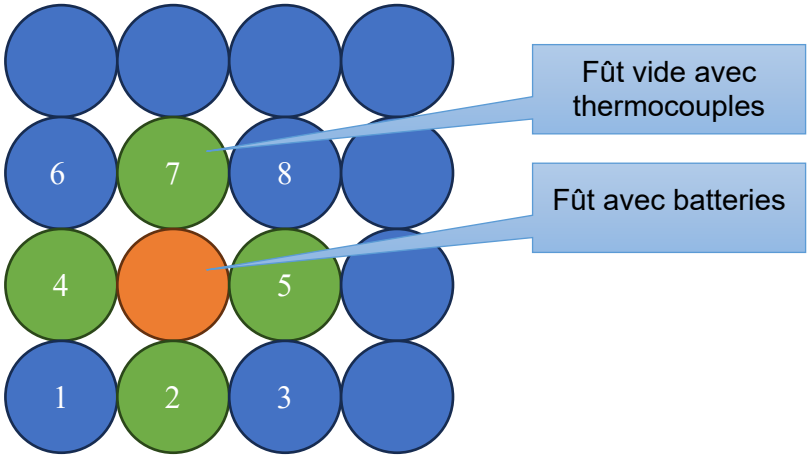


Figure 46: configuration de l'essai 3 : position des fûts avec batterie (vue de dessus)

Le fût haut contient 5 thermocouples permettant de monitorer la température et le possible emballement thermique de ses batteries. La dénomination de ces thermocouples reprend celle établie au § 2.1.4.2 (colonne/niveau), mais en ajoutant FUThaut :

- FUThaut_T0A et FUTbas_T0C : mesure de température au fond du fût haut, respectivement colonnes A et C (voir Figure 8),
- FUThaut-1B et FUThaut-1D : mesures de la température au 1er niveau, respectivement colonnes B et D (voir Figure 8),
- FUThaut_air : température du ciel gazeux dans ce fût haut.

Deux thermocouples additionnels ont également été positionnés dans chacun des fûts vides les plus proches des fûts avec batteries, sur les deux étages de fûts (Figure 46, fûts vert n°2, 3, 4 et 7). Ils sont désignés par vide_E_Tpf_pTC}, avec :

- E : étage du fût, prenant les valeurs « haut » ou « bas »,
- pf : position du fût, identifié par le numéro du fût tel que représenté en Figure 46, prenant les valeurs 2, 3, 4 ou 7,
- pTC : position du thermocouple dans le fût, soit contre la paroi au plus proche du fût avec batterie (suffixe « par »), soit dans l'air au centre du fût (suffixe « air »).

Afin de ne pas impacter l'étanchéité des fûts, l'ensemble des câbles et thermocouples sortent par un tube métallique soudé au centre du couvercle, puis bouché avec une résine bi-composant supportant les hautes températures.

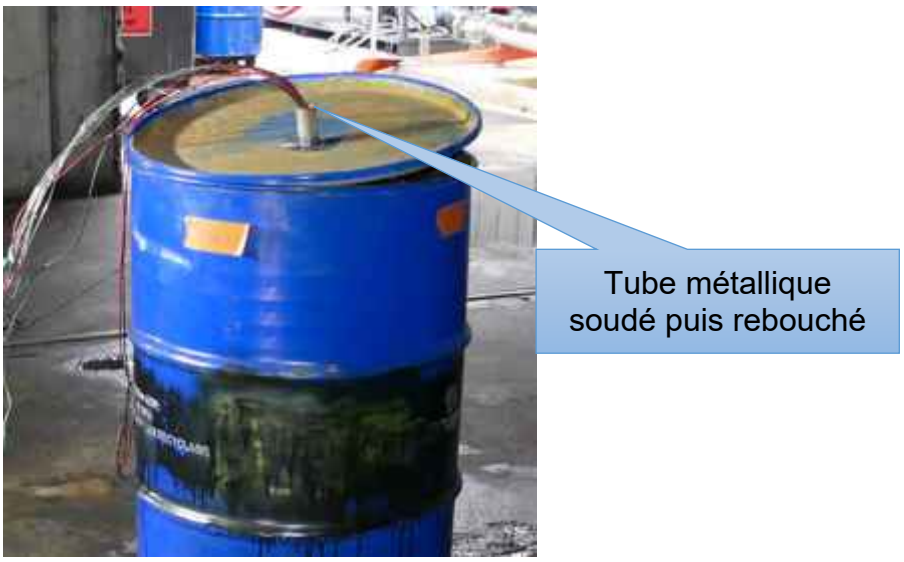


Figure 47: sortie des câbles et thermocouples étanches

L'ensemble des 8 fûts métalliques de l'étage supérieur a ensuite été entouré d'une chaine afin d'éviter l'éventuelle chute des fûts pendant l'essai.

Lors de cet essai, un système de sprinklage a été ajouté dans la chambre d'essai. Ce système a été dimensionné pour obtenir un taux d'application [3] de 12,5 l/m²/min. Il est composé de quatre têtes de sprinklage formant un carré de 3 m de côté, placé à une hauteur au sol de 6 m Figure 48.

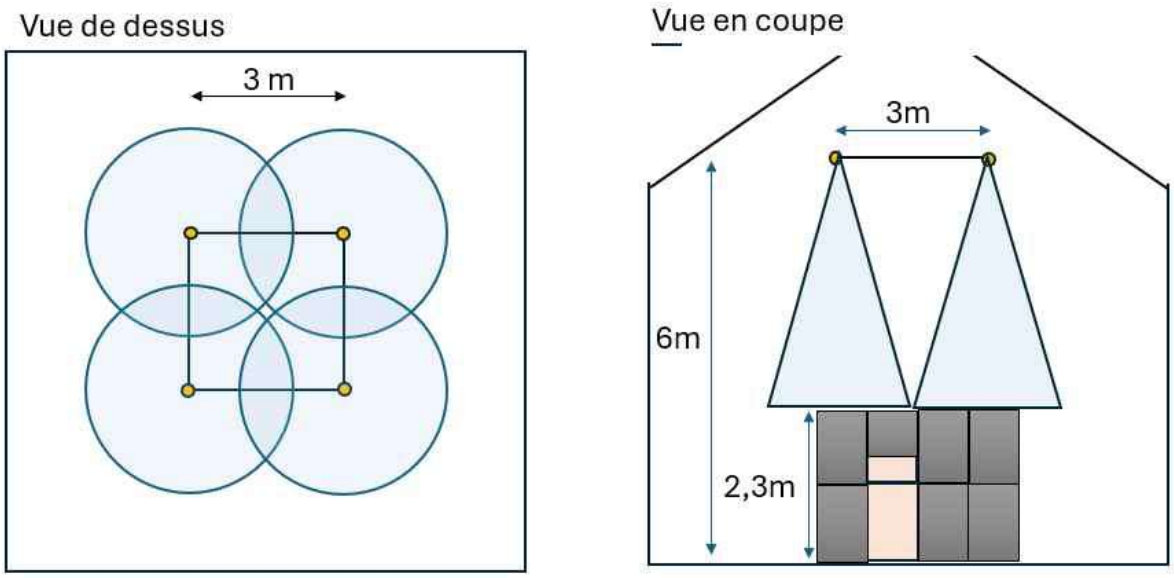


Figure 48: schématisation du système de sprinklage installé lors du 3e essai

2.4.2 Résultats

2.4.2.1 Déroulement de l'essai

Le départ en emballement thermique de la batterie instrumentée n'a pas suffi à initier un feu généralisé. Au bout de 46 minutes, la seconde batterie instrumentée a été chauffée puis et partie en emballement thermique. Malgré ceci, l'emballement thermique ne s'est pas propagé à l'ensemble des batteries de ce fût, ni à celles du fût de l'étage supérieur. Une partie de la palette se trouvant entre les deux fûts contenant des batteries s'est enflammé au bout d'1h50min, entraînant des flammes visibles pendant environ 25 min.

