



(ID Modèle = 454988)

Ineris - 203143 - 2702928 - v1.0

22/01/2021

## **Etude de dangers pour le projet de transition biomasse du site ALBIOMA Le Gol**

ALBIOMA

**INERIS**

maîtriser le risque |  
pour un développement durable |

## **PRÉAMBULE**

Le présent document a été établi sur la base des informations transmises à l'Ineris. 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 fournies.

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 présent document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La prestation ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser le document après cette date.

L'établissement du présent document et la prestation associée sont réalisés dans le cadre d'une obligation de moyens.

Au vu de la mission qui incombe à l'Ineris au titre de l'article R131-36 du Code de l'environnement, celui-ci n'est pas décideur. Ainsi, les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre de cette prestation ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur. 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 présent 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 toute utilisation du document en dehors de son objet.

En cas de contradiction entre les conditions générales de vente et les stipulations du présent préambule, les stipulations du présent préambule prévalent sur les stipulations des conditions générales de vente.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction des Risques Accidentels

Rédaction : SARRIQUET Aurore -

Vérification : BOLVIN CHRISTOPHE

Approbation : Document approuvé le 22/01/2021 par PIQUETTE BERNARD

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

## Table des matières

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Résumé non technique.....   | 5  |
| 1.1   | Description du site et de son environnement .....   | 5  |
| 1.2   | Démarche de l'analyse des risques .....   | 5  |
| 1.3   | Installations.....  | 6  |
| 1.4   | Analyse de risques .....  | 6  |
| 1.5   | Résultats.....  | 7  |
| 2     | Contexte et objectif.....   | 9  |
| 2.1   | Contexte .....  | 9  |
| 2.2   | Objet de la mission .....   | 10 |
| 2.3   | Installations concernées .....  | 10 |
| 3     | Description des installations.....  | 12 |
| 3.1   | Implantation et description des nouvelles installations .....                                   | 12 |
| 3.2   | Description des combustibles.....   | 15 |
| 3.3   | Description des équipements .....   | 16 |
| 3.3.1 | Les installations de convoyage.....   | 16 |
| 3.3.2 | Les tours de renvoi .....   | 18 |
| 3.3.3 | Les silos de stockage .....   | 18 |
| 3.3.4 | Le bâtiment biomasse .....  | 21 |
| 3.4   | Synthèse des principales mesures de maîtrise des risques .....                                  | 23 |
| 4     | Classement ICPE des nouvelles installations et principales prescriptions constructives .....    | 24 |
| 5     | Identification et caractérisation des potentiels de dangers .....                               | 26 |
| 5.1   | Risques liés à la biomasse .....  | 26 |
| 5.2   | Potentiels de dangers liés aux équipements et aux procédés .....                                | 26 |
| 5.2.1 | Dangers liés aux installations de stockage .....  | 26 |
| 5.2.2 | Dangers liés au convoyage .....   | 27 |
| 5.2.3 | Dangers liés aux espaces bâtimentaires.....   | 27 |
| 6     | Retour d'expérience et accidentologie .....   | 28 |
| 6.1   | Stockage de biomasse ( y compris pellets bois) .....  | 28 |
| 6.2   | Convoyage de la biomasse (y compris pellets bois) .....   | 28 |
| 7     | Analyse préliminaire des risques majeurs des nouvelles installations.....                       | 29 |
| 7.1   | Méthode d'analyse de risques.....   | 29 |
| 7.1.1 | Introduction .....  | 29 |
| 7.1.2 | Objectifs de l'Analyse de Risques .....   | 29 |
| 7.1.3 | Réalisation de l'APR.....   | 29 |
| 7.1.4 | Bilan de l'APR.....   | 31 |
| 7.2   | Analyse de Risques du projet.....   | 31 |
| 7.3   | Synthèse des phénomènes dangereux retenus à l'issue de l'analyse préliminaire des risques<br>31 |    |
| 7.4   | Phénomènes dangereux non retenus .....  | 32 |
| 7.5   | Les mesures de sécurité et les recommandations .....  | 33 |
| 8     | Modélisation des phénomènes dangereux.....  | 34 |
| 8.1   | Généralités sur l'explosion .....   | 34 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 8.2   | Seuils d'effets réglementaires sur l'homme.....                        | 35 |
| 8.3   | Méthode de calcul .....  | 35 |
| 8.3.1 | Effets de surpression.....   | 35 |
| 8.3.2 | Effets thermiques.....   | 36 |
| 8.4   | Cartographie des distances d'effet.....                                | 37 |
| 8.5   | PhD n°1 : Explosion primaire dans un silo de stockage de pellets ..... | 37 |
| 8.5.1 | Données d'entrée .....   | 37 |
| 8.5.2 | Calculs des distances d'effets de surpression du PhD n°1 .....         | 37 |
| 8.5.3 | Cartographie des distances d'effets du PhD n°1.....                    | 38 |
| 8.6   | PhD n°2 : Incendie dans le bâtiment biomasse.....                      | 39 |
| 8.6.1 | Données d'entrée .....   | 39 |
| 8.6.2 | Calculs des distances d'effets thermiques du PhD n°2.....              | 40 |
| 8.6.3 | Cartographie des distances d'effets du PhD n°2.....                    | 40 |
| 8.7   | Conclusion .....   | 41 |
| 9     | Conclusion .....   | 42 |
| 10    | Abréviations .....   | 44 |
| 11    | Liste des annexes.....   | 45 |

# 1 Résumé non technique

## 1.1 Description du site et de son environnement

Le présent dossier constitue l'analyse et l'évaluation des risques industriels relatives aux stockages projetés dans le cadre de la conversion de la centrale charbon en centrale biomasse ALBIOMA au Gol.

