

Rapport d'enquête

Sur l'incendie survenu au sein du
site Alternae situé à Génicourt
(95) le 17 décembre 2024

Bordereau documentaire

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur l'incendie survenu au sein du site Alternae situé à Génicourt (95) le 17 décembre 2024

N° : MTE-BEARI-2025-08

Date du rapport : 13/08/2025

Proposition de mots-clés : incendie, séchoir, céréales, maïs, poussières, auto-échauffement, température d'auto-inflammation

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

Dans la nuit du 16 au 17 décembre 2024, un incendie se déclare dans un séchoir à maïs exploité par la société Alternae, et situé à Génicourt dans le Val d'Oise. L'installation, exploitée 24h/24, compte quatre séchoirs dont deux de grande capacité. Le sinistre n'a causé que des dégâts matériels, mais a nécessité plus de 10 heures d'intervention des pompiers pour être totalement maîtrisé.

L'enquête technique du BEA-RI a établi que l'incendie s'est probablement déclenché dans la partie basse du séchoir, dans une zone difficilement accessible, où une importante couche de poussières de maïs et de grains s'était accumulée. Cette accumulation, soumise à un air chaud recyclé, a atteint une température proche de l'auto-inflammation, abaissée en raison de l'épaisseur du dépôt.

L'enquête liste plusieurs facteurs contributifs de l'événement :

- Un fort taux d'humidité des grains lié aux conditions climatiques,
- L'absence de filtrage de l'air recyclé, favorisant l'empoussièrement,
- Un système de supervision ne prévoyant pas d'alarme sonore,
- Une accessibilité limitée à certaines zones critiques du séchoir,
- Une traçabilité insuffisante des contrôles post-incendie précédents (13 et 23 novembre 2024).

Le scénario le plus probable étant une auto-inflammation dans la zone d'air chaud recyclé, non nettoyée depuis les sinistres précédents, se propageant progressivement jusqu'à une détection tardive, au sein d'une installation non équipée de filtres au niveau du recyclage d'air.

Dans son rapport le BEA-RI émet les recommandations suivantes à l'attention de l'exploitant :

- **Revoir l'instrumentation du séchoir pour s'assurer qu'il est équipé d'un nombre suffisant de sondes de température de sécurité correctement positionnées et dont les seuils de déclenchement seront réexaminés, et que le suivi des valeurs remontées par celles-ci est suffisamment ergonomique pour permettre une intervention rapide en cas de besoin ;**
- **Mettre en place un moyen d'alerte (sonore ou tout autre moyen) permettant en cas de défaut sur le séchoir d'alerter sans délai les opérateurs ;**
- **Mettre en place une procédure de contrôle de l'état d'empoussièrement du séchoir qui s'applique à l'ensemble des parties de l'installation (y compris la partie chaude) ;**
- **Systématiser l'application de cette procédure de contrôle aux phases de réception de travaux de nettoyage, de manière régulière durant la campagne, à une fréquence adaptée à la qualité de la graine traitée, et après tout sinistre.**

Sommaire

I.	Rappel sur l'enquête de sécurité.....	6
II.	Constats immédiats et engagement de l'enquête	6
	II.1 Les circonstances de l'accident	6
	II.2 Le bilan de l'accident	7
	II.3 Les mesures prises après l'accident.....	7
	II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête	7
III.	Contextualisation	8
	III.1 L'installation	8
	III.1.1 Le fonctionnement	8
	III.1.2 L'équipement	8
IV.	Déroulement de l'évènement.....	10
	IV.1 Déclenchement de l'évènement.....	10
	IV.2 L'intervention des secours publics.....	10
V.	Compte-rendu des investigations menées.....	10
	V.1 Interprétation des données de supervision	10
	V.1.1 Analyse des températures	10
	V.1.2 Analyse des alarmes	12
	V.2 Reconnaissance de terrain.....	13
	V.3 Entretien de l'installation	16
	V.4 Analyse de l'Ineris.....	17
VI.	Conclusions sur le scénario de l'évènement.....	17
	VI.1 Scénario	17
	VI.2 Facteurs contributifs.....	18
	VI.2.1 Taux d'humidité de la graine.....	18
	VI.2.2 Filtrage de l'air recyclé	19
	VI.2.3 Absence de report sonore d'alarme	19
	VI.2.4 Accessibilité de la partie "air chaud"	19
	VI.2.5 Mécanisme de vidange.....	19
VII.	Enseignements de sécurité.....	19
	VII.1 Importance de la propreté des circulations d'air	19
	VII.2 Détection rapide des foyers	20
	VII.3 Instrumentation de l'installation.....	20
	VII.4 Caractéristiques de la graine	20
VIII.	Recommandations de sécurité à destination de l'exploitant de l'équipement	21
IX.	Annexe.....	22
	Annexe 1 Rapport de l'Ineris en réponse à la saisine du BEA-RI	23

Rapport d'enquête

Sur l'incendie survenu au sein du site Alternae situé à Génicourt (95) le 17 décembre 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

La société Alternae exploite sur la commune de Génicourt (95) un site de séchage et d'ensilage de céréales. Dans la nuit du 16 au 17 décembre 2024, les opérateurs présents procèdent au séchage avant ensilage de maïs issu à la fois de livraisons directes et d'un stockage temporaire sous gaines plastiques disposées en boudins (figure n°1 ci-dessous) pratiqué sur le site.



Figure n°1 : exemple de stockage en boudin (crédit CGAO)

Aux alentours de 3h du matin, ils constatent le dysfonctionnement d'une sonde de température sur le séchoir. Après vérification, et sans avoir rien remarqué de notable au niveau de l'installation, ils poursuivent les opérations de séchage. Mais un peu avant 4 heures du matin, les sondes de sécurité du séchoir se déclenchent à leur tour. Une ronde dans le séchoir permet de constater depuis le bas de la colonne de séchage un départ de feu. Le service d'incendie et de secours du Val d'Oise (SDIS 95) est appelé à 4h20. Le feu sera déclaré éteint à 14h30.

II.2 Le bilan de l'accident

L'accident n'aura que des conséquences matérielles.

II.3 Les mesures prises après l'accident

À la suite de l'accident, l'installation a été consignée et mise en sécurité dans l'attente notamment d'expertises ultérieures. Le Préfet du Val d'Oise a pris un arrêté de mesures d'urgences visant notamment à la mise à l'arrêt de l'installation.

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

Au vu des circonstances et du contexte de l'accident, le directeur du bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels (BEA-RI) a décidé l'ouverture d'une enquête le 17 décembre 2024.

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont rendus sur place le 19 décembre 2024 et le 6 février 2025. Ils ont rencontré les représentants de l'entreprise Alternae et du SDIS 95.

Le BEA-RI s'est également déplacé sur l'installation NatUp de Saint-André-de-l'Eure le 4 mars 2025 pour visiter un séchoir de technologie similaire.

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

III. Contextualisation

III.1 L'installation

III.1.1 Le fonctionnement

La société Alternae exploite sur la commune de Génicourt (95) une installation comprenant des capacités de stockage de céréales en silos verticaux et un ensemble de 4 séchoirs. On retrouve deux séchoirs de petites capacités et deux séchoirs de marque LAW de capacités plus importantes. Le site assure la réception des céréales durant la récolte, les sèche en fonction de leur taux d'humidité, puis procède à l'ensilage. Les céréales sont ensuite vendues, dé-ensilées et expédiées.

Pendant la période de récolte, le site est exploité 24h/24, notamment pour assurer la conduite des séchoirs. En fonction de la capacité de séchage, le maïs non séché peut-être stocké en silos ou dans des gaines plastiques horizontales (sous forme de boudins). Dans ce second cas, la graine est reprise pour séchage après la période d'entreposage sous bâche.

III.1.2 L'équipement

L'équipement siège de l'incendie est un séchoir à céréales. Au moment du sinistre, c'est du maïs qui était séché.

Le principe de fonctionnement de l'équipement est illustré sur la figure n°2 ci-dessous. Un brûleur à gaz fournit de l'air chaud à partir de l'air extérieur. Cet air est ensuite aspiré par les deux ventilateurs situés du côté opposé de la colonne de céréales. Le premier ventilateur situé en partie haute sert à l'extraction vers l'extérieur. Il est équipé de filtres permettant de limiter l'émission de poussières à l'atmosphère. Le second, en partie basse permet de recycler une partie de l'air chauffé et donc de limiter la consommation d'énergie.

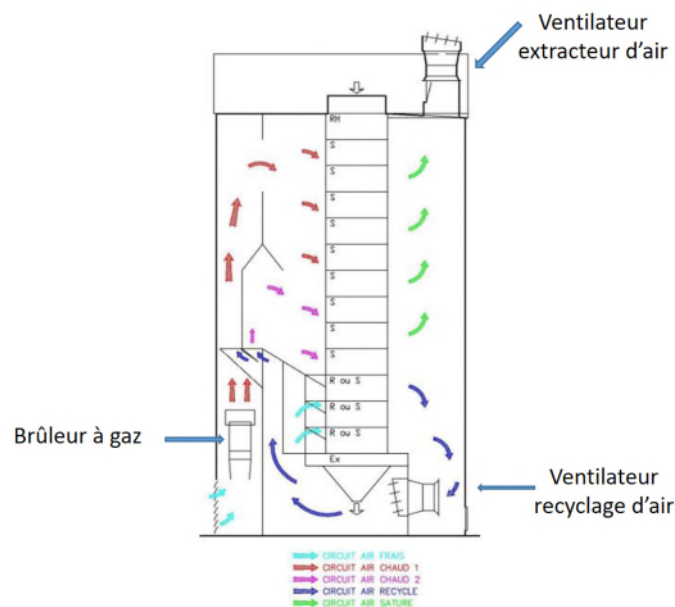


Figure n°2 : schéma circulation d'air dans le séchoir (Crédit CFCAI)

Les étages bas de la colonne permettent de refroidir le grain par circulation d'air frais. Un jeu de trappes permet sur ces étages de régler le temps de séchage en affectant à ce refroidissement un, deux ou trois étages.

L'introduction du grain se fait en partie haute. L'extraction est réalisée en partie basse par deux trappes qui vont s'ouvrir et se fermer en fonction d'une temporisation. Les paramètres de réglage du séchoir résident essentiellement dans la température de l'air circulant dans la colonne ainsi que dans le nombre d'étages de refroidissement.