Le sprinklage n'a donc malheureusement pas pu être testé (il n'a pas été déclenché).

#	t =	Description
1	0s	Lancement des enregistrements
2	1s	Début de l'agression thermique appliquée à la batterie instrumentée principale
3	4min 10s	Début de l'emballement thermique de la batterie instrumentée principale (voir Figure 49), suivie d'un bruit de dégazage pendant près de 2 minutes.
4	40min	Quelques bruits sourds entendus pendant 3 minutes, laissant penser à un éclatement de cellules Li-ion par surpression interne
5	46min 10s	Début de l'agression thermique appliquée à la 2e batterie instrumentée.
6	50min 21s	Début de l'emballement thermique de la 2e batterie instrumentée (voir Figure 49), suivie d'une légère fumée grise sortant du fût et d'un bruit de souffle pendant 50s : le fût bas monte en pression interne et la libère progressivement.

[3] Conformément aux exigences de l'APSAD R1, Risque Très Dangereux de type B4, pour une hauteur de stockage de 2,3 m

7	51min 05s	Libération soudaine de la pression interne du fût bas, et apparition ponctuelle de fumée grise plus importante, qui s'estompe rapidement. On peut supposer que le couvercle du fût s'est ouvert à cause d'une pression interne trop importante. A partir de cet instant, une légère fumée peut être devinée sur la vidéo, s'échappant au-dessus des fûts.
8	65min 50s	Bruits sourds accompagnés de l'apparition de fumée plus dense sur le dessus des fûts : de nouvelles cellules Li-ion sont parties en emballement thermique.
9	68min 53s	Nouvelle série de bruits sourds accompagnés d'une légère intensification des fumées : de nouvelles cellules Li-ion sont parties en emballement thermique.
10	80min 59s	Bruits sourds accompagnés d'une intensification des fumées pendant une 30^{aine} de secondes : de nouvelles cellules Li-ion sont parties en emballement thermique.

11	91min à 98min	Poursuite des explosions associées à des dégazages ponctuels, phénomènes de plus en plus rapprochés, laissant penser à une propagation plus marquée de l'emballement thermique au sein du fût bas.
12	109min 12s	Inflammation des gaz, puis maintien des flammes par combustion de la palette en bois. Les dégazages des batteries suivant s'enflamment à leur sortie du fût bas, laissant apparaître ponctuellement des flammes au-dessus des fûts.
13	122min 10s puis 125min 42s puis 129min 11s	Bruit de souffle pendant environ 1 à 2 min, associé à une très légère intensification des flammes, laissant penser à des dégazages successifs de cellules Li-ion (inflammation des fumées sortant du fût sous pression).
14	134min 50s	Fin de la combustion de la palette. Une légère fumée continue à être visible au-dessus des fûts.
15	229min Puis 236min	Nouvelle intensification des fumées libérées et bruits sourds : des cellules Li-ion entrent en emballement thermique plus d'une heure après les derniers évènements constatés.

2.4.2.2 Evolution des températures

2.4.2.2.1 Fût bas niveau 1

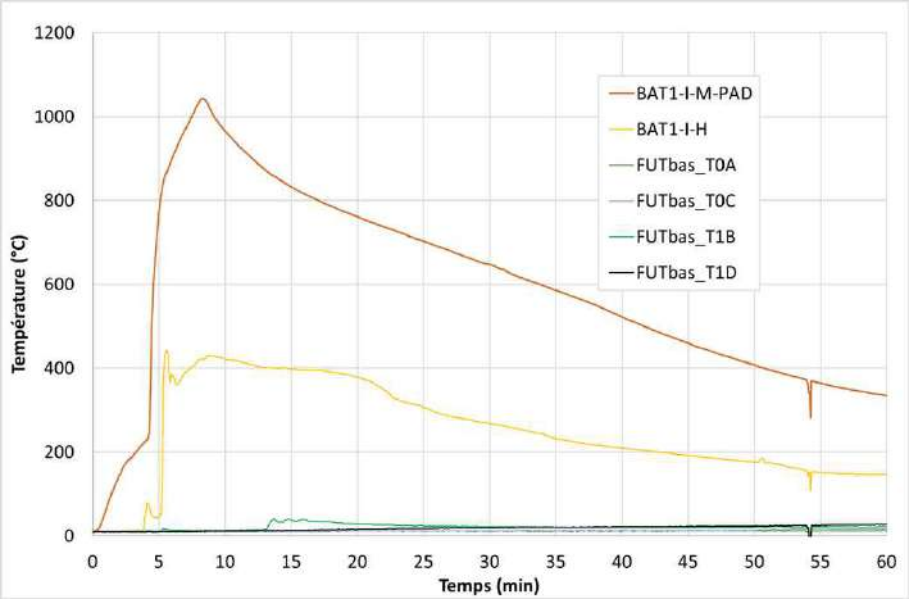


Figure 49: évolution des températures sur le niveau 1 du fût bas en début d'essai

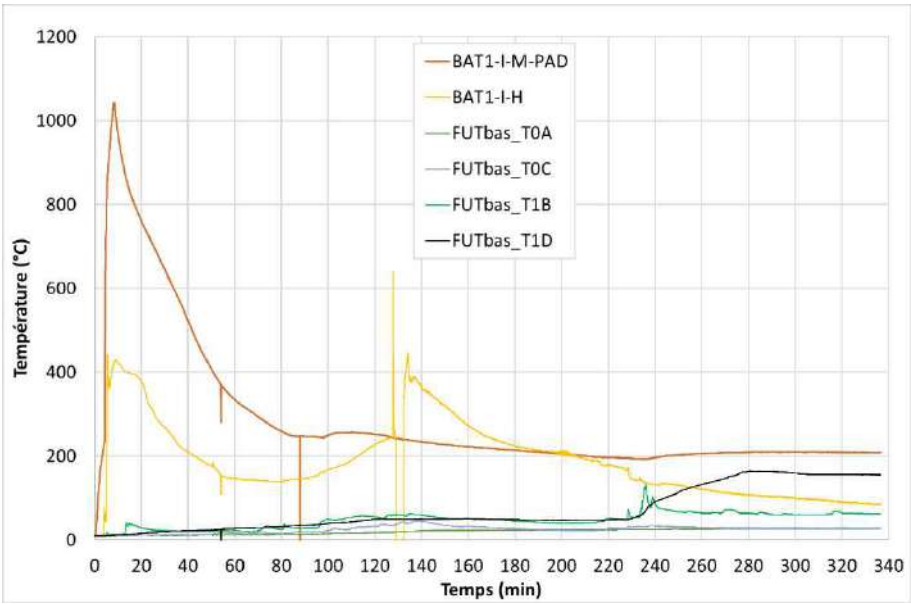


Figure 50: évolution des températures sur le niveau 1 du fût bas tout au long de l'essai

La chauffe puis le démarrage en emballement thermique de la batterie instrumentée principale à 4min10s sont facilement identifiables sur la Figure 49. Jusqu'à la 50e minute, aucun autre évènement notable n'est apparu au niveau 0 et 1 du fût bas.

La montée en température suivante arrive vers 128 min, c'est-à-dire durant les phases de légère intensification des flammes (§ 2.4.2.1, étape 13) : BAT1-I-H est la seule température à augmenter durant cette phase.