Dans l'objectif de la conversion à la biomasse des trois chaudières du site, le stockage de charbon actuel sera remplacé par des stockages de pellets de bois et de biomasse locale : des plaquettes de bois, des connexes de scieries, des broyats verts et des bois d'emballage. Dans le cadre de cette modification, les installations seront modifiées comme suit :

- la construction de deux silos de stockage de pellets de bois de capacité 7500 m<sup>3</sup> chacun ;
- la construction de quatre postes de réception et déchargement des camions de pellets ;
- la mise en place d'une manutention adaptée pour le convoyage des pellets de bois depuis les camions jusqu'aux silos de stockage ;
- la mise en place d'une manutention adaptée pour le convoyage des pellets de bois depuis les silos jusqu'aux chaudières ;
- la construction d'un bâtiment de stockage de la biomasse locale, d'une capacité de 1000 m<sup>3</sup> ;
- la construction d'un poste de réception et déchargement des camions de biomasse locale ;
- la mise en place d'une manutention adaptée pour le convoyage de la biomasse locale depuis le déchargement des camions vers le bâtiment biomasse et depuis ce bâtiment de stockage jusqu'aux chaudières.

Les installations de stockage de pellets bois seront mises en place sur l'emplacement actuel du stockage extérieur de charbon. Les installations de stockage de la biomasse seront mises en place à côté du hangar de stockage de la bagasse.

## 1.2 Démarche de l'analyse des risques

En amont de l'analyse de risques, le travail préparatoire a consisté à analyser les différents modes de fonctionnement des installations et à identifier les potentiels de dangers.

L'analyse de risques a ensuite été réalisée avec la participation de nombreux acteurs du projet. Cette diversité d'intervenants a permis d'intégrer à toutes les étapes de l'étude le retour d'expérience.

L'analyse préliminaire des risques permet de déterminer les installations devant faire l'objet d'une analyse plus détaillée et de dresser une liste de phénomènes dangereux à modéliser pour en déterminer les distances d'effet, afin de confirmer la possibilité d'effet domino et/ou d'impact à l'extérieur du site.

Lorsque les distances d'effet des phénomènes dangereux sortent des limites du site, une analyse détaillée des risques est menée pour ces phénomènes afin :

- de déterminer la probabilité des phénomènes dangereux et accidents majeurs potentiels ;
- de déterminer la cinétique des phénomènes dangereux et la gravité des accidents majeurs potentiels associés.

Les accidents potentiels susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur de l'établissement sont positionnés dans la grille de la Circulaire du 10 mai 2010.

### 1.3 Installations

Les installations projetées sont les suivantes :

- les quatre postes de réception et déchargement camions de pellets ;
- les deux silos de stockage de pellets de bois de 7500 m<sup>3</sup> en béton ;
- l'installation de convoyage des pellets de bois : elle est constituée de transporteurs à chaînes et de transporteurs à bandes et transporte les pellets depuis les postes de déchargement camions jusqu'aux silos et depuis les silos jusqu'aux chaudières ; Cette installation comporte plusieurs tours.
- le poste de réception et déchargement camion de biomasse locale ;
- le bâtiment biomasse locale: il s'agit d'un bâtiment à structure ouverte abritée par une toiture en bardage et dimensionné pour 1000 m<sup>3</sup> de stockage. Le bâtiment comprend dans sa partie basse un compartimentage en deux modules dédiés au stockage en talus de la biomasse locale.
- l'installation de convoyage de biomasse locale : elle est constituée de transporteurs à chaînes, de transporteurs à bandes et de transporteurs à vis, pour convoier la biomasse depuis le poste de déchargement camions jusqu'au bâtiment biomasse, puis vers les chaudières.

Les installations existantes (chaufferie, stockage charbon, etc.) n'entrent pas dans le périmètre de cette étude.

### 1.4 Analyse de risques

L'analyse de risques a été réalisée pour chacune des parties de l'installation selon une méthode reconnue et adaptée. Celle-ci a permis d'écarter de l'analyse des installations pour lesquelles aucun effet à l'extérieur du site ou d'effet domino n'était à craindre. Les autres installations ont été retenues pour réaliser des modélisations des effets.

Les phénomènes dangereux retenus à l'issu de l'analyse de risques du projet sont les suivants :

| Installations     | Phénomènes dangereux retenus pour modélisation des effets | N° PhD |
|-------------------|---|--------|
| Silos de stockage | Explosion primaire dans un silo de stockage de pellets    | 1      |
| Bâtiment biomasse | Incendie dans le bâtiment biomasse                        | 2      |

Tableau 1 : Liste des phénomènes dangereux retenus à l'issu de l'analyse des risques

## 1.5 Résultats

Les futures installations ne sont pas soumises à autorisation. Toutefois, les modélisations des distances d'effet des 2 phénomènes retenus à l'issue de l'APR ont été réalisées. Il en ressort que les effets thermiques et de surpression, aux trois seuils réglementaires, des 2 phénomènes dangereux retenus ne sortent pas des limites du site à hauteur d'homme. Ainsi, ils ne sont pas qualifiés d'accidents majeurs et n'ont pas été caractérisés en gravité, probabilité et cinétique.

Les cartographies des effets sont données ci-après. Le trait jaune et blanc représente les futures limites de propriété.