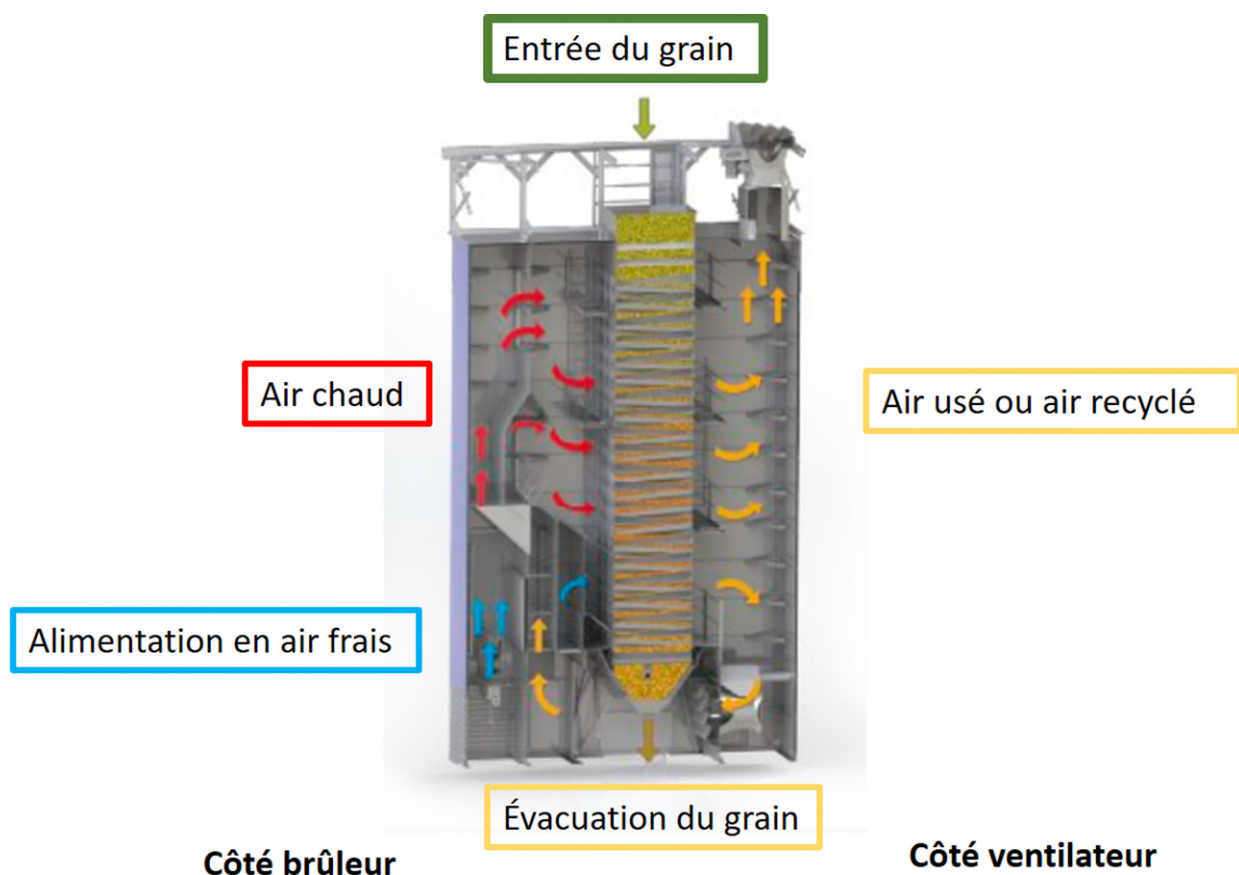


Figure n°3 : schéma représentant les différentes zones du séchoir

Le brûleur fait l'objet d'un asservissement autonome permettant de régler la température de l'air. Un capteur côté brûleur permet d'avoir une indication de la température de l'air juste avant l'étape de refroidissement. Côté ventilateur on retrouve des sondes de sécurité permettant notamment de détecter un incendie dans la colonne de céréales. En cas de détection, le brûleur et les ventilateurs sont automatiquement coupés. Les capteurs sont positionnés sur la figure n°4 en page 11. L'ensemble de l'instrumentation est relié à un système de supervision.

Le séchoir permet de réduire le taux d'humidité du maïs jusqu'à une valeur cible de 15 %. Il est dimensionné pour pouvoir atteindre cette valeur en partant d'un taux d'humidité maximum en entrée de l'ordre de 30 à 40 %. Le temps de séjour dans le séchoir (refroidissement compris) est de l'ordre de 5 heures. La température maximale de consigne au niveau du brûleur est de l'ordre de 120 °C.

IV. Déroulement de l'évènement

IV.1 Déclenchement de l'évènement

Dans la nuit du 16 au 17 décembre 2024, à 3h13 du matin la sonde de température d'air chaud inférieure cesse de fonctionner. Les deux opérateurs présents le constatent à l'occasion d'une ronde en salle de commande, et entreprennent une ronde de sécurité au niveau du séchoir. Ils pénètrent côté opposé au brûleur et ne constatent pas d'indice d'incendie. Après échange avec leur hiérarchie, ils relancent le séchoir. À 3h40, les premières sondes de sécurité déclenchent à leur tour (premier et deuxième seuil de température haute) ce qui entraîne l'arrêt automatique du séchoir. Les opérateurs inspectent une deuxième fois le séchoir et constatent des deux côtés (côté brûleur et côté ventilateur) des flammes au niveau de la colonne de grain.

Après un nouvel appel à leur hiérarchie, ils décident de contacter le service d'incendie et de secours du Val d'Oise (SDIS 95), ce qui est fait à 4h19.

IV.2 L'intervention des secours publics

Les premiers moyens du SDIS 95 arrivent sur site à 4h33. Le feu est difficilement atteignable et l'extinction doit être combinée avec la vidange des 110 tonnes de maïs situées dans le séchoir et dont une partie est en feu.

L'évolution du sinistre est telle qu'à 7h30 un risque d'explosion et/ou d'effondrement du séchoir est envisagé. La vidange de la colonne de grain s'achèvera vers 8h30. L'extinction sera complète à 14h30.

V. Compte-rendu des investigations menées

V.1 Interprétation des données de supervision

V.1.1 Analyse des températures

Le séchoir est équipé d'un système de supervision qui enregistre les températures côté brûleur, de l'air dans la partie haute du séchoir (TEMP_AIR) et de l'air dans la partie inférieure (TEMP_AIR_INFERIEUR, air chaud N° 2 dans le schéma de la figure n°2) qui correspond à un mélange d'air chaud et d'air de recyclage. La température en bas de colonne de séchage, à l'intérieur du grain (TEMP_GRAIN) est également enregistrée.

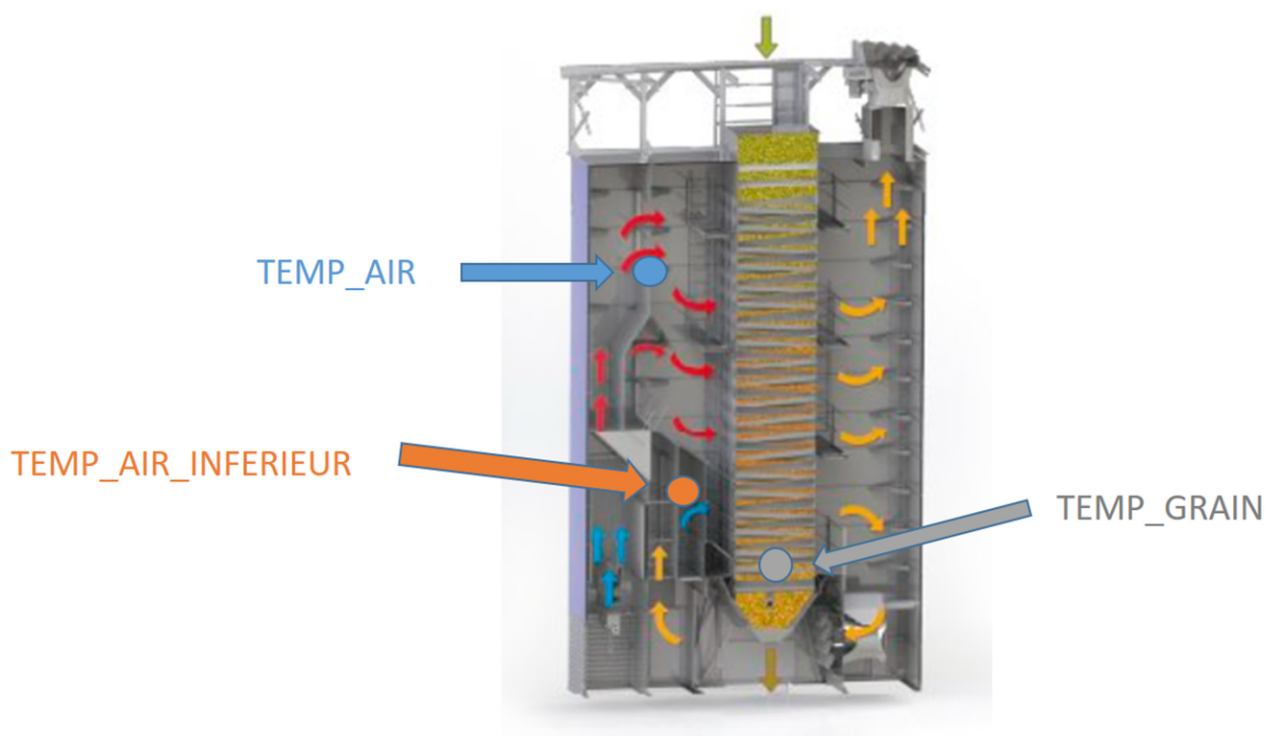


Figure n°4 : positionnement des sondes de température dans le séchoir

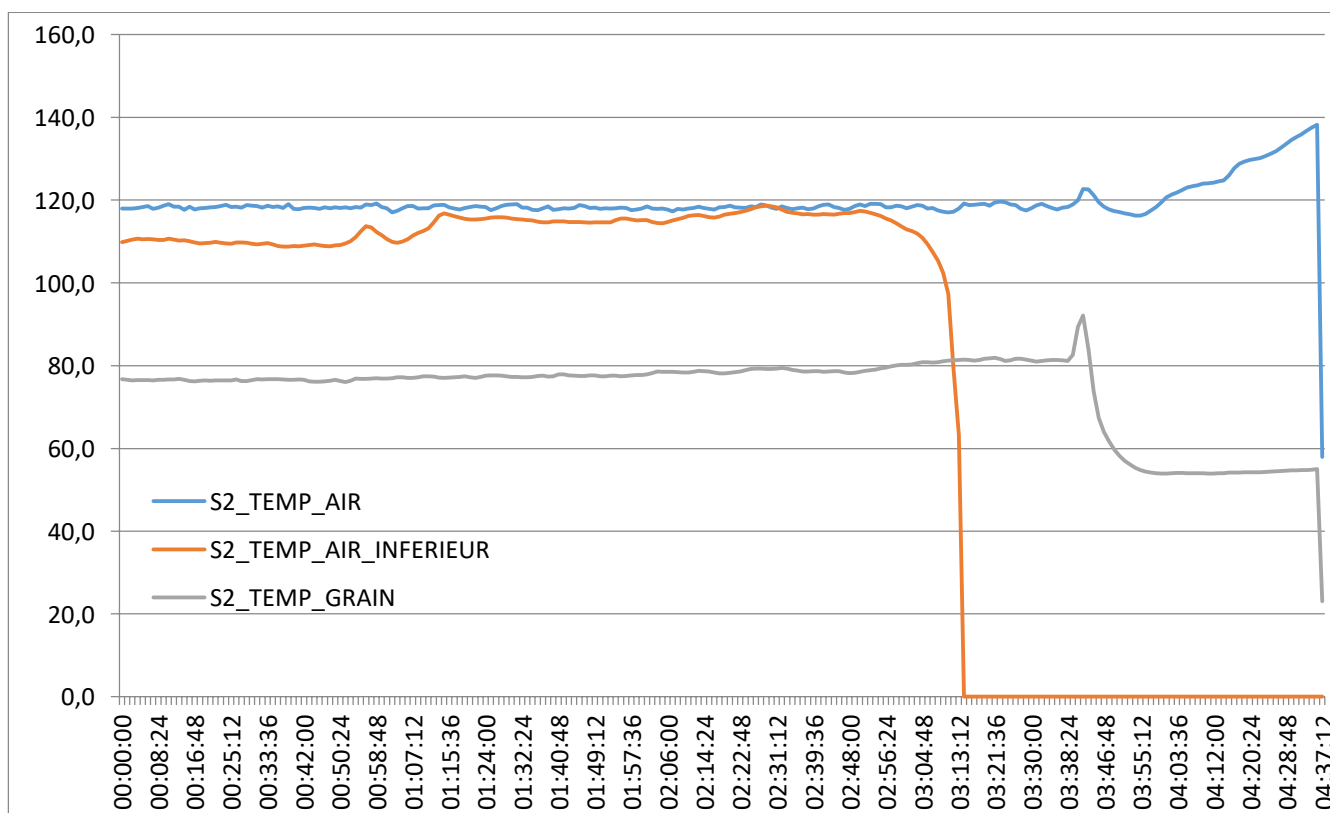


Figure n°5 : températures en °C en fonction du temps relevées dans le séchoir la nuit de l'événement