2.4.2.2.2 Fût bas niveau 2 et 3

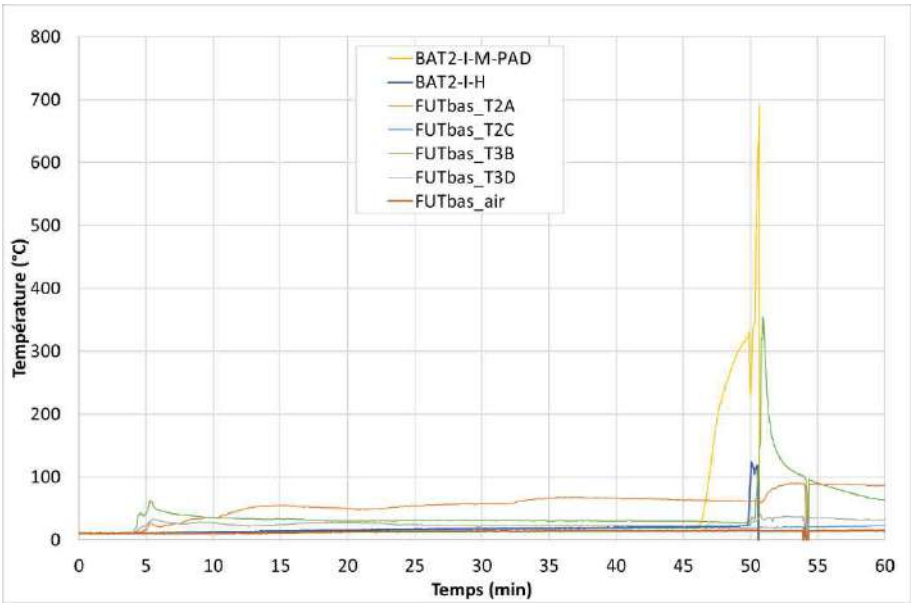


Figure 51: évolution des températures sur les niveaux 2 et 3 du Fût bas en début d'essai

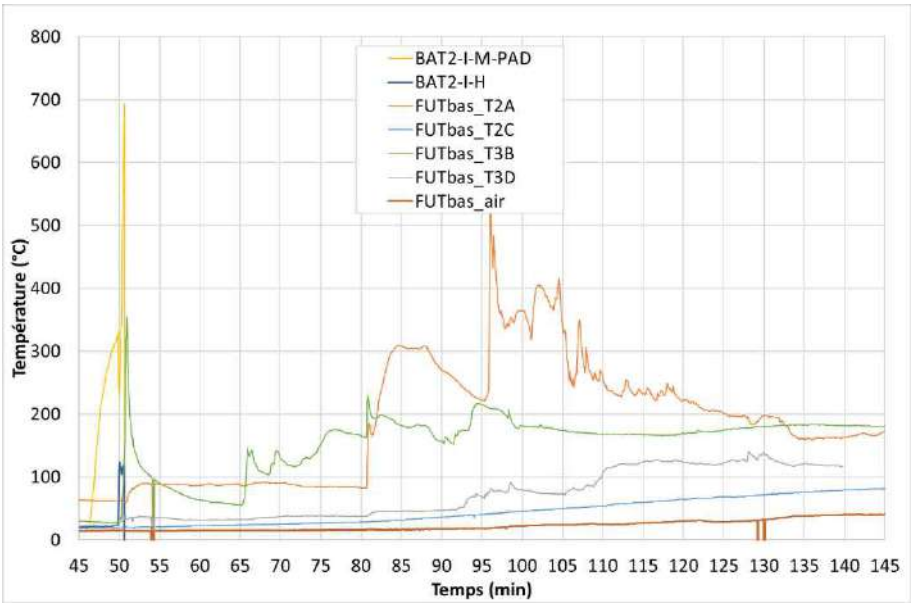


Figure 52: évolution des températures sur les niveaux 2 et 3 du Fût bas après le départ de la 2e batterie instrumentée en emballement thermique

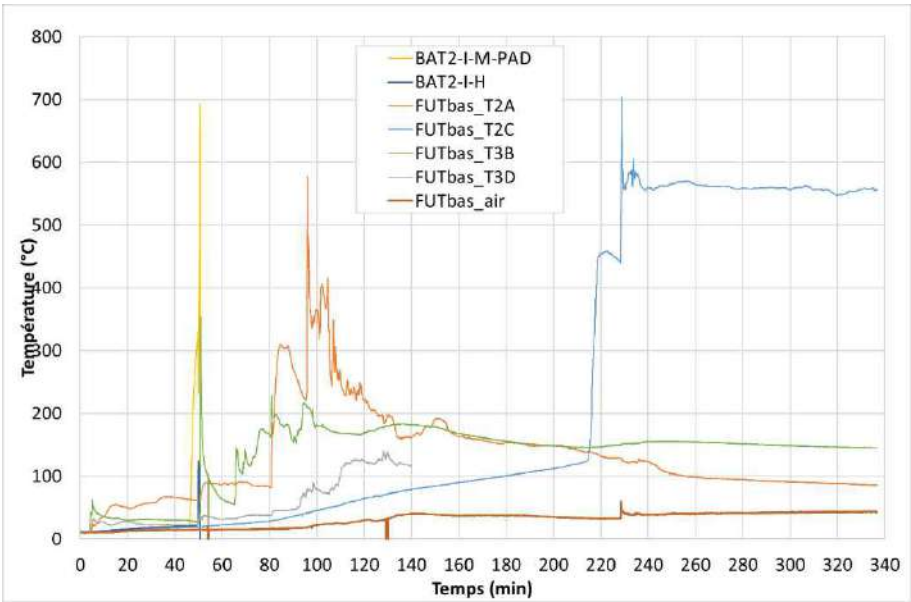


Figure 53: évolution des températures sur les niveaux 2 et 3 du Fût bas tout au long de l'essai

Les températures mesurées sur le 2nd niveau restent très modérées (inférieures à 80 °C) pendant les 45 premières minutes : le départ en emballement thermique de la batterie instrumentée principale n'a pas permis la propagation à d'autres batteries de ce niveau 2.

La 2e batterie instrumentée (se trouvant au niveau 2) a été chauffée puis est partie en emballement thermique à 50min21s (thermocouple BAT2-I-M). Ce nouveau stimulus a provoqué l'emballement thermique d'autres batteries à proximité, comme le montrent les montées en températures successives observées sur T3B à 51min et 65min50s, et sur T2A à 80min50s et 96min (§2.4.2.1, étapes 8 à 11).

Les températures diminuent ensuite progressivement, à l'exception de T2C qui augmente progressivement et détecte l'emballement thermique d'une batterie bien plus tardivement, vers la 220e minute : il est très probable que l'intensification des fumées constatées à l'étape 15 du § 2.4.2.1 trouve son origine au niveau de ce 2e niveau du fût bas.