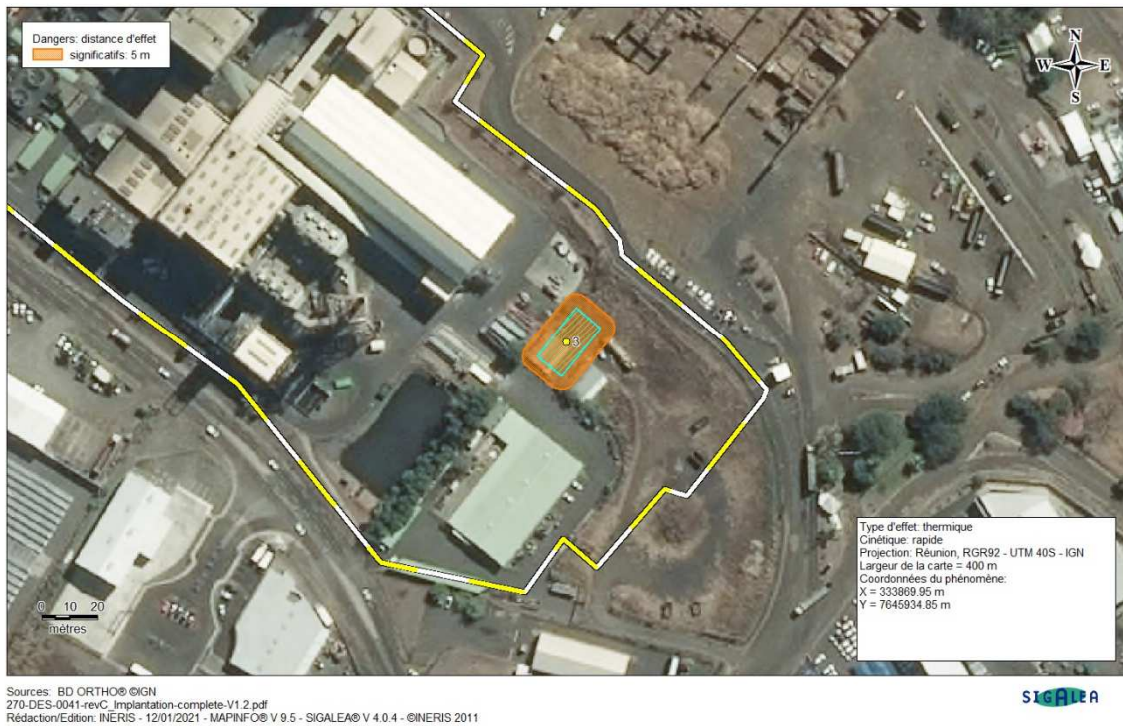
Figure 1 : Cartographie des distances d'effet du PhD n°1 (silo 1) à hauteur d'homme

**ALBIOMA Le Gol**  
**1b\_Explosion primaire dans un silo béton (silo 2) - Effets à hauteur d'homme**



*Figure 2 : Cartographie des distances d'effet du PhD n°1 (silo 2) à hauteur d'homme*

**ALBIOMA Le Gol**  
**2\_Incendie du hangar de stockage de la biomasse**



*Figure 3 : Cartographie des distances d'effet du PhD n°2 à hauteur d'homme*



## 2 Contexte et objectif

### 2.1 Contexte

Dans le cadre de la transition énergétique, Albioma substitue son combustible charbon par des pellets de bois sur ses différentes centrales thermiques situées dans les DOM.

Sur l'île de La Réunion, Albioma va modifier la centrale thermique du Gol (ALG) fonctionnant actuellement au charbon et à la bagasse. Les trois chaudières seront alimentées par des pellets de bois et de la biomasse locale. Les deux chaudières d'ALG-A continueront à être également alimentées par de la bagasse.

Dans l'objectif de la conversion à la biomasse des trois chaudières du site, le stockage de charbon actuel sera remplacé par des stockages de pellets de bois et de biomasse locale : des plaquettes de bois, des connexes de scieries, des broyats verts et des bois d'emballage.

Les installations sont situées sur la commune de Saint-Louis, au lieu-dit Le Gol. L'établissement est localisé au Sud-Ouest de l'île de La Réunion dans la zone d'activité à proximité de la ville de Saint-Louis. Le site est adjacent à l'usine sucrière du Gol. Par ailleurs, comme indiqué sur la Figure 4 ci-après, le site est bordé :

- au nord-est, la sucrière du Gol (TEREOS) ;
- au nord, les chais du Gol (Distillerie Rivière du Mât) ;
- à l'ouest et au sud-ouest :
  - une route nationale permettant d'accéder au centre-ville de Saint-Louis et à la zone d'activité du Gol ;
  - le centre auto Vidange service ;
  - Général Autos ;
  - Ecotole ;
  - Sovel ;
  - Protem ;
  - BTP Services ;
  - SCA Fruit ;
- au sud :
  - un restaurant Burger King ;
  - Sinner OI (filiale de COROI) ;
  - LM Transport ;
  - Technovision ;
- à l'est :
  - une route desservant une zone d'activité et la sucrerie ;
  - le comptoir des surgelés ;
  - ID PRO ;
  - Centre de pneus Sautron et concession Peugeot.



Figure 4 : Plan de l'environnement du site

## 2.2 Objet de la mission

Notre mission a consisté à :

- Proposer les rubriques de la nomenclature ICPE liées aux nouvelles installations ;
- Identifier les potentiels de dangers ;
- Analyser l'accidentologie ;
- Réaliser l'analyse préliminaire des risques des nouvelles installations ;
- Modéliser des principaux phénomènes dangereux identifiés ;
- Évaluer le cas échéant la gravité, la probabilité et la cinétique des accidents majeurs ;
- Le cas échéant, positionner les accidents majeurs dans la matrice MMR.