L'analyse des températures de minuit à 4h37 du matin met en lumière les éléments suivants :

- Tout d'abord, on note une augmentation régulière de la température du grain qui passe de 77 °C à 82 °C à 3h40 du matin, heure de déclenchement (figure n°6) des alarmes de température ;
- L'arrêt est suivi d'un pic de température dans le grain (pic inhabituel), puis d'une diminution de la température jusqu'à l'arrêt de l'alimentation électrique (à la demande du SDIS) ;
- La température de l'air supérieur (TEMP_AIR) reste stable, un peu en-dessous de 120 °C et n'augmente qu'à partir de l'arrêt du séchoir à 3h40, impactée vraisemblablement par les fumées de l'incendie ;
- La température de l'air inférieur reste, elle, relativement stable, à un peu moins de 110 °C jusqu'à 0h50. À partir de cet instant, la température croît lentement jusqu'à égaler à 2h27 la température de l'air supérieur traduisant un apport de calories autre que celles fournies par le brûleur ;
- Puis, à partir de 2h52, la valeur décroît jusqu'à tomber à zéro. Cette décroissance étant plutôt à expliquer par un dysfonctionnement progressif de la sonde que par une baisse de la température.

V.1.2 Analyse des alarmes

La nuit de l'événement, la première alarme se déclenche à 3h40 du côté du circuit d'air saturé (air usé), et l'ensemble des sondes de sécurité suit en moins d'une minute générant l'arrêt du brûleur et des ventilateurs.

HISTORIQUE DES ALARMES			
Date	Heure	Description	Status
17/12/2024	103:41	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S04	FAU
17/12/2024	103:41	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S26	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT SONDES AIR USE	VRA
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 2EME SEUIL SONDE S06	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 2EME SEUIL SONDE S20	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 2EME SEUIL SONDE S08	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 2EME SEUIL SONDE S10	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 2EME SEUIL SONDE S24	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 2EME SEUIL SONDE S12	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S06	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S20	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S08	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S12	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S10	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 2EME SEUIL SONDE S14	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 2EME SEUIL SONDE S18	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S14	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S16	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 2EME SEUIL SONDE S16	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S16	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S24	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 2EME SEUIL SONDE S22	FAU
17/12/2024	103:40	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S22	FAU
16/12/2024	113:45	S2_DEFAULT NIVEAU BAS	FAU
16/12/2024	111:42	S2_DEFAULT 1ER SEUIL SONDE S22	FAU

Figure n°6 : historique des alarmes (Crédit Alternae)

V.2 Reconnaissance de terrain

Les enquêteurs du BEA-RI se sont déplacés sur site à deux reprises, accompagnés notamment par les experts des compagnies d'assurance. Ils ont procédé à la recherche du point de départ de l'incendie.

Les principaux témoins ayant situé le départ de feu dans les parties basses du séchoir et sur les côtés de la colonne de grain, les recherches ont été concentrées sur ces points. Du côté de l'air saturé, on constate des traces d'incendie situées approximativement au niveau de l'interface fin de chauffe/ début de refroidissement.

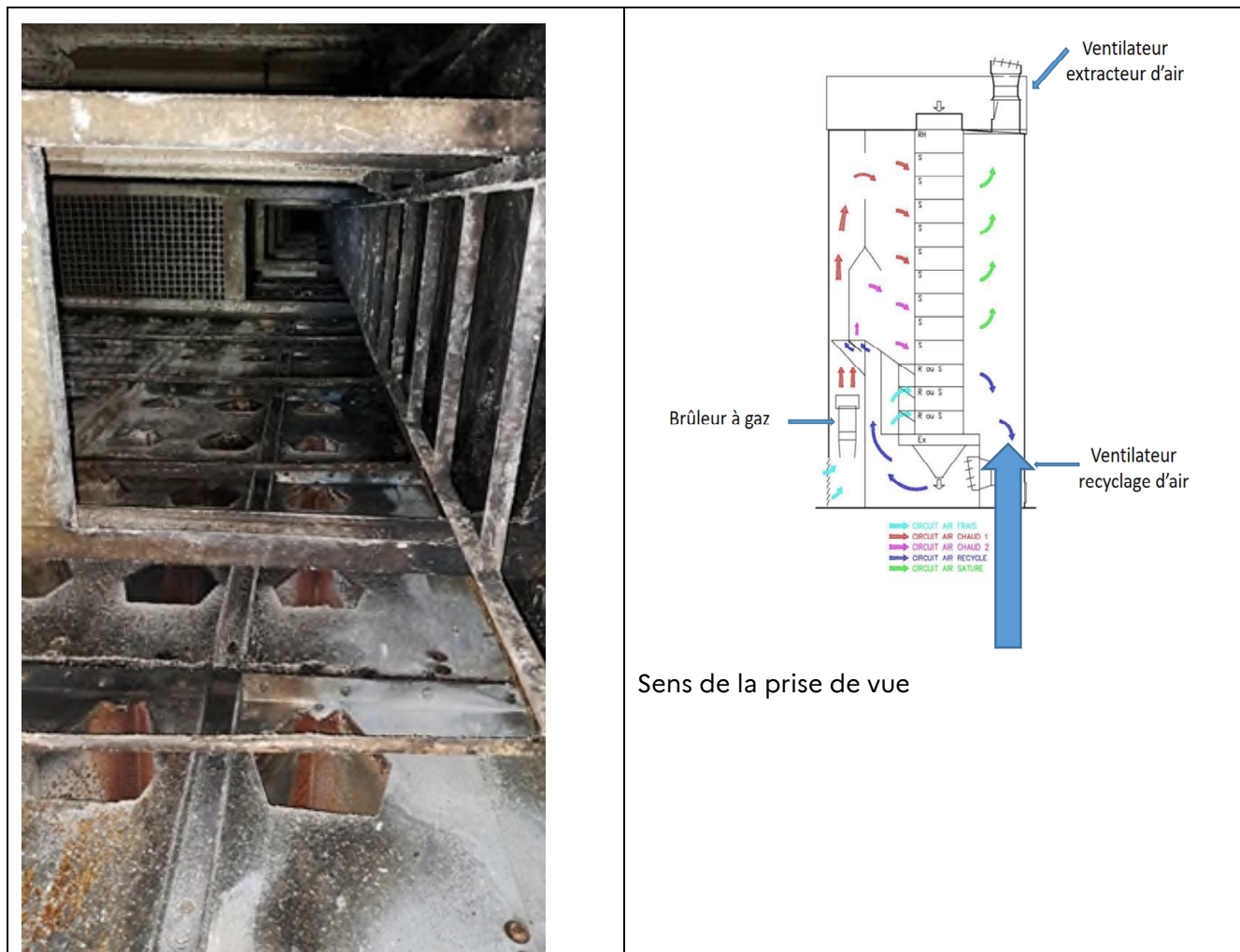


Figure n°7 : Photo de la colonne de grains du côté de l'air saturé

On constate également, à l'intérieur de la colonne, des traces d'incendie sans pouvoir établir de point de départ.

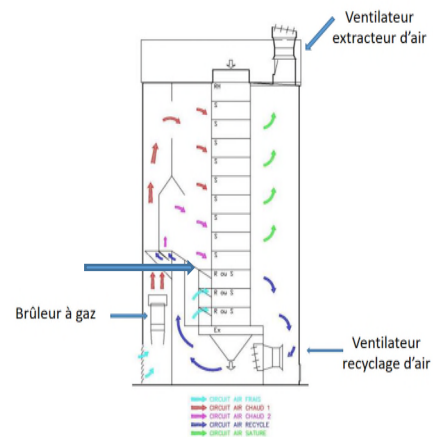


Figure n°8 : intérieur de la colonne de grains

Un empoussièrement notable est constaté du côté air usé.

Compte-tenu des informations fournies par la sonde d'air chaud inférieure, il a ensuite été procédé à un examen approfondi de la partie circuit « air chaud ». Ces investigations ont révélé :

- Que la sonde en elle-même ne semble pas endommagée (figure n°9) ;
- Que le câble d'alimentation de la sonde repose sur la surface horizontale qui sépare la partie « air chaud » de la partie « refroidissement » (figure n°10) ;
- On note également de forts impacts de chaleur juste au-dessus de cette zone.



positionnement prise de vue



Figure n°9 : sonde intacte

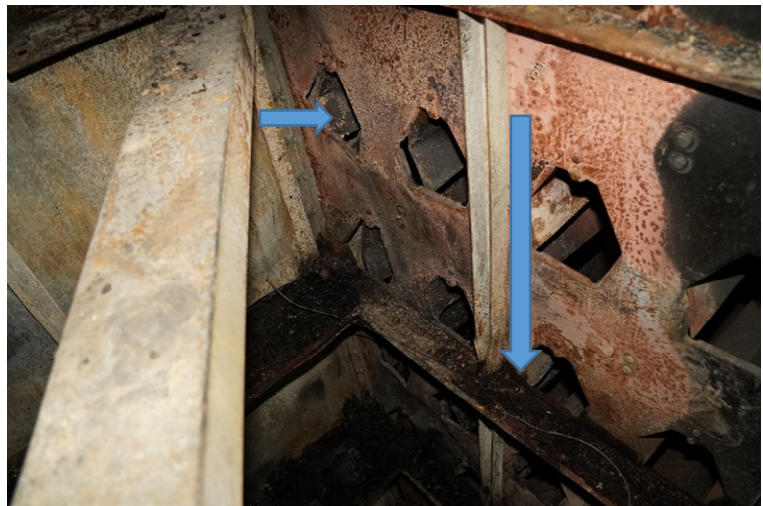


Figure n°10 : câble de la sonde (la trappe constituant le plancher est démontée)

Sur la figure n°11, un mélange de grains de maïs et de poussières est constaté sur le plancher où court le câble d'alimentation de la sonde et on retrouvera également les traces (figure n°12) d'une combustion simultanée de ce mélange maïs/poussières.