2.4.2.2.3 Fût haut

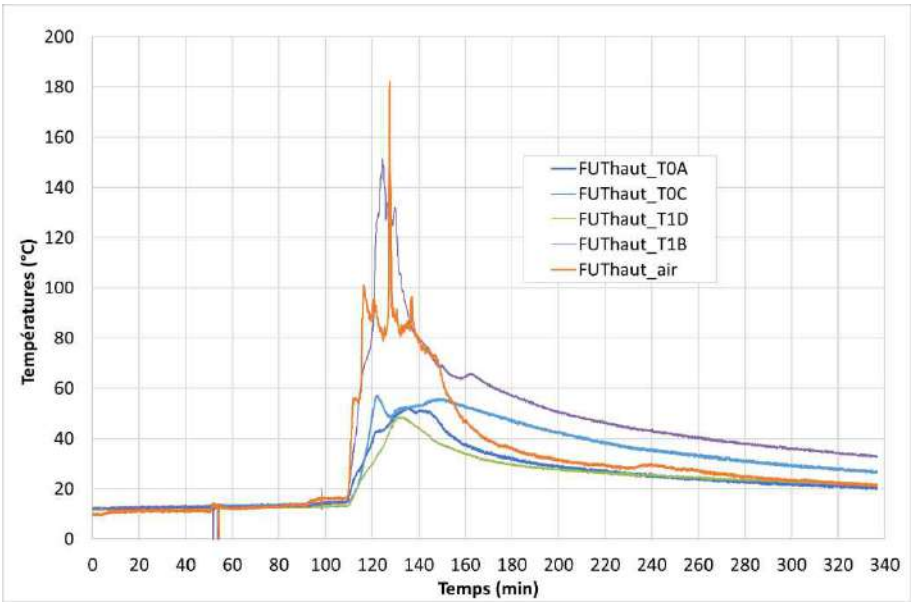


Figure 54: évolution des températures dans le Fût 2 (fût du dessus) tout au long de l'essai

Les températures mesurées dans le fût du haut commencent à augmenter vers t= 110min, pendant l'inflammation de la palette (§ 2.4.2.1, étapes 12 à 14). Elles restent inférieures à 180 °C.

2.4.2.2.4 Fûts vides de l'étage inférieur

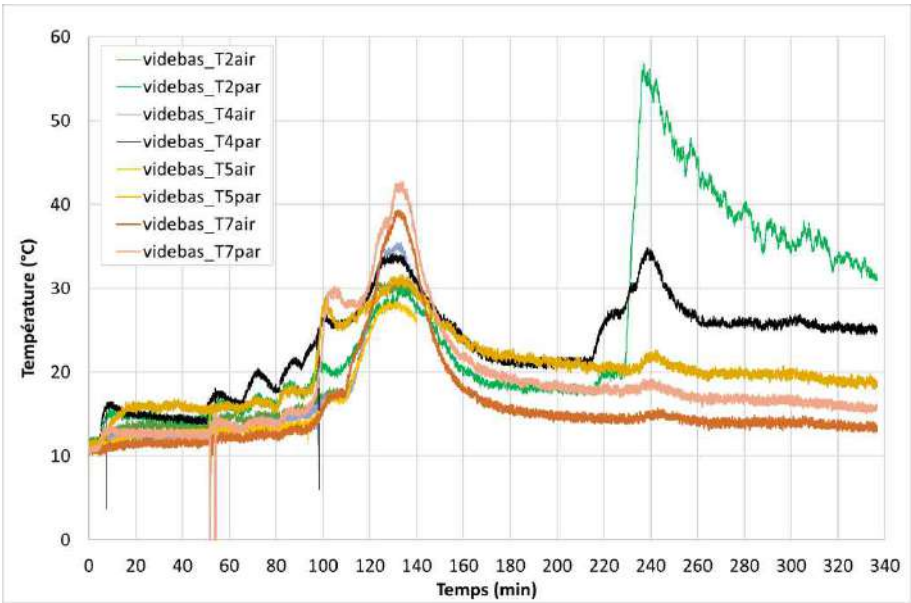


Figure 55: évolution des températures dans les fûts vides de l'étage inférieur tout au long de l'essai

Les températures mesurées dans les fûts vides de l'étage inférieur les plus proches du fût rempli de batterie n'ont pas dépassé 60 °C, température trop faible pour une propagation de l'emballement thermique à des batteries qui se seraient trouvées dans ces fûts.

On note également vers la 220e minute, l'impact de l'intensification des fumées constatées à l'étape 15 du § 2.4.2.1 sur la paroi du fût 2.

2.4.2.2.5 Fûts vides de l'étage supérieur

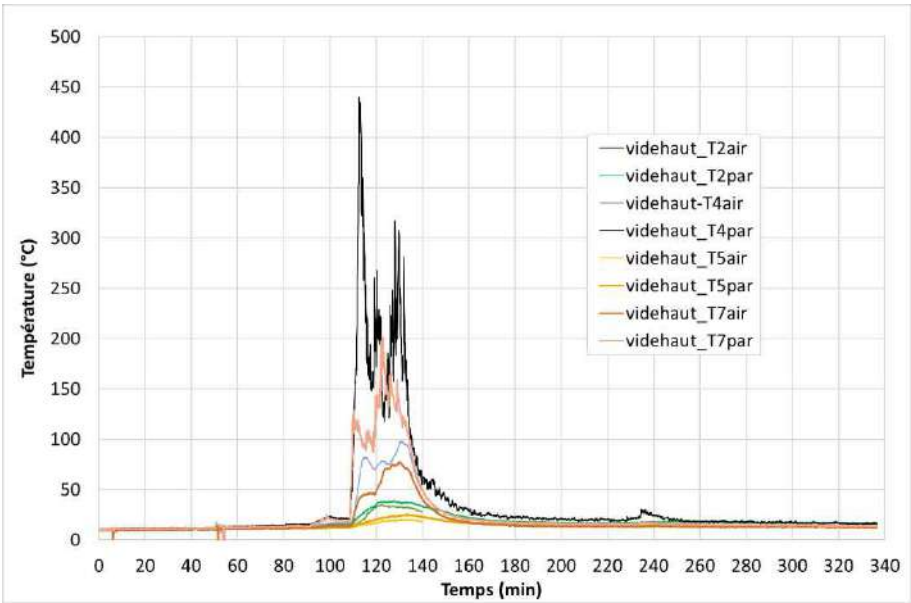


Figure 56: évolution des températures dans les fûts vides de l'étage supérieur tout au long de l'essai

Les températures mesurées dans les fûts vides de l'étage supérieur les plus proches du fût rempli de batterie ont augmenté pendant la phase de l'essai avec inflammation, de la 109e à la 135e minute (§ 2.4.2.1, étapes 12 à 14).

Durant cette période, les fûts 4 et 7 (voir Figure 48) ont vu leur paroi atteindre respectivement environ 200 °C et 150 °C pendant une vingtaine de minutes. La température de l'air interne de ces fûts n'a pas dépassé 100 °C. Compte tenu de la durée des températures élevées de la paroi des deux fûts 4 et 7, il ne peut pas être exclu qu'une batterie qui se serait trouvée en contact avec cette paroi soit partie en emballement thermique, avec un risque de propagation aux autres batteries du fût.

2.4.2.3 Evolution des flux radiatifs

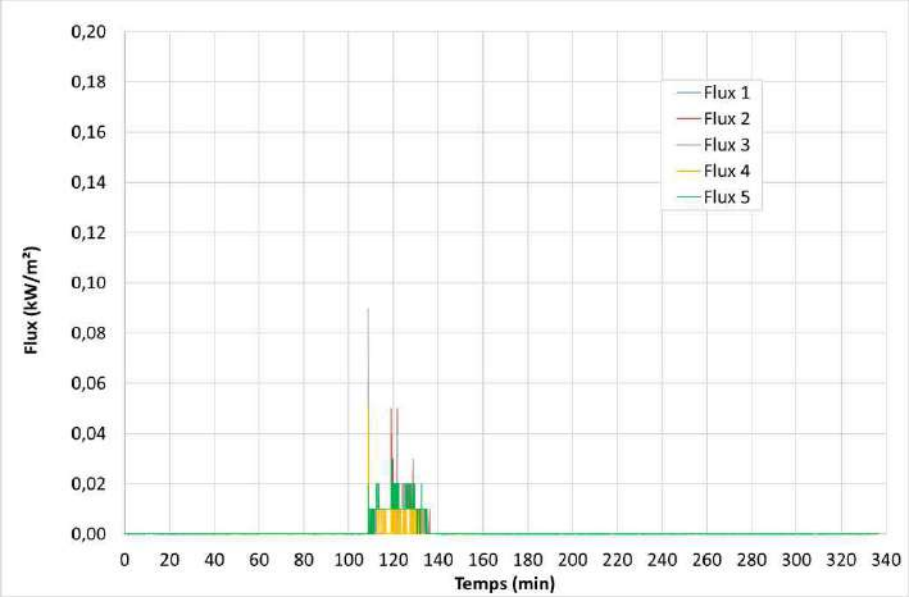


Figure 57 : flux radiatifs mesurés pendant le 3e essai

La phase de combustion ayant été courte et très peu intense, les flux radiatifs mesurés lors de cet essai sont extrêmement faibles, à la limite de la sensibilité des fluxmètres. Nous sommes donc ici très loin du seuil des effets domino (8 kW/m²).