## 2.3 Installations concernées

Les installations projetées sont les suivantes :

- les quatre postes de réception et déchargement camions de pellets ;
- les deux silos de stockage de pellets de bois de 7500 m<sup>3</sup> en béton ;
- l'installation de convoyage des pellets de bois : elle est constituée de transporteurs à chaînes et de transporteurs à bandes et transporte les pellets depuis les postes de déchargement camions jusqu'aux silos et depuis les silos jusqu'aux chaudières ; Cette installation comporte plusieurs tours.
- le poste de réception et déchargement camion de biomasse locale ;
- le bâtiment biomasse locale: il s'agit d'un bâtiment à structure ouverte abritée par une toiture en bardage et dimensionné pour 1000 m<sup>3</sup> de stockage. Le bâtiment comprend dans sa partie basse un compartimentage en deux modules dédiés au stockage en talus de la biomasse locale.

- l'installation de convoyage de biomasse locale : elle est constituée de transporteurs à chaînes, de transporteurs à bandes et de transporteurs à vis, pour convoyer la biomasse depuis le poste de déchargement camions jusqu'au bâtiment biomasse, puis vers les chaudières.

Les installations existantes (chaufferie, stockage charbon, etc.) n'entrent pas dans le périmètre de cette étude.

## 3 Description des installations

### 3.1 Implantation et description des nouvelles installations

Les installations de stockage de pellets seront mises en place sur l'emplacement actuel du stockage extérieur de charbon. Les installations de stockage de la biomasse locale seront mises en place à proximité du hangar de stockage de la bagasse.

Il est noté que l'installation des silos et du bâtiment biomasse locale sera phasée.

Un plan des installations figure ci-après.

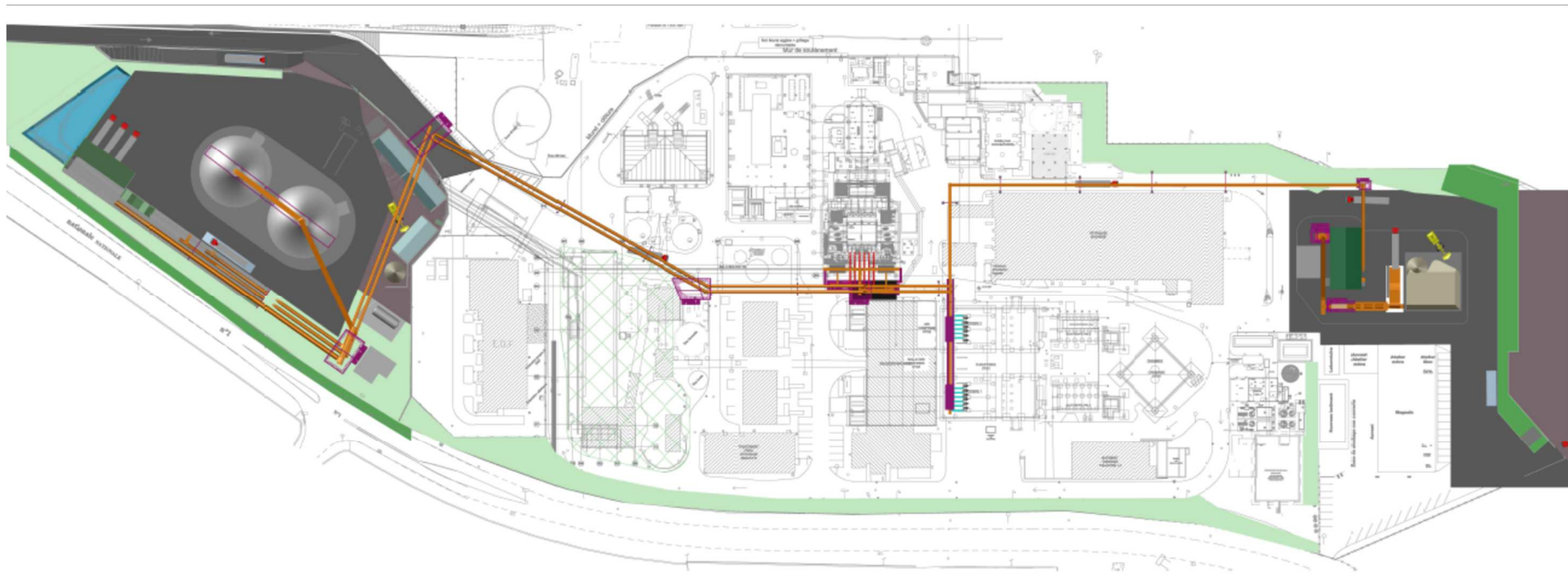


Figure 5 : Plan des installations



### 3.2 Description des combustibles

Le projet concerne le remplacement du combustible charbon par des pellets bois et de la biomasse locale.

La biomasse locale sera constituée de plaquettes de bois, des connexes de scieries, des broyats verts et des bois d'emballage.

Les caractéristiques des pellets de bois choisis sont normées, I2 selon la norme EN 17225-2 :2014.