La visite d'un autre séchoir de technologie similaire permettra d'effectuer un certain nombre de comparaisons. On constatera notamment que s'il y a bien aussi un empoussièrement conséquent et la présence d'un mélange maïs/poussières au sein de l'installation, la partie « air chaud » (côté brûleur) par contre présente un degré bien moindre d'empoussièrement et on ne constate quasiment pas de maïs en grain dans cette partie du séchoir.



Figure n°11 : poussières et maïs

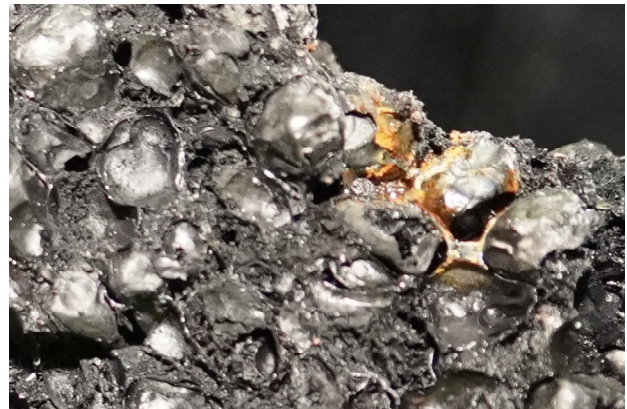


Figure n°12 : amalgame

V.3 Entretien de l'installation

Avant l'événement du 17 décembre 2024, l'installation a subi deux incendies l'un le 13 novembre 2024 et l'autre le 23 novembre 2024. À l'issue de chacun de ces sinistres, il a été procédé à des opérations de nettoyage et de vérification du séchoir.

Néanmoins, les rapports qui ont conduit au redémarrage de l'installation suite à ces deux sinistres ne mentionnent pas formellement la réalisation d'un contrôle de la partie basse du séchoir au niveau du passage de l'air recyclé.

En effet, dans le rapport de contrôle qui a suivi l'incendie du 13 novembre, on relève (compte-rendu du fabricant du 14/11/2024) : « ce côté (NDLR : le côté chaud) a été visité vu du bas du caisson mais il semblerait que l'ensemble des panneaux de cases et de dièdre n'ont subi aucun dommage ».

Puis le rapport de contrôle du 9 décembre suite au deuxième incendie, précise les travaux effectués, notamment coté brûleur et nettoyage de la colonne, mais n'apporte aucune précision quant à l'état de la partie côté air chaud recyclé.

V.4 Analyse de l'Ineris

Le BEA-RI a sollicité l'appui de l'Ineris sur quelques points spécifiques de l'enquête. En se basant sur la bibliographie, il lui a été demandé d'étudier la vraisemblance de l'inflammation d'une couche de poussières de maïs soumise à un flux d'air chaud avoisinant les 120 °C au regard de :

- L'âge (compacité) et de l'épaisseur de la couche de poussières ;
- L'influence du taux d'humidité de la graine sur la capacité de s'enflammer de la poussière formée;
- L'influence du taux d'humidité de la graine sur la quantité de poussières formée lors du processus de séchage ;
- L'influence de la présence au sein de la poussière, de grains de maïs dont le processus de fermentation pourrait avoir débuté.

Les éléments de réponse apportés figurent en **Annexe 1** de ce rapport. En substance, **l'Ineris conclut à la forte probabilité de l'auto-inflammation d'une couche de dépôt au regard des températures, de l'humidité et de l'épaisseur des couches de poussière constatées.**

En effet, en ce qui concerne l'âge et l'épaisseur de la couche de poussière, des données sont disponibles pour la poussière de blé et montrent que si l'on considère un dépôt de poussière de l'ordre de 10 /20 cm, la température critique d'inflammation se situe entre 135 et 155 °C, et peut être plus basse encore si la hauteur du dépôt de poussière est plus importante. Ces données peuvent être extrapolées à la poussière de maïs et permettent à l'Ineris de conclure que l'accumulation progressive dans le temps d'une couche de poussières de maïs de 10/20 cm dans une ambiance chaude menant à une auto-inflammation de cette couche paraît comme une hypothèse très probable du scénario accidentel.

Par contre, le dépôt de poussière étant soumis à un flux d'air chaud, son taux d'humidité a vraisemblablement beaucoup baissé au moment de l'accident ce qui limite l'influence potentielle de ce paramètre.

Mais le taux important d'humidité du grain en entrée de colonne pourrait être à l'origine d'une accentuation du phénomène de grain sale : les poussières fines émises lors des opérations de récolte et de manutention peuvent avoir adhéré à la surface des grains humides et avoir été entraînées dans le circuit d'air chaud lors du séchage.

En parallèle, il apparaît difficile de faire un lien entre un éventuel phénomène de fermentation et l'échauffement des grains lors de l'étape de séchage.

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement

VI.1 Scénario

En fin d'année 2024, le séchoir subit deux incendies, un premier le 13 novembre et un second le 23 novembre. Suite à ces deux sinistres, le séchoir est nettoyé et contrôlé. Mais il n'a pas été trouvé de trace formelle du nettoyage spécifique de la partie basse au niveau du passage de l'air recyclé.

Compte-tenu de ces éléments et des investigations réalisées, le scénario le plus probable semble le dépôt tout au long de la campagne d'une importante couche de poussières de maïs ainsi que de graines de maïs, notamment au niveau de la case séparant l'air recyclé et l'air frais, cette couche se trouvant simultanément dans un espace aéré et protégé du flux d'air principal.

La température à laquelle est soumise ce dépôt est très proche de la température « air inférieur » soit jusqu'à 0h50 de l'ordre de 109 °C. Ce qui représente 10 degrés de moins que la température de l'air supérieur.

À partir de 0h50, la hausse de la température « air inférieur » indique un apport de calories dans la partie basse de la colonne qu'il est possible d'attribuer à un début de combustion du mélange poussières/maïs sur le plancher de séparation entre la partie « air chaud recyclé » et « air frais ». La combustion étant rendue possible par une température ambiante proche de la température d'auto-inflammation de la poussière de maïs, elle-même abaissée par la hauteur de poussière présente.

Après 0h50, la température « air inférieur » augmente jusqu'à atteindre la même température que celle de « l'air supérieur ».

À 3h13, la sonde « air chaud inférieur » cesse de fonctionner (le câble de la sonde court sur le plancher sur lequel l'incendie a démarré). En l'absence d'alarme sonore, le dysfonctionnement ne sera constaté par les opérateurs que lors d'un passage en salle de commande. Ils procèdent alors à une ronde au niveau du séchoir et en l'absence de signe de départ de feu remettent le séchoir en fonctionnement.

À 3h43, les sondes de sécurité « coté air saturé » déclenchent les unes après les autres par dépassement des valeurs de seuil. Une deuxième visite du silo conduira à constater la présence d'un foyer.

Les secours seront prévenus à 4h19 et se présenteront sur site à 4h33.

VI.2 Facteurs contributifs

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

VI.2.1 Taux d'humidité de la graine

La saison 2024 a été caractérisée par un fort niveau de précipitations. Ces circonstances météorologiques ont eu une influence sur le maïs, dont la graine est arrivée très humide sur le site de séchage. Celui-ci a nécessité un séchage plus important et les températures de consigne de séchage ont donc été plus hautes (120 à 130 °C) que la pratique habituelle. La campagne 2024 a également été marquée par une augmentation globale de la quantité de maïs récolté et par une récolte plus tardive. Sur le site de Génicourt, du fait des capacités de traitement, un stockage tampon avant séchage a été mis en place sous forme de boudins stockés au sol.

Une autre conséquence des conditions atmosphériques sur la qualité de la graine est une quantité plus importante de poussières lors du séchage. En effet, par rapport à une année plus sèche, les poussières sont moins séparées lors des phases préalables au séchage comme lors du transport et des différentes

manipulations (phénomène de grain sale) et se retrouvent donc de manière plus importante dans le séchoir et ses circulations.

VI.2.2 Filtrage de l'air recyclé

Le séchoir où a eu lieu l'incendie n'est pas équipé de système de filtrage de l'air recyclé ce qui génère un taux d'empoussièrément global de l'installation important. Il a pu être constaté une différence notable d'empoussièrément de la "partie chaude" entre un silo équipé d'une telle filtration et le séchoir de Génicourt n'en possédant pas.

VI.2.3 Absence de report sonore d'alarme

Le système de contrôle-commande ne dispose pas de système de report d'alarme. Les opérateurs présents sur site, qui ne sont pas en permanence en salle de commande car occupés par d'autres tâches y passent régulièrement mais à une fréquence de l'ordre de la vingtaine de minutes, ce qui, en cas de déclenchement d'alarme, peut engendrer un délai supplémentaire dans la réaction à l'évènement.

VI.2.4 Accessibilité de la partie "air chaud"

Le départ de feu était localisé dans une zone difficilement accessible et non visible du bas du séchoir. Y accéder nécessitait de monter à un endroit où aucune échelle n'est disponible. Le foyer n'a alors été visible que lorsqu'il s'est développé et lorsque le rougeoiement des flammes a été visible par l'accès bas du séchoir. La difficulté d'accès a fortement retardé la détection de l'évènement et, de manière générale, complexifie toute intervention d'urgence ou d'entretien.

VI.2.5 Mécanisme de vidange

La vidange de la colonne de maïs en partie basse par utilisation d'une remorque de 20 tonnes a été mise en œuvre par le SDIS avec l'appui du personnel du site. Cela a permis de supprimer rapidement les 110 tonnes de masse combustible contenues dans la colonne pour ne plus avoir à traiter que les feux dans les circulations. L'existence et la possibilité de mise en œuvre de ce moyen de vidange a permis de réduire les conséquences et la durée du sinistre.

VII. Enseignements de sécurité

VII.1 Importance de la propreté des circulations d'air

La présence d'une importante couche de poussière combinée avec des grains dans la partie « chaude » du séchoir n'est pas habituelle contrairement à ce qui est généralement observé dans les parties « air usé ». Les opérations de nettoyage et la vérification de leur bonne exécution de ce côté du séchoir sont nécessaires et ne doivent pas se limiter à la partie « brûleur ». Ces opérations de nettoyage et de contrôle sont d'autant plus importantes à la suite de la survenue d'un sinistre.

Le filtrage de l'air recyclé, qui n'est pas systématique au sein des générations de séchoirs en fonctionnement, permet en grande partie de limiter ce risque d'empoussièrement lors d'un fonctionnement normal. En parallèle, une conception de l'installation qui limite les possibilités d'accumulation de la poussière est à privilégier.