2.4.2.4 Emissions gazeuses

L'analyse des gaz, réalisée en continu durant l'essai, a permis d'établir le bilan présenté dans le Tableau 4 :

	masse mesurée (kg)	**facteur d'émission (g/kg perdu)**	**volume de gaz (NL)**
CO_2	11	402.2	5631
CO	1,4	50.9	1120
CH_4	0,17	6.2	238
C_2H_4	0,17	6.2	137
C_2H_2	0,01	0.3	8
Formaldéhyde	0	0.0	0

	masse mesurée (kg)	facteur d'émission (g/kg perdu)	volume de gaz (NL)
H_2	0,112	4.1	1254
NO	0,002	0.1	1
NO_2	0	0.0	0
N_2O	0	0.0	0
NH_3	0	0.0	0
HCN	0	0.0	0
SO_2	0	0.0	0
DMC	1,0	36.9	253
EMC	0,76	27.7	164
EC	0,08	3.0	21
HF	0,13	4.6	141 (1)
HCl	0,03	1.0	17
HBr	0	0.0	0
SiF_4	0,03	0.9	6
POF_3	0	0.0	0
Eau	**2,2**	66.4	2750
	TOTAL (eau non comprise)		**8991**

(1) Le débit massique du HF, présenté en Figure 60, laisse penser à un artefact de mesure.

Tableau 4 : bilan des gaz libérés lors du 3e essai

Les débits des différents gaz mesurés sont calculés à partir de leur concentration et du débit d'aspiration des fumées, et présentés dans les figures suivantes.

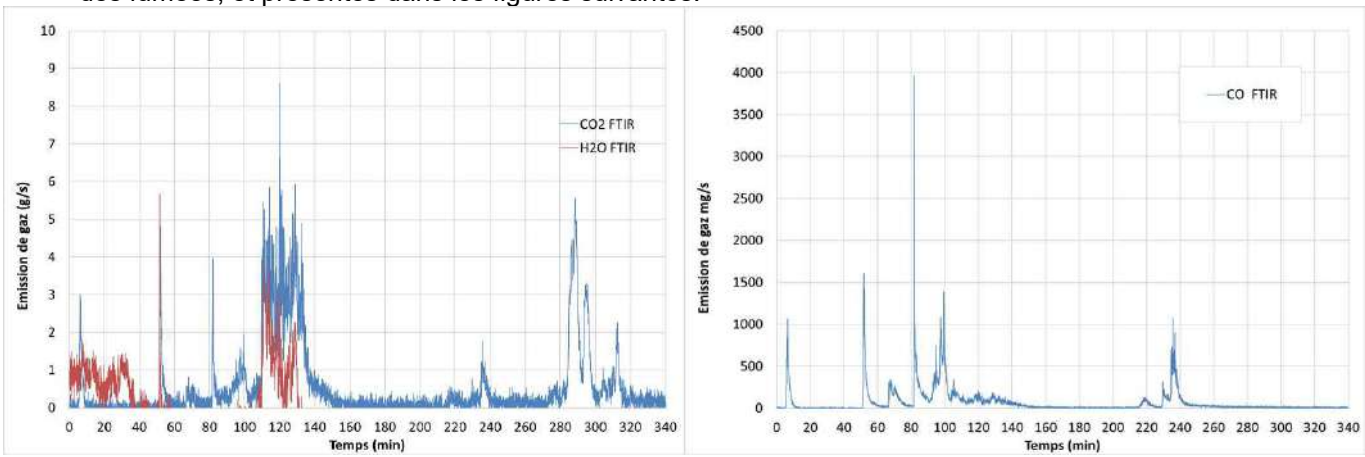


Figure 58 : débit massique du CO_2, de l'H_2O et du CO lors du 3e essai

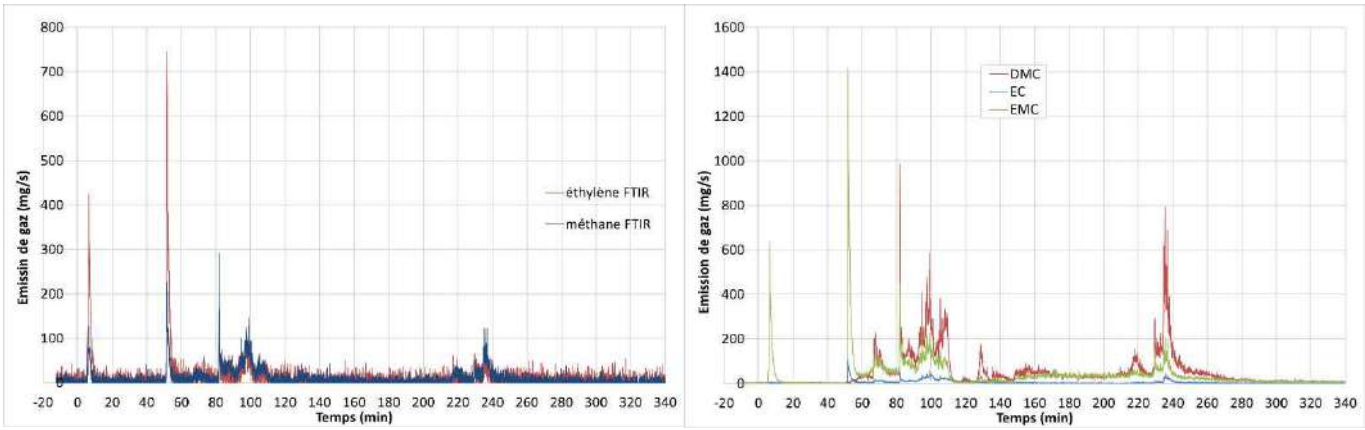


Figure 59 : débit massique des hydrocarbures (CH_4, et C_2H_4) et des carbonates (EC, EMC et DMC) lors du 3e essai