**Tableau 2 — Spécification des classes de granulés de bois pour usage industriel**

|             | Classes de propriété, méthode d'analyse  | Unité                           | I1  | I2  | I3   |
|-------------|--|---------------------------------|---|---|--|
| Normative   | Origine et source, ISO 17225-1   |                                 | 1.1 Bois de forêt, de plantation et autres matériaux ligneux vierges<br>1.2.1 Sous-produits du bois non traités chimiquement <sup>a</sup> | 1.1 Bois de forêt, de plantation et autres matériaux ligneux vierges<br>1.2.1 Sous-produits du bois non traités chimiquement <sup>a</sup> | 1.1 Bois de forêt, de plantation et autres matériaux ligneux vierges<br>1.2 Produits dérivés et sous-produits de l'industrie de transformation du bois<br>1.3.1 Bois usagé non traité chimiquement |
|             | Diamètre, D <sup>b</sup> et Longueur, L <sup>c</sup> , ISO 17829<br>Conformément à la <a href="#">Figure 1</a> | mm                              | D06, 6 ± 1;<br>3,15 < L ≤ 40<br>D08, 8 ± 1;<br>3,15 < L ≤ 40  | D06, 6 ± 1;<br>3,15 < L ≤ 40<br>D08, 8 ± 1;<br>3,15 < L ≤ 40<br>D10, 10 ± 1;<br>3,15 < L ≤ 40   | D06, 6 ± 1;<br>3,15 < L ≤ 40<br>D08, 8 ± 1;<br>3,15 < L ≤ 40<br>D10, 10 ± 1;<br>3,15 < L ≤ 40<br>D12, 12 ± 1;<br>3,15 < L ≤ 40   |
|             | Humidité, M, ISO 18134-1, ISO 18134-2  | % sur masse humide, à réception | M10 ≤ 10  | M10 ≤ 10  | M10 ≤ 10   |
|             | Cendres, A, ISO 18122  | % sur masse sèche               | A1,0 ≤ 1,0  | A1,5 ≤ 1,5  | A3,0 ≤ 3,0   |
|             | Résistance mécanique, DU, ISO 17831-1  | % en masse, à réception         | 97,5 ≤ DU ≤ 99,0  | 97,0 ≤ DU ≤ 99,0  | 6,5 ≤ DU ≤ 99,0  |
|             | Fines, F <sup>d</sup> , ISO 18846  | % en masse, à réception         | F4,0 ≤ 4,0  | F5,0 ≤ 5,0  | F6,0 ≤ 6,0   |
|             | Additifs <sup>e</sup>  | % en masse, à réception         | < 3<br>Type et quantité à mentionner  | < 3<br>Type et quantité à mentionner  | < 3<br>Type et quantité à mentionner   |
|             | Pouvoir calorifique inférieur, Q, ISO 18125  | MJ/kg à réception               | Q16,5 ≥ 16,5  | Q16,5 ≥ 16,5  | Q16,5 ≥ 16,5   |
|             | Masse volumique apparente, BD <sup>f</sup> , ISO 17828   | kg/m <sup>3</sup>               | BD600 ≥ 600   | BD600 ≥ 600   | BD600 ≥ 600  |
|             | Azote, N, ISO 16948  | % sur masse sèche               | N0,3 ≤ 0,3  | N0,3 ≤ 0,3  | N0,6 ≤ 0,6   |
|             | Classes de propriété, méthode d'analyse  | Unité                           | I1  | I2  | I3   |
|             | Distribution granulométrique des granulés désintégrés ISO 17830  | % sur masse sèche               | ≥ 99 %<br>(<3,15 mm) ≥ 95 %<br>(<2,0 mm) ≥ 60 %<br>(<1,0 mm)  | ≥ 98 %<br>(<3,15 mm) ≥ 90 %<br>(<2,0 mm) ≥ 50 %<br>(<1,0 mm)  | ≥ 97 %<br>(<3,15 mm) ≥ 85 %<br>(<2,0 mm) ≥ 40 %<br>(<1,0 mm)   |
|             | Soufre, S, ISO 16994   | % sur masse sèche               | S0,05 ≤ 0,05  | S0,05 ≤ 0,05  | S0,05 ≤ 0,05   |
|             | Chlore, Cl, ISO 16994  | % sur masse sèche               | Cl0,03 ≤ 0,03   | Cl0,05 ≤ 0,05   | Cl0,1 ≤ 0,1  |
|             | Arsenic, As, ISO 16968   | mg/kg anhydre                   | ≤ 2   | ≤ 2   | ≤ 2  |
|             | Cadmium, Cd, ISO 16968   | mg/kg anhydre                   | ≤ 1,0   | ≤ 1,0   | ≤ 1,0  |
|             | Chrome, Cr, ISO 16968  | mg/kg anhydre                   | ≤ 15  | ≤ 15  | ≤ 15   |
|             | Cuivre, Cu, ISO 16968  | mg/kg anhydre                   | ≤ 20  | ≤ 20  | ≤ 20   |
|             | Plomb, Pb, ISO 16968   | mg/kg anhydre                   | ≤ 20  | ≤ 20  | ≤ 20   |
|             | Mercure, Hg, ISO 16968   | mg/kg anhydre                   | ≤ 0,1   | ≤ 0,1   | ≤ 0,1  |
|             | Zinc, Zn, ISO 16968  | mg/kg anhydre                   | ≤ 200   | ≤ 200   | ≤ 200  |
| Informative | Comportement de fusibilité des cendres <sup>g</sup> , CEN/TS 15370-1 [4]                                       | °C                              | À mentionner  | À mentionner  | À mentionner   |

### 3.3 Description des équipements

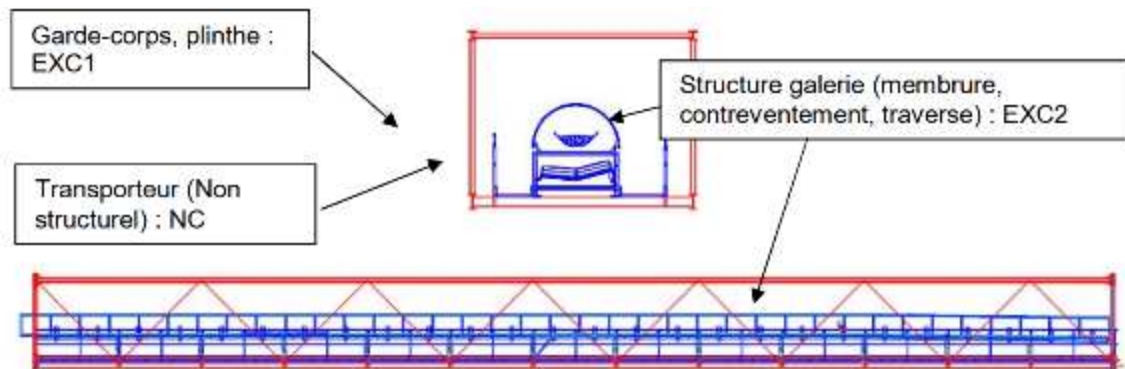
#### 3.3.1 Les installations de convoyage

Il est prévu d'installer un équipement de déferrailage pour contrôler l'absence d'éléments indésirables métalliques pouvant avoir été introduits dans le produit.