VII.2 Détection rapide des foyers

L'accessibilité à la zone « air recyclé » est souvent délicate. En effet, elle est généralement située entre la zone brûleur et la colonne dans laquelle circulent les céréales. Elle est parfois munie d'une ouverture en partie basse et plus rarement d'échelles permettant une inspection des parties hautes. Elle est donc globalement difficile à inspecter et encore plus à nettoyer, au point de n'être accessible que par des cordistes. Lors d'un départ de feu dans cette zone, il est important de pouvoir rapidement le localiser.

VII.3 Instrumentation de l'installation

La détection visuelle d'un départ de feu dans un séchoir est délicate par conception, il est donc primordial qu'il soit équipé de sondes de température susceptibles de déclencher une alarme, intelligemment réparties pour pouvoir détecter et surveiller au mieux un début d'élévation de température.

VII.4 Caractéristiques de la graine

Les caractéristiques de la graine et notamment son taux d'humidité et sa capacité à dégager des poussières sont des paramètres qui peuvent influencer le phénomène d'auto-inflammation de la poussière de céréales. Leur variabilité peut être importante en fonction des années. Lors des années humides, ces paramètres doivent faire l'objet d'un suivi particulier et le cas échéant conduire à la mise en place d'un système de nettoyage de la graine avant son entrée dans le séchoir ainsi que de procédures de contrôle de l'état de propreté du séchoir durant la campagne y compris dans les "parties chaudes" du séchoir ainsi qu'à un suivi plus précis des évolutions de température au sein du séchoir.

Lorsque qu'un taux d'humidité important est constaté et que la température de consigne avoisine celle de l'auto-inflammation, une limitation de la température de consigne, du temps de séjour dans le séchoir et/ou une étape de pré-séchage sont à envisager.

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

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

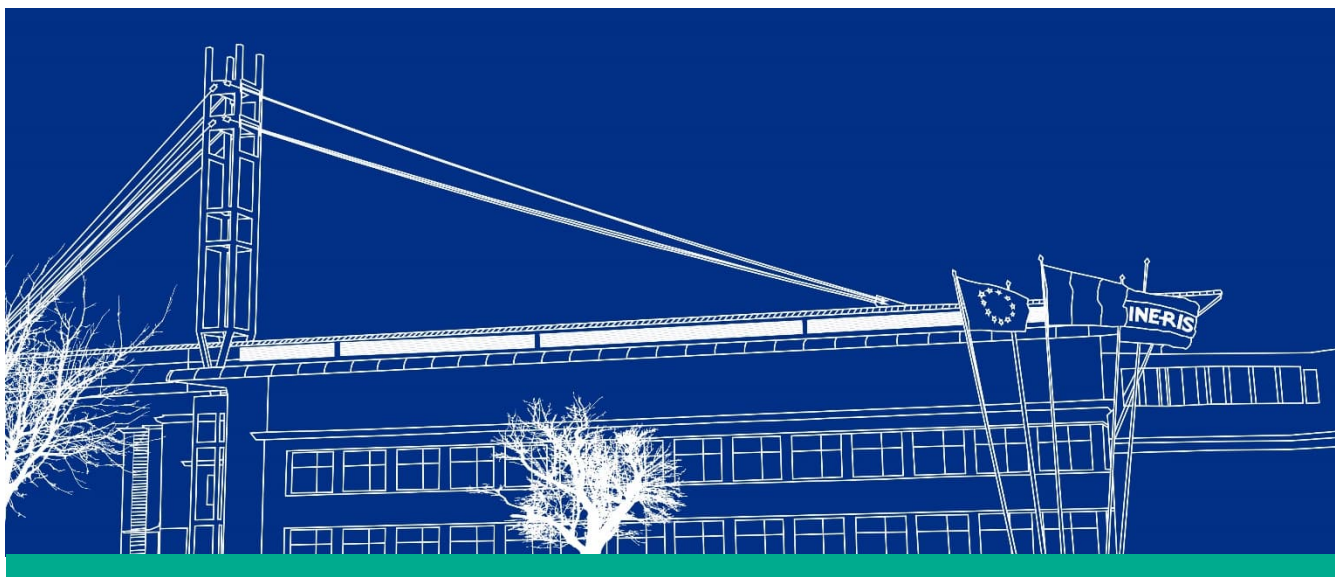
- **Revoir l'instrumentation du séchoir pour s'assurer qu'il est équipé d'un nombre suffisant de sondes de température de sécurité correctement positionnées et dont les seuils de déclenchement seront réexaminés, et que le suivi des valeurs remontées par celles-ci est suffisamment ergonomique pour permettre une intervention rapide en cas de besoin ;**
- **Mettre en place un moyen d'alerte (sonore ou tout autre moyen) permettant en cas de défaut sur le séchoir d'alerter sans délai les opérateurs ;**
- **Mettre en place une procédure de contrôle de l'état d'empoussièrement du séchoir qui s'applique à l'ensemble des parties de l'installation (y compris la partie chaude) ;**
- **Systématiser l'application de cette procédure de contrôle aux phases de réception de travaux de nettoyage, de manière régulière durant la campagne, à une fréquence adaptée à la qualité de la graine traitée, et après tout sinistre.**

IX. Annexe

Annexe 1	Rapport de l'Ineris en réponse à la saisine du BEA-RI	23
----------	---	----

Annexe 1 Rapport de l'Ineris en réponse à la saisine du BEA-Ri

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Appui technique de l'Ineris en réponse à la saisine du BEA-Ri à la suite de l'incendie survenu dans un séchoir à maïs de la société ALTERNAE sur son site de Génicourt (95) le 17 décembre 2024, Verneuil-en-Halatte : Ineris – 231940 – 2825699-v1.029/04/2025.



(ID Modèle = 454913)

Ineris -231940 - 2825699 - v1.0

**Appui technique de l'Ineris en réponse à la
saisine du BEA-RI à la suite de l'incendie
survenu dans un séchoir à maïs de la société
ALTERNAE sur son site de Génicourt (95) le
17 décembre 2024**

29/04/2025

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 : COLLET Martin

Vérification : BINOTTO GHISLAIN; CHAUMETTE SYLVAIN; STOUVENEL MICKAEL; VIGNES ALEXIS

Approbation : BOUET REMY - le 29/04/2025

Table des matières

1	Introduction	6
1.1	Déontologie	6
1.2	Contexte	6
2	Description succincte des installations concernées et des circonstances de l'accident	7
2.1	Description générale du séchoir	7
2.2	Circonstances des événements antérieurs	7
2.3	Description succincte de l'évènement du 17 décembre 2024	7
3	Réponse aux sollicitations du BEA-RI	8
3.1	Influence de "l'âge" (compacité) et de l'épaisseur de la couche de poussière sur l'inflammabilité	8
3.2	Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité de la poussière	10
3.3	Influence du taux d'humidité du grain sur la quantité de poussière formée lors du processus de séchage	11
3.4	Influence de la présence d'humidité au sein de la poussière de grain de maïs dont le processus de fermentation pourrait avoir débuté ¹	13
4	Conclusion	14
5	Références	16
6	Annexes	17

Table des illustrations

Figure 1 : Principe de fonctionnement du séchoir à grain de type « économiseur »	7
Figure 2 : Dispositif expérimental de détermination la température minimale d'inflammation en couche de 5 mm selon la norme ISO/IEC 80079-20-2	9
Figure 3 : Détermination de la dimension critique en fonction de la température (nouveau protocole) pour un échantillon de poussière de blé	10
Figure 4 : Observations des dégâts causés par les charançons du maïs sur les grains	12
Figure 5 : Evaluation des réglages de la moissonneuse-batteuse sur les différentes catégories d'impuretés	12

Résumé

Le BEA-RI a ouvert le 17 décembre 2024, une enquête sur l'évènement survenu le jour même au sein de la société Alternae située à Génicourt (95).

Deux enquêteurs du BEA-RI se sont rendus sur site. Selon les premiers éléments de l'enquête, l'incendie a pris naissance dans une gaine d'air chaud d'un séchoir à céréales séchant du maïs lors de l'évènement.

Dans la continuité des constats dressés lors de cette visite, l'expertise de l'Ineris a été mobilisée dans le cadre de sa coopération avec le BEA-RI, pour déterminer par la bibliographie un certain nombre de caractéristiques du maïs et des poussières qu'il est susceptible de générer.

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

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Appui technique de l'Ineris en réponse à la saisine du BEA-RI à la suite de l'incendie survenu dans un séchoir à maïs de la société ALTERNAE sur son site de Génicourt (95) le 17 décembre 2024, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 231940 - 2825699 - v1.029/04/2025.

Mots-clés :

BEA-RI, ALTERNAE, Génicourt, Incendie, Séchoir, Maïs, Auto-échauffement.

Glossaire

ATD / ATG : Analyse thermique différentielle couplée à une analyse thermogravimétrique.

ATEX : Atmosphère explosible ou Atmosphère explosive.

BEA-RI : Bureau d'enquêtes et d'analyses - Risques industriels.

ICPE : Installation classée pour l'environnement.

Ineris : Institut national de l'environnement industriel et des risques.

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité.

TAI : Température d'auto-inflammation.

TMI : Température Minimale d'inflammation.

1 Introduction

1.1 Déontologie

Durant ces 10 dernières années, l'Ineris n'a pas réalisé de prestation pour la société ALTERNAE.

1.2 Contexte

Le BEA-RI a ouvert le 17 décembre 2024, une enquête sur l'évènement survenu le jour même au sein de la société Alternae située à Génicourt (95).

Deux enquêteurs du BEA-RI se sont rendus sur site. Selon les premiers éléments de l'enquête, l'incendie aurait pris naissance dans une gaine d'air chaud d'un séchoir à céréales séchant du maïs lors de l'évènement.

Dans la continuité des constats dressés lors de cette visite, le BEA-RI souhaite mobiliser l'expertise de l'Ineris, pour déterminer par la bibliographie un certain nombre de caractéristiques du maïs et des poussières qu'il est susceptible de générer.

En pratique, il est demandé à l'Ineris, en se basant sur la bibliographie d'établir la vraisemblance de l'inflammation d'une couche de poussières de maïs soumise à un flux d'air chaud (120°C) notamment au regard de :

- L'influence de "l'âge" (compacité) et de l'épaisseur de la couche de poussières,
- L'influence du taux d'humidité de la graine sur l'inflammabilité de la poussière,
- L'influence du taux d'humidité de la graine sur la quantité de poussières formée lors du processus de séchage,
- L'influence de la présence d'humidité au sein de la poussière de grain de maïs dont le processus de fermentation pourrait avoir débuté lors du stockage préliminaire.

L'année 2024 a été marquée par une forte humidité, ce qui a entraîné l'arrivée de grains de maïs avec une hygrométrie élevée (teneur en eau entre 35 et 40 % en masse). Dans le séchoir, une combinaison de grains "neufs" et "stockés" a été identifiée, avec un objectif de séchage à environ 15 % en masse d'humidité. La perte de 20 points d'humidité a nécessité des températures élevées et une opération en une seule passe. Plusieurs incendies ont été signalés au cours de l'année 2024.