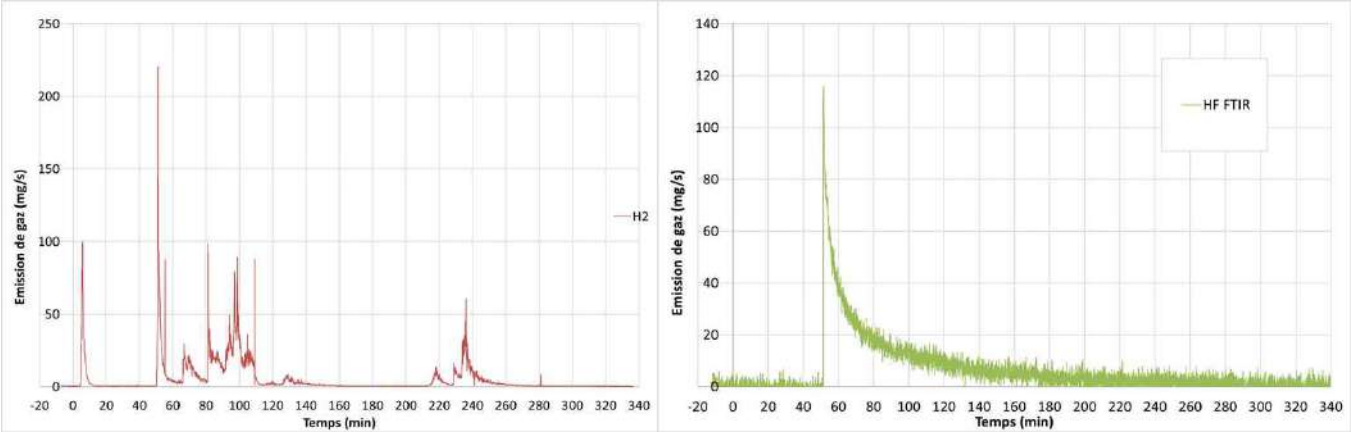


Figure 60 : débit massique de l'H_2 et du HF lors du 3e essai

Les gaz sont libérés par à-coups, à chaque nouvel évènement rencontré.

Durant la phase avec présence de flamme (de la 110e à la 140e minute), les gaz inflammables ne sont plus détectés (hydrocarbures, carbonates, dihydrogène) : ils sont oxydés au fur et à mesure de leur émission. On retrouve donc logiquement durant cette phase une émission de CO_2 plus importante, produit des réactions de combustion des gaz libérés et de la palette en bois.

Le pic de HF à la 51e minute peut paraître surprenant. Ce pic est synchrone de l'emballement thermique de la 2e batterie instrumentée, et reste inexpliqué (la 1e batterie instrumentée n'ayant pas généré un tel pic). Même si ce pic arrive au moment auquel une importante fumée sort du fût (§2.4.2.1, étape 7), il semble anormal de ne pas avoir détecté de HF auparavant (le fût n'est pas étanche, d'autres gaz ayant été détectés) ni d'observer une décroissance aussi lente, s'étalant sur plus d'une heure. Ce pic et/ou sa lente décroissance seraient donc probablement un artefact de mesure.

Débit calorifique et énergie

Le débit calorifique (couramment appelé HRR pour « Heat Release Rate »), calculé selon la méthode CDG décrite au § 2.1.4.6, est présenté sur le graphique de la Figure 61, accompagné de son intégral temporel renseignant sur l'énergie totale libérée depuis le début de l'essai.

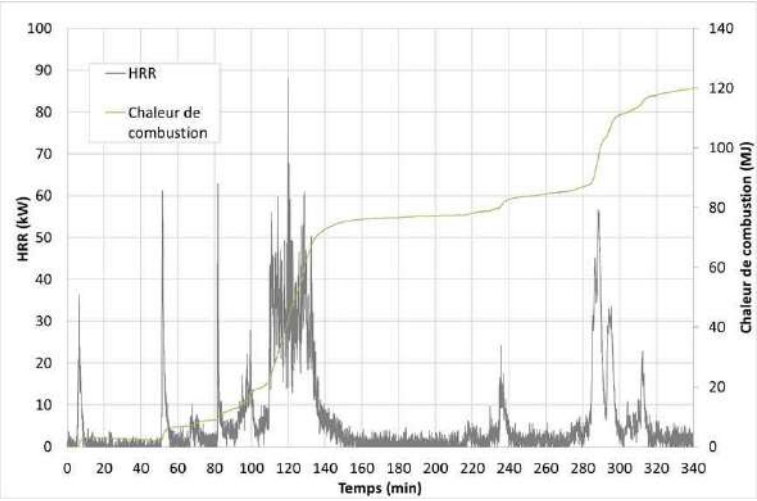


Figure 61 : débit calorifique et énergie libérés lors du 3e essai

Le débit calorifique reste très bas pendant tout l'essai (inférieur à 90 kW), car il n'y a pas eu de phase feu importante. La quantité totale d'énergie libérée pendant cet essai est de l'ordre de 120 MJ.

2.4.2.5 Perte de masse et chaleur de combustion

La perte de masse durant l'essai est présentée dans la Figure 62.

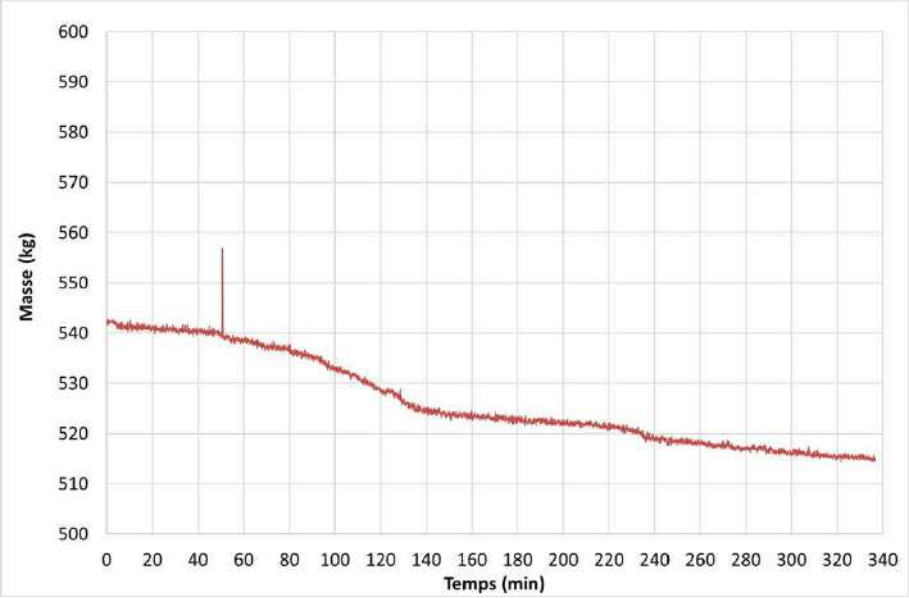


Figure 62 : perte de masse mesurée lors du 3e essai

La masse initiale totale de combustibles (542 kg) ne diminue que très progressivement, pour atteindre 514,5 kg en fin d'essai, soit une perte de masse très limitée de 27,5 kg, soit 5,1 % de la masse de combustible initiale.

On obtient ici une chaleur de combustion de 4,3 MJ/kg, ce qui est très faible.

La masse initiale de batteries usagées (hors fûts et palettes) est d'environ 220 kg.

2.4.2.6 Photo après essai

L'état des fûts et de leur contenu après essai peut être observé sur la figure ci-dessous.

Figure 63 : photos des fûts après essais (dessus : vue globale après avoir dégagé la vue vers le fût rempli de batteries, gauche : couvercle bombé du fût initialement rempli de batteries, droite : intérieur du fût rempli de batteries)

La combustion des palettes est localisée uniquement au droit du fût initialement rempli de batterie. Le couvercle de ce fût est bombé et s'est ouvert pendant l'essai à cause de la montée en pression interne. Le niveau de remplissage de ce fût a légèrement diminué, par perte de matière et affaissement.

2.5 Enseignements sur l'influence du mode de stockage des batteries et du système d'extinction

Pour un même déclencheur initial, le tableau suivant récapitule les principales tendances observées lors les trois essais de la campagne expérimentale précédemment décrite.

Nota : ces valeurs sont basées sur un seul essai. Or, comme le montre l'essai de sprinklage, une part d'aléas créé par l'incertitude sur les types et l'état de charge des batteries présentes dans le fût doit être prise en compte.