##### 3.3.1.1 Les convoyeurs à bandes

Les convoyeurs à bandes seront capotés, supportés soit par des Profilés Reconstitués Soudés (PRS) ou par des galeries ouvertes par des caillebotis (pas de formation d'espace confiné) :

- à l'extraction des trémies de déchargement (2 bandes par trémies) : le débit unitaire est de 450 m<sup>3</sup>/h ;
- à l'alimentation des chaudières le débit unitaire est de 175 m<sup>3</sup>/h.



Le système est équipé de :

- détecteurs de bourrages : capteur « LS » (Level Switch) ;
- contrôleurs de rotation : capteur « RC » (Rotation Controller) ;
- interrupteur de déport de bande : capteur « MS » (Misalignment Switch).

Les équipements constitutifs du convoyeur à bande sont adaptés aux pellets :

- les rouleaux sont :
  - « classe T3 » devant résister à une température de 200 °C ;
  - « IP6X » étanches aux poussières de pellets.
- les bandes sont « Classe K » antistatiques et retardatrices de flammes.

Les jonctions entre convoyeurs, appelées chutes, sont étudiées avec précision en étude d'exécution pour assurer un transfert du produit efficace (éviter les obstructions, réduire la casse du produit transporté, réduire les poussières, etc.).

Les chutes sont équipées de différents joints afin d'assurer l'étanchéité et éviter l'envol de poussières. Toutes les chutes sont dépoussiérées. Elles sont classées en zone ATEX 20.





Figure 6 : Image d'un exemple d'une jonction entre convoyeurs (chute)

### 3.3.1.2 Les convoyeurs à chaîne

Les convoyeurs à chaîne seront dimensionnés suivant les préconisations ATEX :

- vitesse de transfert faible : inférieure à 1m/s ;
- mise en place d'événements d'explosion.

Le système est équipé de :

- détecteurs de bourrages : capteur « LS » (Level Switch) ;
- contrôleurs de rotation : capteur « RC » (Rotation Controller).

### 3.3.1.3 Le système de dépeussierage des convoyeurs

Le système de dépeussierage des convoyeurs est composé de plusieurs cyclo-filtres semi-centralisés : un filtre traite plusieurs points de collectes.

Ces cyclofiltres sont équipés de :

- détection incendie dans les filtres :
  - sonde de température : Capteur « TT » (Temperature Transmitter) ;
  - détecteur CO et Température : Capteur « CO » ;
  - détection de rupture de manche sur mesure de différence de pression : Capteur « dPT » (Delta Pressure Transmitter) ;
  - déluge sur commande manuelle.
- contre les explosions
  - confinement ATEX sur la ligne d'aspiration : « SD » (Spark Detector) et son système d'extinction asservi ;
  - confinement arrivée par Clapet mécanique ou chimique ;
  - confinement sortie par sas alvéolaire ;
  - événements d'explosion sur filtre équipé d'un détecteur d'activation : Capteur « PS » (Position Switch).

### 3.3.2 Les tours de renvoi

Les tours de renvoi permettent de changer la direction de transfert du produit, les tours de renvoi sont constituées :

- d'une structure porteuse métallique ;
- de planchers en caillebotis ;
- d'une couverture anti-pluie et d'une retombée sur environ 1 étage (sauf sur les faces équipées de convoyeur).

Les tours sont donc largement ouvertes.

### 3.3.3 Les silos de stockage

#### 3.3.3.1 Description des silos

Les silos considérés dans l'étude sont de forme cylindrique. Leur diamètre interne est de 25 m et leur paroi en béton est haute de 21 m.

Le silo est surmonté d'une structure métallique permettant de fixer les convoyeurs de pellets.

Une tour de manutention de 3,60 m de large, 7,25 m de long et 3 m de haut est située à 6 m de haut par rapport au sommet des parois latérales du silo et localisée au-dessus de l'axe de symétrie du silo.

Une jupe est arrimée au sommet des parois en béton du silo et à l'orifice de déversage des pellets. D'après ALBIOMA, la pression de rupture de cette jupe est de l'ordre de 100 mbar. La pression de tenue de cette bâche doit être suffisamment importante pour résister à l'arrachement par le vent.

Le volume nominal interne de chaque silo, intégrant la partie sous jupe, est de l'ordre de 9900 m<sup>3</sup>. Le stockage représentera 7500 m<sup>3</sup> max.

Un tunnel abritant un convoyeur est présent sous chaque silo pour le désilage.

Les silos sont conçus pour stocker des pellets de bois dont les dimensions caractéristiques varient du millimètre à la dizaine de millimètres environ. Toutefois ces pellets sont accompagnés de fines qui constituent la poussière explosive.