2 Description succincte des installations concernées et des circonstances de l'accident

2.1 Description générale du séchoir

L'installation impliquée dans cet incendie est un séchoir à maïs de type « économiseur » qui intègre un système de recyclage d'air chaud en partie basse. Ce système permet de réaliser des économies d'énergie en gardant dans le circuit de ventilation une partie des calories apportées par le brûleur à gaz (Figure 1).

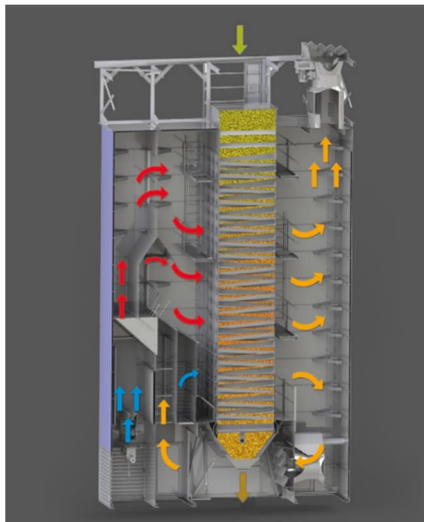


Figure 1 : Principe de fonctionnement du séchoir à grain de type « économiseur »

Cependant, ce recyclage d'air interne peut être à l'origine d'une augmentation de la concentration en poussières fines dans le circuit d'air chaud. En effet, malgré la présence de volets anti-poussières en partie basse, dont le rôle est de rabattre les poussières présentes dans le circuit d'air recyclé sans pour autant les capter, il est alors probable qu'une quantité non-négligeable de poussières fines ait pu être réintroduite dans le circuit d'air chaud.

2.2 Circonstances des événements antérieurs

Plusieurs événements antérieurs à l'événement survenu le 17 décembre 2024 ont été recensés sur la même installation (ARIA 63047, ARIA 63055). Ces incendies, respectivement survenus les 13 et 23 novembre 2024 ont révélé que l'humidité et la propreté du grain et du séchoir auraient pu avoir un impact sur la survenue de ces incidents.

En effet, lors du premier événement, l'incendie en tête de séchoir est lié à un bouchon de maïs humide en partie haute dans la colonne de grain, côté air usé, soumis à un flux d'air chaud dans le séchoir en fonctionnement.

Lors du second événement, l'incendie serait lié à la présence de poussières au niveau des déflecteurs situés au-dessus des brûleurs, qui auraient chauffé puis basculé dans le caisson de circulation d'air lors du recyclage. De la poussière accumulée entre des panneaux isolants a ensuite pris feu. La présence de poussières au niveau des déflecteurs serait liée à un nettoyage insuffisant à la suite du précédent incendie.

2.3 Description succincte de l'événement du 17 décembre 2024

Le troisième événement survenu sur cette installation, qui fait l'objet de ce rapport, pourrait avoir pour origine un dépôt de poussières de plusieurs dizaines de centimètres présent dans la partie air chaud au niveau de la colonne de séchage, selon les premiers éléments de l'enquête du BEA-RI. L'analyse menée par l'Ineris vise à explorer la pertinence de ce scénario et notamment à établir la vraisemblance de l'inflammation d'une couche de poussière de maïs soumise à un flux d'air chaud (120°C).

3 Réponse aux sollicitations du BEA-RI

3.1 Influence de "l'âge" (compacité) et de l'épaisseur de la couche de poussière sur l'inflammabilité

L'inflammabilité d'une couche de poussière ne dépend pas seulement de sa composition chimique. Deux paramètres physiques jouent un rôle important : la compacité (ou densité apparente) et l'épaisseur du dépôt.

- **Effet de la compacité**

Lorsqu'une poussière vient d'être déposée, elle est en général peu compacte, l'oxygène peut diffuser assez facilement dans le dépôt de poussières, ce qui va faciliter les réactions d'oxydation, pouvant ainsi faciliter l'inflammation. Avec le temps, ou sous l'effet de vibrations, la poussière se tasse. Elle devient alors plus dense et moins poreuse. Cette compaction réduit la diffusion de l'air au sein du dépôt de poussière, mais améliore la conduction thermique à l'intérieur du dépôt comparativement à un dépôt « frais ». La chaleur se répartit donc mieux, ce qui limite la présence de points chauds.

Ainsi, un dépôt plus compact aura tendance à s'enflammer moins facilement, car il laisse entrer moins d'oxygène, la chaleur s'y répartit plus vite, ce qui évite des températures critiques localisées (points chauds). À l'inverse, une poussière peu compacte (faible masse volumique), favorise une bonne diffusion de l'oxygène mais retient plus facilement la chaleur, l'air étant un mauvais conducteur de chaleur.

Du point de vue de la sécurité industrielle, il convient donc d'évaluer la température d'inflammation d'un dépôt de poussière non compacté afin d'être dans un cas majorant (en l'absence de fermentation qui elle au contraire est favorisée par le compactage et l'activité microbienne dans le cas de la biomasse pour des températures inférieures à 70-80°C).

- **Effet de l'épaisseur du dépôt**

L'épaisseur de la couche de poussière est également un facteur important. Plus une couche est épaisse plus elle peut produire de chaleur par oxydation (dépend du volume du dépôt) et moins elle peut dissiper la chaleur produite vers son environnement (dépend de la surface du dépôt). Ce déséquilibre entre la chaleur produite à l'intérieur du dépôt de poussières et sa capacité à dissiper la chaleur explique pourquoi des couches épaisses ont un risque d'auto-échauffement et d'auto-inflammation plus élevé.

Dit autrement, la température à laquelle un dépôt s'auto-enflamme diminue quand son volume augmente, car la chaleur s'y accumule plus facilement, conformément à ce qui peut être prédit via des modèles d'auto-échauffement classiques (e.g. modèle de Frank-Kamenetskii).

Afin de quantifier la vraisemblance de l'inflammation d'un dépôt de poussière de maïs dans les conditions de l'accident, il conviendrait donc de réaliser un essai en considérant une couche de poussière formée sans compression de la couche, le vieillissement de la couche entraînant une moindre sensibilité à l'inflammation, dans une ambiance chaude.

Classiquement, un essai d'inflammation en couche selon la norme NF EN ISO/IEC 80079-20-2 permet de déterminer la température d'inflammation d'un dépôt de poussière de 5 mm d'épaisseur sans compression de la poussière mais à température ambiante.

La caractérisation de l'inflammation des couches de poussière est réalisée selon la norme ISO/IEC 80079-20-2. Cette évaluation consiste à déposer un échantillon de poussière d'une épaisseur de 5 mm sur une plaque chauffante (voir Figure 2). Son objectif est de déterminer la température maximale de surface des équipements à installer en zone ATEX, afin de prévenir l'inflammation de cette couche, qui pourrait déclencher une explosion ATEX ou un incendie.



Figure 2 : Dispositif expérimental de détermination la température minimale d'inflammation en couche de 5 mm selon la norme ISO/IEC 80079-20-2

L'utilisation de cette donnée pour la prévention de l'auto-échauffement des dépôts de solides divisés/dépôts de poussières en ambiance chaude est fréquente mais non pertinente. En effet, l'essai normalisé selon la norme ISO/IEC 80079-20-2 est effectué en condition ambiante (ambiance froide), ce qui n'est pas représentatif de dépôts de poussière pouvant se retrouver sur des parois de sècheurs.

Afin de répondre à cette problématique, A. Vignes et A. Janès¹ ont développé à l'Ineris un nouveau protocole de mesure de la température d'inflammation des couches en ambiance chaudes. Ce dispositif de plaque chaude en étuve a ainsi permis de mesurer et comparer les températures d'inflammation en ambiance chaude et froide pour différents composés (blé, charbon, cacao, ...).

Les résultats indiquent que la température critique d'inflammation d'une couche de 5 mm de poussières obtenue en ambiance chaude est inférieure de 60 à 120°C à la température d'inflammation obtenue à température ambiante telle que déterminée classiquement selon la norme NF EN ISO/IEC 80079-20-2. Cette différence s'explique par une moindre dissipation thermique de l'énergie libérée par les réactions d'oxydation du matériau testé, due à la réduction du gradient thermique entre l'échantillon et son environnement en ambiance chaude.

En reprenant les extrapolations effectuées par A. Vignes et A. Janès, une estimation de la température minimale d'inflammation en couche et en ambiance chaude (pour de la poussière de blé) peut être effectuée en utilisant le graphique ci-dessous (Cf. Figure 3).

En considérant, une taille de dépôt de poussières de l'ordre de 10/20 µm, la température critique d'inflammation se situe entre 135 et 155°C. Il est alors probable que ce phénomène soit à l'origine de l'incendie observé sur cette installation. A noter qu'un dépôt de 40 cm de poussière de blé aurait été suffisant pour s'auto-enflammer à 120°C dans les conditions expérimentales.

¹ Agnès Janès, Alexis Vignes, Olivier Dufaud, Ignition temperatures of dust layers and bulk storages in hot environments, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 59, 2019, Pages 106-117

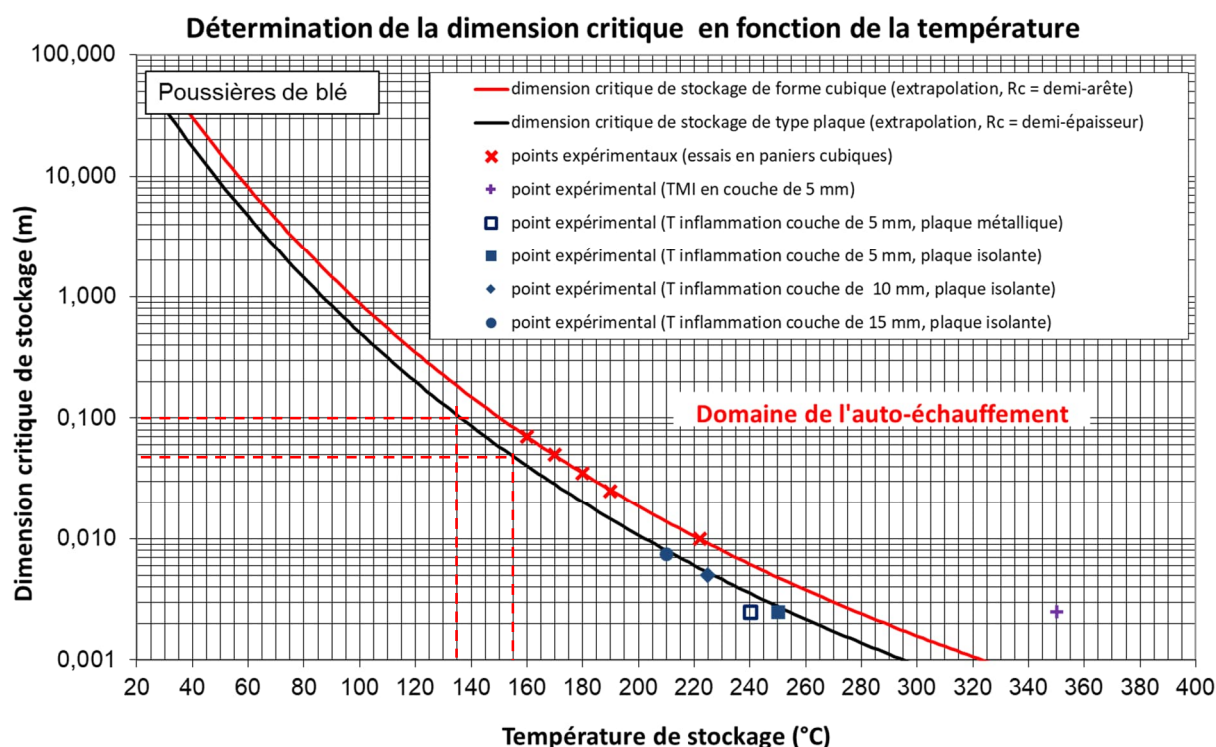


Figure 3 : Détermination de la dimension critique en fonction de la température (nouveau protocole) pour un échantillon de poussière de blé

L'estimation précédente vaut pour un échantillon de poussière de blé. Aucune donnée concernant l'inflammabilité en ambiance chaude d'une couche de poussière de maïs n'est disponible.