	Essai 1: Palox plastiques	**Essai 2: Fûts métalliques**	**Essai 3: Fûts métalliques avec sprinklage (inactif)**
Délai entre 1er emballement thermique et 1ère flamme	2min34s	28min52s	105min02s (1)
Délai entre 1er emballement thermique et intensité maximale	11min35s	35min35s	~121min (2)
Températures maximales dans le contenant rempli de batteries (hors températures batteries déclenchées)	>1000 °C	>1000 °C	600 °C
Température maximale dans les contenants voisins à celui rempli de batterie	>1000 °C	800 °C	450 °C
Propagation de l'emballement thermique aux batteries du contenant supérieur	Oui (3)	Oui	Non
Flux radiatif à 4 m lors de l'intensité maximale	~25 kW/m² (pic à 36 kW/m²)	~5 kW/m² (pic à 10 kW/m²)	<0,1 kW/m² (2)
Flux radiatif à 4 m lors de l'intensité maximale rapportée à la masse initiale de combustible (W/m²/kg)	42,0	16,6	0,2
Masse initiale de combustibles (batteries usagées, palette bois, palox plastique - hors fût métallique) (kg)	595	302	542
Perte de masse	39,2 %	39,4 %	5,1 %
Puissance thermique (HRR) maximum (MW)	13,0	2,4	0,1
Puissance thermique (HRR) maximum rapportée à la masse initiale de combustible (kW/kg)	21,8	7,9	0,2
Energie totale libérée (MJ)	6000	1500	120
Chaleur totale libérée rapportée à la masse initiale de combustible (MJ/kg)	10,1	5,0	0,2
Chaleur de combustion (MJ/kg perdu)	25,9	12,7	4,3
Volume total de gaz libérés (hors H2O) (Nm^3)	289,7	102,5	9,0
Volume de gaz rapporté à la masse perdue (hors H2O) (NL/kg perdu)	1243	862	326,9

(1) Emballement thermique de la 2e batterie instrumentée, déclenchée à 50min21s

(2) La puissance thermique mesurée ne présente pas de pic sur cet essai

(3) Contenant supérieur sans batterie, mais l'intensité du feu aurait induit la propagation de façon certaine

Tableau 5: récapitulatif des principales grandeurs caractérisant les essais

Dynamique de la propagation

Le développement du feu a été bien plus rapide dans le cas du premier essai : les premières flammes sont apparues respectivement 27 et 103 minutes plus rapidement lors de l'essai avec palox plastiques que lors des essais 2 et 3 en fûts métalliques.

Une fois les flammes apparues, le délai avant d'atteindre le pic de puissance du feu est assez similaire entre les essais 1 (palox plastique) et 2 (fûts métalliques) (respectivement 9 min et 7 min). L'essai 3 n'a quant à lui pas présenté de réelle montée en puissance, l'inflammation de la palette ne s'étant pas propagée aux batteries usagées ou à d'autres palettes.

La tendance observée lors de ces essais sur l'influence du type de contenant est donc marquée : l'utilisation de contenants de type fûts métalliques a permis de ralentir le développement du feu. Le palox plastique étant lui-même combustible, il s'enflamme rapidement. Dans le cas de fût métallique, le contenant ne peut pas s'enflammer et empêche durablement[4] l'oxygène de l'air de rentrer en contact avec les batteries, limitant ainsi les réactions de combustion[5].

Intensité de l'incendie

Le 3e essai (fût métallique) a été sensiblement moins puissant que les deux autres, car la propagation de l'emballement thermique entre batteries n'a été que très partielle.

Les 1er et 2eme essais ont tous les deux mené à une combustion très avancée, avec une perte de masse de 39 % des combustibles initialement présents. Bien que cette perte de masse soit similaire, l'intensité du feu a été différente : une fois rapporté à la masse de combustible présent dans chaque essai, le flux radiatif à 4 m et la puissance thermique libérée par les réactions de combustion (HRR) sont 2,7 fois plus importants sur l'essai 1 (palox plastique) que sur l'essai 2 (fût métallique). La chaleur de combustion est également deux fois supérieure sur le premier essai.

La composition des palox en pastique (polyéthylène haute densité) peut expliquer cette différence : le contenant est lui-même combustible et son pouvoir calorifique est environ deux fois supérieur à celui du bois composant les palettes.

Emissions gazeuses

Tout comme pour la comparaison de l'intensité du feu, le volume total de gaz libéré lors du 3e essai est bien plus faible, car la propagation de l'emballement thermique entre batteries n'a été que très partielle.

Concernant les essais 1 et 2, le volume de gaz total libéré rapporté à la masse perdue est supérieur d'un facteur 1,4 pour l'essai avec palox plastique par rapport à celui avec fût métallique.

Ceci peut s'expliquer au moins en partie par une phase fumigène plus courte lors de l'essai avec palox, et une phase de feu plus générant donc plus de gaz et notamment plus de CO2.

La concentration des gaz libérés est également légèrement différente, comme le montre le Tableau 6 :

[4] Percement du fût métallique observé plus de 30 minutes après l'emballement thermique de la première batterie, après l'apparition des flammes, sous l'effet de la chaleur.

[5] Certaines chimies de batteries Li-ion peuvent libérer du dioxygène lors de leur emballement thermique, et ainsi permettre l'apparition de réaction de combustion même dans une atmosphère anaérobie.

Concentration volumique des principaux gaz libérés (>0,1%v/v)	Essai 1: Palox plastiques	Essai 2: Fûts métalliques	Essai 3: Fûts métalliques avec sprinklage (inactif)
CO_2	97,06%	92,56%	62,64%
CO	2,01%	4,58%	12,46%
CH_4	0,09%	0,55%	2,65%
C_2H_4	0,05%	0,14%	1,52%
H_2	0,26%	1,56%	13,95%
NO	0,14%	0,14%	0,01%
DMC	0,01%	0,16%	2,81%
EMC	0,00%	0,05%	1,82%
EC	0,01%	0,01%	0,23%
HF	0,18%	0,05%	1,57% (1)
HCl	0,12%	0,13%	0,19%

(1) Le débit massique du HF, présenté en Figure 66, laisse penser à un artefact de mesure.

Tableau 6: récapitulatif des concentrations volumiques des principaux gaz mesurés lors des essais

La concentration volumique en CO_2 est nettement majoritaire sur chacun des essais. Sa concentration est la plus importante lors du 1er essai. Ceci s'explique à nouveau par la durée plus courte de la phase fumigène lors de cet essai, phase libérant très peu de CO_2. La très grande majorité des gaz inflammables libérés ont donc été oxydés durant cet essai, dont les concentrations diminuent au profit de celle du CO_2.

A contrario, la phase fumigène ayant été plus longue sur les essais 2 et 3 avec fûts métalliques, les réactions de combustion ont été moins nombreuses : la concentration en CO_2 est moins importante. Les gaz inflammables (CO, CH_4, C_2H_4, H_2, DMC, EMC, EC) n'étant pas oxydés durant cette phase fumigène, on les retrouve en concentration plus importante dans le bilan final présenté au Tableau 6.

Il peut être relevé que l'absence de combustion des gaz inflammables lors de leur libération diminue certes les effets thermiques, mais engendrent leur possible accumulation dans un environnement clos, avec le risque de formation d'une atmosphère explosive. Ce risque dépend de nombreux facteurs, comme le volume libre du local, la ventilation, ou la quantité de batteries en emballement thermique.