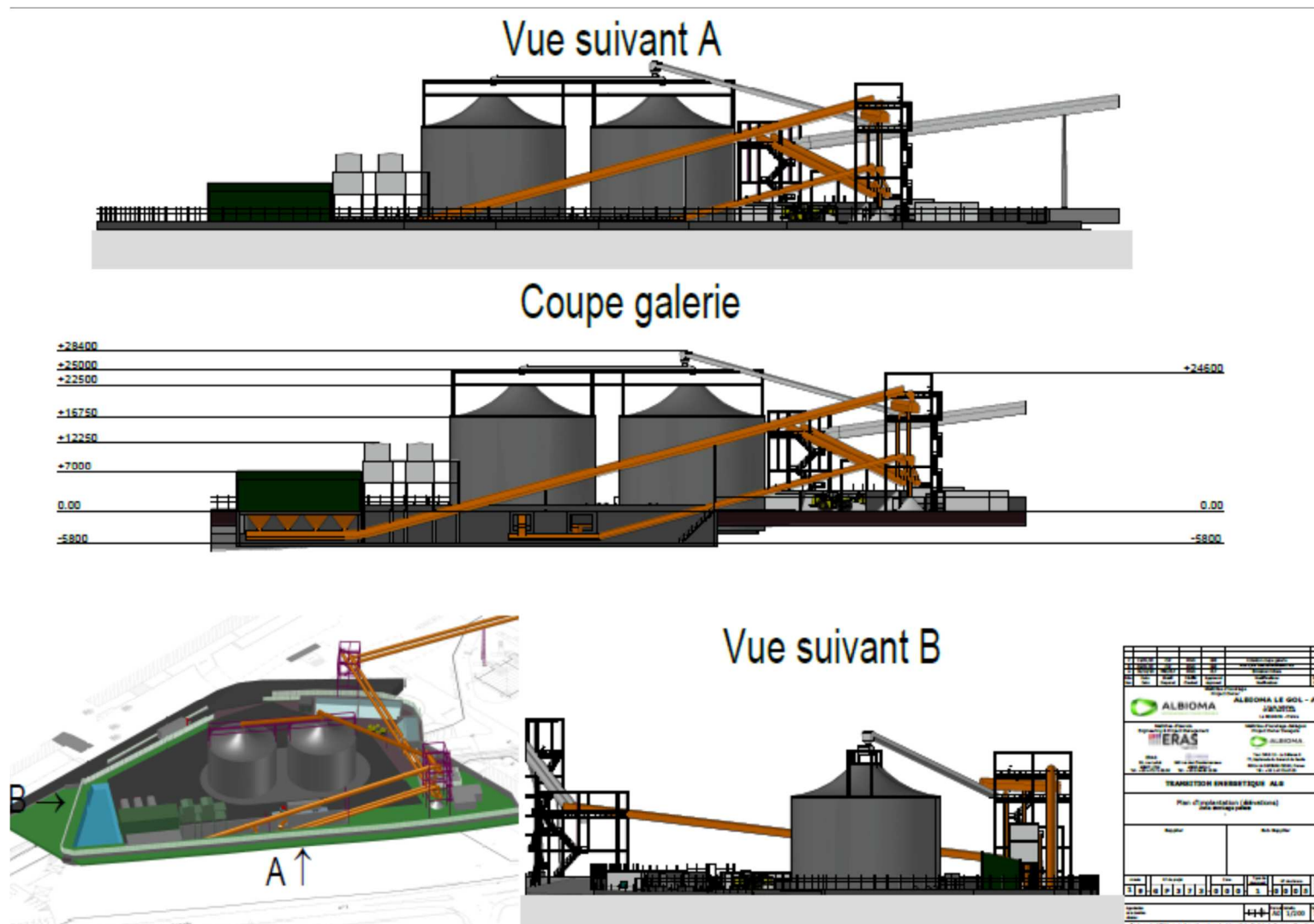


Figure 7 : Plans en coupe des silos

### 3.3.3.2 Sécurité

Les deux silos de stockage seront équipés de :

- un système d'aspiration des poussières ;
- trois sondes CO et une sonde O<sub>2</sub> pour le contrôle de l'inertage dans le ciel du silo ;
- une canne d'aspiration avec analyse de gaz déportée ;
- un point d'injection d'azote en haut de silo ;
- un réseau d'injection d'azote en pied de silo ;
- des événements d'explosion ;
- des sondes de température dans le produit.

#### 3.3.3.2.1 Aspiration des poussières

Chaque silo est équipé d'un système d'aspiration et de filtrage des poussières au niveau de la chute du convoyeur de remplissage.

Le filtre est ATEX.

#### 3.3.3.2.2 Analyseur de gaz

Chaque silo est équipé d'une canne d'aspiration et d'un analyseur de gaz (CO, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) déporté pour détecter au plus tôt un début d'incendie.

#### 3.3.3.2.3 Stockage et évaporateur azote liquide

Le site sera équipé d'une réserve d'azote liquide.

L'utilisation d'azote liquide est prévue afin d'inertiser le silo en cas d'auto-échauffement de la matière et en cas d'incendie du silo.

#### Estimation du besoin total en Azote :

Le besoin total en azote dépend de nombreux paramètres :

- Liés à la nature du stockage : perméabilité, étanchéité, inertie thermique...
- Liés à l'évènement : taux de remplissage, source d'ignition, localisation du siège d'incendie ;
- Liés à la détection de l'évènement : Monitoring, rapidité de découverte...
- Liés au traitement de l'évènement : rapidité à la mise en place des mesures de lutte...

Le guide silo ne précise pas fermement la quantité d'azote nécessaire pour une lutte complète.

Le guide HDI [2015] précise très clairement les valeurs :

- « Inert gas feed quantity in top space for oxygen concentration < 8 % by vol : 1,0-1,5 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> of empty silo volume » ;
- « Inert gas feed quantity in bulk material for oxygen concentration < 2 % by vol : 0,5-1,0 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> of bulk material volume ».