Par rapport à l'incendie du séchoir dans une gaine à 120°C et considérant un dépôt de maïs de 10/20 cm, en première approximation et tenant compte des incertitudes de mesures, l'hypothèse d'un auto-échauffement semble probable. L'Ineris recommande toutefois une évaluation expérimentale de la température critique d'auto-inflammation des poussières de maïs dans les conditions de fonctionnement du séchoir (température et épaisseur du dépôt) afin de confirmer cette hypothèse.

En conclusion l'accumulation progressive dans le temps d'une couche de poussières de maïs de 10/20 cm dans une ambiance chaude de la gaine (température et ventilation), menant à une auto-inflammation de cette couche paraît comme une hypothèse très probable de ce scénario accidentel.

3.2 Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité de la poussière²

L'influence de l'humidité de la biomasse sur le processus de séchage a été mise en évidence dans plusieurs études. Une teneur en eau élevée nécessite un apport accru de chaleur pour évaporer l'eau contenue dans la poussière, ce qui ralentit la montée en température. En effet, l'énergie fournie est d'abord mobilisée pour augmenter la température de l'eau contenue dans la graine, retardant ainsi l'élévation de la température du produit, notamment au centre de la graine. Par la suite, l'évaporation se produit de manière soudaine et en grande quantité³.

² Amina Bouzarour. Auto-échauffement d'un lit ventilé de matériaux carbonés : cas du bois torréfié. Génie des procédés. Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, 2019. Français. NNT : 2019EMAC0012. tel-02903159.

³ R. B. Bates and A. F. Ghoniem, "Modeling kinetics-transport interactions during biomass torrefaction : The effects of temperature, particle size, and moisture content," *Fuel*, vol. 137, pp. 216–229, Dec. 2014.

Dans le cas d'une particule isolée, une forte humidité peut entraîner un dépassement de la température cible, plus marqué au centre. Pour un empilement de particules, le retard thermique est plus prononcé à la sortie de l'empilement (par rapport au flux d'air chaud). De ce fait, lorsque les réactions de dégradation commencent, le gaz s'est déjà refroidi⁴.

Par ailleurs, il est important de préciser que l'humidité peut modifier la réactivité de surface de certaines matières organiques. Par exemple, en présence d'eau, des produits comme le sucre peuvent développer une couche collante en surface, ce qui influence leur comportement réactif. Il serait pertinent d'approfondir l'étude de cet effet dans le cadre de l'accident survenu.

De manière générale, la teneur en humidité joue un rôle déterminant dans le mécanisme d'auto-échauffement, par plusieurs voies :

- **Au niveau réactionnel** : L'eau peut agir comme catalyseur, favorisant certaines réactions d'oxydation.
- **Au niveau des transferts thermiques** : L'eau, du fait de sa capacité calorifique élevée, participe au stockage et à la dissipation de la chaleur.

Le comportement varie en fonction de la quantité d'eau présente :

- **Faible teneur en eau** : L'humidité est insuffisante pour favoriser l'adsorption optimale de l'oxygène, limitant ainsi les réactions exothermiques.
- **Teneur intermédiaire** : Une humidité modérée permet une adsorption efficace de l'oxygène, ce qui peut entraîner une réaction exothermique intense et accroître le risque d'auto-échauffement.
- **Forte teneur en eau** : Lorsque les espaces interstitiels sont saturés, l'eau limite la diffusion de l'oxygène à l'intérieur du dépôt, freinant alors la réaction d'oxydation.

Concernant les transferts thermiques, dans des conditions de ventilation adéquates, l'évaporation de l'eau permet de limiter la montée en température. Toutefois, en l'absence de ventilation suffisante ou dans des dépôts denses, cette évaporation peut entraîner des zones locales de surchauffe, favorisant à nouveau l'auto-échauffement.

Ainsi, il existe une plage d'humidité "optimale" dans laquelle le risque d'auto-échauffement est maximal. Ce risque est particulièrement élevé lorsque le dépôt de poussières contient une quantité d'eau suffisante pour intensifier les réactions chimiques, mais insuffisante pour permettre une dissipation thermique efficace.

3.3 Influence du taux d'humidité du grain sur la quantité de poussière formée lors du processus de séchage

La présence d'une quantité importante de poussière dans les gaines d'air chaud du séchoir pourrait être due à plusieurs facteurs relatifs à l'humidité élevée de l'année 2024. Ces facteurs sont présentés ci-dessous :

- **Le développement d'insectes ravageurs**. D'après l'Institut technique agricole ARVALIS⁵, l'humidité de l'année 2024 a significativement impacté la prolifération d'insectes ravageurs tels que les héliothis, charançons du maïs ou autres pyrales. Ces insectes sont connus pour décomposer la matière, entraînant la formation de particules de granulométrie plus fine (Cf. Figure 4) qui peuvent restées agglomérées à la surface du grain humide et être entraînées par le flux d'air chaud lors du séchage.

⁴ P. Perré, R. Rémond, I. Turner, A comprehensive dual-scale wood torrefaction model: Application to the analysis of thermal run-away in industrial heat treatment processes, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 64, 2013, Pages 838-849, ISSN 0017-9310.

⁵https://www.arvalis.fr/sites/default/files/medias/pdf/2025-01/Guide_preco_CHOISIR_mais_2024_2025_Centre_IledeFrance.pdf

Cependant, ce phénomène est plutôt observé après l'opération de séchage et nécessite plusieurs mois pour avoir un impact significatif sur la génération de particules de granulométrie fine. L'hypothèse d'un développement d'insectes ravageurs entraînant une formation de fines entre la récolte et l'opération de séchage apparaît donc peu probable.



Figure 4 : Observations des dégâts causés par les charançons du maïs sur les grains.

- **La génération de poussières lors de la récolte/manutention.** D'après ARVALIS⁶, il existe des corrélations entre certains réglages de la moissonneuse batteuse et la génération d'impuretés, casse ou fissure du grain de maïs (Figure 5). Un réglage inadapté produit, en plus des grains brisés, des grains fissurés et des poussières fines. Du chantier de récolte à sa destination finale, le grain subit plusieurs opérations de transfert et de manutention. Lors de la manutention, les grains de maïs ont tendance à générer plus de poussières que d'autres grains⁷ (blé, soja, ...), cela étant dû à la structure interne de son grain, qui se fragmente en particules de tailles aléatoires lors de la casse. Le mauvais paramétrage de certains de ces paramètres lors de la récolte aurait également pu participer à la génération de poussières fines en quantité importante restant adhérentes sur la surface des grains.

Tableau 1 : Evaluation des réglages de la moissonneuse-batteuse sur les différentes catégories d'impuretés (tableau élaboré dans le cadre de la charte qualité maïs classe A)

	Grains brisés	Grains fissurés	Impuretés constituées par des grains	Impuretés diverses	
				Grains avariés, moisés	Matières inertes dont poussières
Régime du batteur	+++	+++			+++
Serrage batteur/contre-batteur	+++	+++	+		++
Vents	+	++	+++	+++	+++
Ouverture grille supérieure					++
Ouverture grille inférieure	++	++	+++		++
Vitesse d'avancement			++		++

Corrélation entre l'organe et la catégorie d'impureté :	
+++	Très forte
++	Fortes corrélations
+	Faible
	Aucune

Figure 5 : Evaluation des réglages de la moissonneuse-batteuse sur les différentes catégories d'impuretés

- **Un grain « sale » entraînant des poussières dans les gaines de ventilation lors de l'étape de séchage.** Les poussières fines émises lors des opérations de récolte ou de manutention peuvent adhérer à la surface des grains humides. Lors du séchage, elles sont entraînées par le flux d'air chaud, augmentant ainsi la charge particulaire en suspension et favorisant une accumulation significative de dépôts dans les gaines, pouvant être supérieure à celle observée les années précédentes.

⁶ [Six paramètres à vérifier pour régler la moissonneuse-batteuse | ARVALIS](#)

⁷ J. M. Boac, R. G. Maghirang, M. E. Casada, J. D. Wilson, Y. S. Jung. (2009). Size distribution and rate of dust generated during grain elevator handling. American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0883-8542

En conclusion, l'hypothèse de l'accumulation de quantité de poussières plus importante dans les séchoirs lorsque que la graine est plus humide pourrait être expliquée par le phénomène d'adhérence de plus de poussières au grain humide à l'arrivée dans le séchoir. Ces poussières étant entrainer dans le flux d'air chaud au fur et à mesure que le grain perd en humidité.

3.4 Influence de la présence d'humidité au sein de la poussière de grain de maïs dont le processus de fermentation pourrait avoir débuté¹

En amont du séchage, certains lots de maïs ont été stockés en boudins. Selon les conditions de stockage (durée, température, concentration en oxygène), un processus de fermentation des grains a pu se produire (poches de fermentation selon les conditions de stockage), l'humidité favorisant la croissance des micro-organismes fermentaires.

La majorité des produits agroalimentaires et des végétaux sont susceptibles de se dégrader sous certaines conditions (forte humidité, température élevée, stade de récolte, temps de stockage etc.). Ce phénomène résulte soit de réactions biologiques exothermiques, induites par une activité respiratoire intense des micro-organismes (respiration aérobie), soit de réactions fermentaires produisant des gaz inflammables tels que l'hydrogène (H_2) et le méthane (CH_4). La poussière issue de la fragmentation du maïs est susceptible de fermenter plus facilement que les grains car susceptible de libérer facilement les substrats fermentescibles.

En atmosphère confinée, lorsque la concentration en monoxyde de carbone (CO) dépasse 10 %, l'activité respiratoire est inhibée et la production de chaleur issue de la respiration aérobie diminue. En milieu anaérobie (absence d'oxygène), les processus fermentaires génèrent des gaz inflammables (CH_4 , CO), mais induisent moins de chaleur que la respiration aérobie. Le principal risque associé est alors l'accumulation de ces gaz inflammables et le risque de formation d'une atmosphère explosive en présence d'air, plutôt que l'auto-inflammation des dépôts de poussière.