Facteur d'émission des principaux gaz libérés (>1 g/kg)	Essai 1: Palox plastiques	Essai 2: Fûts métalliques	Essai 3: Fûts métalliques avec sprinklage (inactif)
CO_2	2370.4	1566.4	402.2
CO	31.2	49.3	50.9
CH_4	0.8	3.4	6.2
C_2H_4	0.7	1.5	6.2
H_2	0.3	1.2	4.1
NO	2.3	1.7	0.1
DMC	0.4	5.4	36.9
EMC	0.2	1.9	27.7
EC	0.3	0.3	3.0
HF	2.0	0.4	4.6 (1)
HCl	2.5	1.8	1.0

(1) Le débit massique du HF, présenté en Figure 66, laisse penser à un artefact de mesure.

Tableau 7: récapitulatif du facteur d'émission des principaux gaz mesurés lors des essais

Les facteurs d'émission des principaux gaz libérés lors des essais sont récapitulés dans le Tableau 7.

On retrouve dans ce tableau les tendances entre essais déjà constatées lors de l'analyse des concentrations (essai 1 présentant la meilleure combustion, l'essai 3 libérant quant à lui le plus de gaz inflammables).

On peut également noter une différence significative sur l'émission de HF entre l'essai 1 (palox plastique) et l'essai 2 (fût métallique). Durant ces deux essais, le facteur d'émission du HF est respectivement de 2 et 0,4 g/kg. Les batteries usagées étant globalement du même type, le type de contenant est probablement à l'origine de cette différence. La re-condensation du HF sur les parois métalliques des fûts pourrait être une hypothèse expliquant cette influence. Une autre hypothèse concomitante à la 1e pourrait être liée à l'efficacité de combustion, moindre dans le 2e essai, corroboré par un facteur d'émission de CO plus élevé.

Enseignements tirés du 3e essai

L'essai 3, initialement prévu pour mesurer l'impact du sprinklage sur la dynamique de développement du feu, n'a malheureusement pas mené à un feu d'une intensité suffisante pour déclencher le système d'extinction par sprinklage.

Même si ce 3e essai n'a donc pas permis d'évaluer l'efficacité d'un système de sprinklage sur ce type de feu, il a malgré tout enrichi les données disponibles sur la dynamique de propagation avec des contenants de type fûts métalliques, et en particulier, sur la variabilité de cette propagation.

En effet, malgré la reproduction des mêmes conditions expérimentales (déclencheur et contenant identique, batteries usagées de même type et issues de la même filière, agencement des batteries lors du remplissage très similaire, …), le 2e essai a mené à un feu généralisé intense, alors que, lors du 3e essai, le feu ne s'est que très peu propagé.

Ce constat attire l'attention sur l'importance d'autres paramètres difficilement maitrisables durant ces essais, comme le niveau de charge des batteries usagées, la nature du matériau de leur enveloppe (plastique combustible ou métallique dissipateur thermique), ou l'influence des batteries les plus proches de la première batterie partant en emballement thermique.

D'autres facteurs non évalués dans cette campagne expérimentale pourraient au contraire accélérer la montée en puissance du feu. Par exemple, la possible éjection du couvercle par montée en pression interne du fût (couvercle qui a été maintenu à sa position par le poids des fûts et palettes de l'étage supérieur durant cette campagne expérimentale) permettrait à l'oxygène de l'air d'alimenter les réactions de combustion des batteries au sein du fût, et donc d'amplifier les effets thermiques et d'accélérer la propagation de l'emballement thermique entre batteries.

3 Conclusion

Suite à l'incendie de l'entrepôt de stockage de batteries usagées de la société SOPAVE le 17 février 2024, le BEA-RI a ouvert une enquête et a sollicité l'Ineris en appui technique. Cette demande d'appui porte sur l'étude de l'influence du mode de stockage des batteries et du système d'extinction automatique sur les mécanismes de propagation d'un incendie lié à l'emballement thermique d'une batterie de type petite mobilité stockée en vrac avec des batteries de même type.

Pour répondre à cette sollicitation, l'Ineris a mis en œuvre une campagne expérimentale, qui a permis d'évaluer l'impact du choix du type de contenant sur le développement et l'intensité du feu.

Malheureusement, cette campagne n'a pas permis de tirer de conclusion sur l'efficacité du système de sprinklage, l'essai dédié à cet objectif n'ayant pas abouti à un feu généralisé.

Il ressort de cette étude les principales conclusions présentées ci-après.

Le contenant de type palox plastique a un impact négatif sur la vitesse de développement du feu. Il est en effet lui-même composé de matière combustible, prenant feu relativement rapidement. Il apporte ainsi lors de la phase de naissance du feu :

- de la chaleur supplémentaire, participant à la propagation de l'emballement thermique de batteries en batteries,
- un passage d'air vers l'intérieur du conteneur, permettant un apport d'oxygène vers les batteries, alimentant ainsi les réactions de combustion à l'intérieur du contenant.

Le contenant de type palox plastique a également un impact négatif sur l'intensité du feu. Le pouvoir calorifique du polyéthylène qui le compose est en effet très élevé (de l'ordre de 40 MJ/kg). Il a de plus tendance à fondre et s'étaler sur le sol, favorisant l'apparition d'un feu de nappe sur une surface supérieure à celle du palox d'origine, et donc des puissances thermiques libérées qui s'en trouvent augmentées.

Le contenant de type fût métallique a permis, lors des essais réalisés, de ralentir sensiblement voire de stopper la propagation de l'emballement thermique des batteries, et de diminuer l'intensité des effets thermiques mesurés. Une diminution du facteur d'émission de HF libéré a également été observée avec ce type de contenant. On peut toutefois noter une plus forte concentration de gaz inflammables dans les gaz libérés, et donc un risque de formation d'une atmosphère explosive. Ce risque semble certes limité compte tenu du volume des entrepôts de stockage, mais il convient malgré tout de le prendre en considération. On relève également une combustion moins complète (facteur d'émission du CO plus élevé), propice à l'émission en plus grande quantité de produits de décomposition tels que des HAP, des dioxines ou des COV.

4 Annexes

Liste des annexes :

- Annexe 1 : lettre de saisine – 1 page.
  Saisine signée à intégrer dans cette annexe

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

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

BEA-RI Risques industriels

Mission conjointe BEA-RI - INERIS

Le BEA-RI a ouvert le 21/02/2024 une enquête sur l'évènement survenu le 17/02/2024 au sein de la société SOPAVE située à Viviez (12).

Deux enquêteurs du BEA-RI se sont rendus sur site. Selon les premiers éléments de l'enquête, l'incendie qui s'est produit semble avoir mis en cause des batteries Li-Ion usagées.

Dans la continuité des constats dressés lors de cette visite, nous souhaiterions mobiliser l'expertise de l'INERIS, dans le cadre de sa coopération avec le BEA-RI, pour évaluer le rôle qu'aurait joué ces batteries dans l'occurrence et le développement de l'incendie.

En pratique, il est demandé à l'INERIS de réaliser des essais sur des batteries de même type en vue:

- D'étudier l'influence du mode de stockage des batteries et du système d'extinction automatique sur les mécanismes de propagation d'un incendie lié à l'emballement thermique d'une batterie de type petite mobilité stockée en vrac avec des batteries de même type, et de conclure sur leur influence.
- Transmission des données brutes relatives aux substances émises lors des essais ;

Ces essais seront réalisés à partir de batteries qui auront été récupérées auprès de l'industriel.

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

Fait à la Défense, le 11/12/2024

Henri Kaltembacher

Mél : bea-ri@developpement-durable.gouv.fr
Tour Sequoia
1, place Carpeaux ,La Défense 6
92055 LA DÉFENSE CEDEX
http://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/bea-ri-r549.html

Institut national de l'environnement industriel et des risques
Parc technologique Alata • BP 2 • F-60550 Verneuil-en-Halatte
03 44 55 66 77 • ineris@ineris.fr • www.ineris.fr

RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

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

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

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

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