Au-delà de 70-80°C, la population microbienne décroît rapidement et les réactions exothermiques liées à la respiration aérobie ou à la fermentation cessent.

En conclusion, il est peu probable qu'un processus de fermentation de poussière de maïs en amont du séchoir ait généré l'inflammation de la couche de poussières, le phénomène de fermentation était peu probable dans les conditions de température du séchoir (120°C).

4 Conclusion

L'Ineris a apporté un appui technique en réponse à la saisine du BEA-RI datant du 20/12/2024.

Deux enquêteurs du BEA-RI se sont rendus sur le site concerné par le sinistre. Selon les premiers éléments de l'enquête, l'incendie aurait pris naissance dans une gaine d'air chaud d'un séchoir à céréales séchant du maïs lors de l'évènement.

Dans la continuité des constats dressés lors de cette visite, le BEA-RI souhaite mobiliser l'expertise de l'INERIS, pour déterminer par la bibliographie un certain nombre de caractéristiques du maïs et des poussières qu'il est susceptible de générer :

- 1) **L'influence de « l'âge » et de l'épaisseur de la couche de poussière** : En reprenant les conclusions de l'étude Vignes et Janès, une estimation de la température minimale d'inflammation en couche et en ambiance chaude (pour de la poussière de blé) peut être effectuée. En considérant, une taille de dépôt de poussière de l'ordre de 10/20 cm, la température critique d'inflammation se situe entre 135 et 155°C. Il est alors probable que ce phénomène soit à l'origine de l'incendie observé sur cette installation. A noter qu'un dépôt de 40 cm de poussière de blé aurait été suffisant pour s'auto-enflammer à 120°C dans les conditions expérimentales. D'autres phénomènes comme l'« âge » de la couche et la ventilation ont également pu avoir un impact sur l'apparition de ce phénomène.
- 2) **L'influence du taux d'humidité de la graine sur l'inflammabilité de la poussière** : Dans les conditions de l'accident, l'impact du taux d'humidité de la poussière joue sur le temps d'induction. Plus un produit est humide, plus le temps nécessaire à l'apparition du phénomène d'auto-échauffement est long. L'humidité de la couche a également pu avoir un impact sur les mécanismes réactionnels mis en jeu. Cependant, le dépôt de poussière étant soumis à un flux d'air chaud, son taux d'humidité était certainement assez faible avant l'accident, ce qui limite l'influence de ce paramètre.
- 3) **L'influence du taux d'humidité de la graine sur la quantité de poussière formée lors du processus de séchage** : L'humidité de l'année 2024 pourrait être à l'origine d'une accentuation du phénomène de grain « sale » tel qu'observé dans la synthèse d'accident ARIA N°63047. Ce phénomène pourrait être dû à des poussières fines émises lors des opérations de récolte ou de manutention pouvant adhérer à la surface des grains humides et entraînées ensuite dans le circuit d'air chaud lors du séchage. Ce phénomène, couplé à un mauvais nettoyage de l'installation (ARIA N°63055) pourrait expliquer la présence de dépôts de poussières importants, rendant ces dépôts plus sensibles au risque d'inflammation. De plus, ce type de séchoir dit « économiseur » ne permet pas de traiter une accumulation de la quantité de poussière dans l'air recyclé, entraînant une augmentation de la concentration de poussière dans la partie air chaud.
- 4) **L'influence de la présence au sein de la poussière de grain de maïs dont le processus de fermentation pourrait avoir débuté lors du stockage préliminaire** : Le principal danger associé à la présence de grains de maïs dont le processus de fermentation est la génération de gaz inflammables lors de ce stockage qui démarre lors du stockage préliminaire. Ce phénomène provoque des risques d'explosions des gaz générés. Il apparait difficile de faire un lien entre ce phénomène et l'inflammabilité des grains lors de l'étape de séchage.

Il est à noter que lors de l'utilisation des données issues des Fiches de Données de Sécurité (FDS) ou de résultats expérimentaux, il est essentiel de ne pas les considérer comme des valeurs absolues, mais de les adapter au contexte spécifique du procédé. En effet, les conditions opératoires telles que la température, la pression, l'humidité ou la concentration en oxygène peuvent influencer les propriétés physico-chimiques des substances et modifier les seuils critiques établis normativement. Par exemple, une taille de dépôt élevée peut abaisser le point d'auto-inflammation d'une poussière combustible, tandis qu'une variation de pression peut affecter la concentration limite d'explosivité d'un gaz.

Ainsi, il est indispensable d'intégrer ces paramètres dans l'évaluation des risques afin d'assurer une sécurité optimale lors des opérations industrielles.

Enfin, l'Ineris préconise de suivre les recommandations suivantes pour traiter les grains particulièrement humides⁸ :

- Limiter la température de séchage,
- Procéder à un pré-séchage lorsque l'humidité du grain est supérieure à 22/24 %,
- Procéder à un lavage du grain lorsqu'il est « sale »,
- Mettre en place des tôles inclinées (ou systèmes équivalents) pour limiter l'apparition de dépôts dans les « angles » et points morts de l'installation,
- Mettre en place un programme strict de contrôle et de nettoyage des gaines d'air chaud pour éviter l'accumulation de poussières inflammables. La fréquence doit être adaptée à la production,
- Réaliser des évaluations de risque spécifique « poussières combustibles » avec mise à jour des procédures si besoin,
- Installer des détecteurs spécifiques aux aérosols chauds et aux fumées dans les gaines et les équiper d'un système d'extinction localisé (sprinklage, inertage, ...),
- Sensibiliser, former les opérateurs aux risques liés aux poussières combustibles, à la détection précoce d'incidents et à la conduite à tenir en cas d'alarme.

⁸ Recommandations partiellement issues du Guide pratique pour le séchage des grains en organisme sécheurs, ARVALIS - Institut du végétal - FFCAT

5 Références

Base de données ARIA BARPI. Disponible à : <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/le-barpi/>

Site internet de ARVALIS, Institut technique agricole : <https://www.arvalis.fr/>

Guide pratique pour le séchage des grains en organisme sécheurs, ARVALIS - Institut du végétal – FFCAT

S. Evanno, J.P. Pineau, J. Chaineaux, R. Lodel, D. Carson (Ineris, 2005). Omega 11 – Connaissance des phénomènes d'auto-échauffement des solides combustibles, Rapport d'étude N° DRA-2005-46055.

Bowes P.C. (1984). Self-heating : evaluating and controlling the hazards, Dept. of the Environment, Building Research Establishment ; Amsterdam ; New York : Elsevier

Agnès Janès, Alexis Vignes, Olivier Dufaud, Ignition temperatures of dust layers and bulk storages in hot environments, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 59, 2019, Pages 106-117.

P. Nordon, "A model for the self-heating reaction of coal and char" *Fuel*, vol. 58, no. 6, pp. 456–464, 1979.

A. Bouzarour. Auto-échauffement d'un lit ventilé de matériaux carbonés : cas du bois torréfié. Génie des procédés. Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, 2019. Français. NNT : 2019EMAC0012. tel-02903159.

R. B. Bates and A. F. Ghoniem, "Modeling kinetics-transport interactions during biomass torrefaction : The effects of temperature, particle size, and moisture content," *Fuel*, vol. 137, pp. 216–229, Dec. 2014.

P. Perré, R. Rémond, I. Turner, A comprehensive dual-scale wood torrefaction model: Application to the analysis of thermal run-away in industrial heat treatment processes, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 64, 2013, Pages 838-849, ISSN 0017-9310.

J. M. Boac, R. G. Maghirang, M. E. Casada, J. D. Wilson, Y. S. Jung. (2009). Size distribution and rate of dust generated during grain elevator handling. American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0883-8542

6 Annexes

Liste des annexes :

- Annexe 1 : Lettre de saisine du BEA-RI du 20/12/2024 – 1 page ;
- Annexe 2 : Equations de production et déperdition de chaleur – 1 page.

Annexe 1

Lettre de saisine du BEA-RI du 20/12/2024

1 page

Mission conjointe BEA-RI - INERIS

Le BEA-RI a ouvert le 17 décembre 2024 une enquête sur l'évènement survenu le jour même au sein de la société Alternae située à Génicourt (95).

Deux enquêteurs du BEA-RI se sont rendus sur site. Selon les premiers éléments de l'enquête, l'incendie a pris naissance dans un séchoir à céréales séchant du maïs lors de l'évènement.

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 déterminer par la bibliographie un certain nombre de caractéristiques du maïs et des poussières qu'il est susceptible de générer.

En pratique, il est demandé à l'INERIS, en se basant sur la bibliographie d'établir la vraisemblance de l'inflammation d'une couche de poussière de maïs soumise à un flux d'air chaud (120°C) notamment au regard de :

- L'influence de "l'âge" (compacité) et de l'épaisseur de la couche de poussière,
- L'influence du taux d'humidité de la graine sur l'inflammabilité de la poussière,
- L'influence du taux d'humidité de la graine sur la quantité de poussière formée lors du processus de séchage.
- L'influence de la présence au sein de la poussière de grain de maïs dont le processus de fermentation pourrait avoir débuté lors du stockage préliminaire.

Nous souhaiterions pouvoir disposer de vos conclusions au travers d'une courte note (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 20/12/2024



Henri Kaltembacher

Annexe 2

Equations de production et déperdition de chaleur (tiré de l'Omega 11)

1 page

EQUATION D'ARRHENIUS

L'équation suivante (1) permet de calculer la vitesse de la réaction, en admettant que cette dernière soit indépendante de la consommation du solide combustible (l'ordre partiel de la réaction est égal à zéro) :

$$\frac{dQ}{dt}(1) = V.Hr.A.(P\%O_2)^n . e^{\left(-\frac{E}{RT}\right)} \quad (1)$$

où :

- dQ/dt (1) : puissance générée (W),
- V : volume de produit mis en œuvre (m³)
- Hr : chaleur de réaction (J/mole d'O₂)
- A : facteur pré-exponentiel de la loi d'Arrhenius (mole d'O₂/m³/s),
- P%O₂ : pression partielle d'oxygène dans l'air (sans dimension),
- n : ordre partiel de la réaction par rapport à l'oxygène,
- E : énergie d'activation de la réaction (J/mole),
- R : constante des gaz parfaits (J/mole/K),
- T : température (K).

EQUATION DE NEWTON

L'augmentation de la température est également liée aux déperditions de chaleur, obéissant à la loi de Newton (2). Dans une première approximation, il est possible de considérer que :

$$\frac{dQ}{dt}(2) = hS \cdot (T - Ta)$$

où :

- dQ/dt (2) : puissance dissipée (W), qui décrit l'évolution de la température dans le temps dans un volume donné, qui est déterminée par le transfert de chaleur dû à la convection à l'extérieur du matériau,
- h : coefficient global d'échange du stockage (W/m²/°C),
- S : surface d'échange (m²),
- T : température du stockage (°C),
- Ta : température ambiante (°C).

Pour un stockage de masse m, le coefficient de perte de chaleur correspond au terme hS/m et est indépendant de la température initiale.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



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

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

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

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