Le guide MSB [2013] précise un ordre de grandeur :

"The total gas consumption is very difficult to assess since it depends on the construction and sealing of the silo, how quickly the silo can be discharged etc. A rough estimate may, however, be of interest for the gas provider and others, so that planning the gas supply for the entire operation can begin during the initial phase. Such an estimate is also of interest regards to the volume of a possible mobile nitrogen gas tank. As a guideline, based on experience with actual silo, a total gas consumption of 5–15 kg/m<sup>3</sup> can be expected in relation to the gross volume of the silo."

Aucun des guides (silo, IEA, MSB, HDI) n'impose d'avoir de stockage d'azote sur le site, la cinétique d'incendie redoutée est en effet lente. [Guide HDI6.1.2 Storage and purchasing of inert gas]

"Inert gas can be ordered as an emergency supply from major gas suppliers. However, several hours may pass until the gas delivery arrives at the silo in question. This is uncritical in most cases because a smouldering fire inside the silo spreads only very slowly and there often is no other promising fire-fighting method available anyway"

Le [Guide HDI6.1.2 Storage and purchasing of inert gas] propose un cas idéal ou la quantité pour le premier inertage est détenue sur le site :

« In an optimum configuration, inert gas can also be stored in the operations, e. g. in cylinder bundles or liquefied gas tanks (with evaporators). In this way the process of achieving inertness in a silo or a bin can be started early in case of fire and continued by gas delivered later. The gas quantity to be stocked depends on the silo size. It should be sufficient for creating inertness for four hours »

ALG a retenu le scénario majorant inertage d'un silo vide, mais en feu soit : 33 tonnes.

Ce volume permet :

- De remplir le silo plein ou vide ;
- De continuer à injecter pendant 100 à 250 heures (suivant le niveau de remplissage initial des silos et de la cuve de N2) ;
- De continuer à injecter lorsqu'on décharge le silo de tous ses Pellets

#### 3.3.3.2.4 Prévention des explosions et incendies

Afin de prévenir tout risque d'explosion, les équipements dans le volume du silo sont ATEX. Chaque silo est muni de compartimentage ATEX en haut et bas.

Chaque silo est muni d'une toiture éventable (jupe) pour évacuer la surpression en cas d'explosion à l'intérieur de celui-ci.

La paroi en béton armé, d'une épaisseur minimale de 35 centimètres (sera calculé au moment du calcul des efforts et sera coupe-feu 2h minimum), permet de contenir les effets thermiques en cas d'incendie à l'intérieur d'un silo.

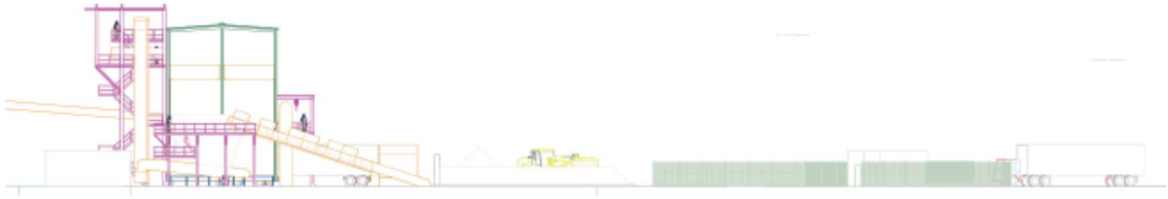
### 3.3.4 Le bâtiment biomasse

Le bâtiment biomasse locale est un bâtiment à structure ouverte abritée par une toiture en bardage dimensionné pour 1 000 m<sup>3</sup> de stockage.

Le bâtiment comprend dans sa partie basse un compartimentage en deux modules dédiés au stockage en talus de la biomasse locale. Chaque compartiment est bordé d'un bardage bois de 11,5 mètres surmonté d'un bardage ventelle de 3,5 mètres de haut sur trois faces et fait 16,8 m de longueur pour 5,3 m de large.

Les deux modules sont alimentés par un convoyeur arrivant en partie haute à l'une des extrémités, équipé d'un répartiteur. Un gratteur vient ensuite pousser le talus vers l'autre extrémité du bâtiment, pourvue d'un convoyeur à bande qui transfère la biomasse vers les chaudières.

## Vue suivant A



## Vue suivant B

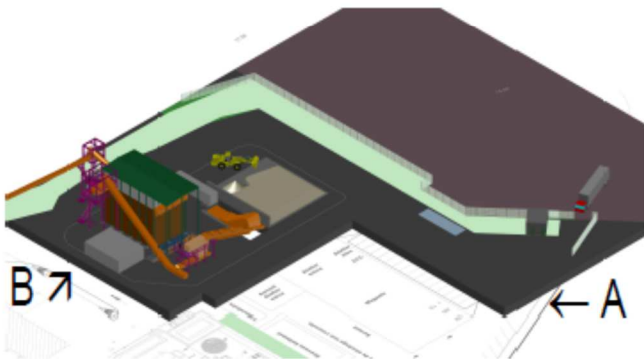
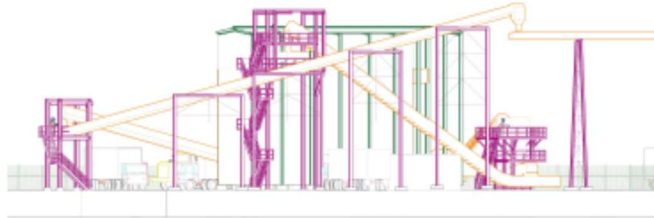


Figure 8 : Configuration du bâtiment biomasse

### 3.4 Synthèse des principales mesures de maîtrise des risques

Les principales mesures de maîtrise des risques prévues dans le cadre de ce projet sont listées dans le tableau suivant :

| Fonction de sécurité                       | Technologie utilisée             | Quantitatif                    | Automatisme                                |
|--|----------------------------------|--------------------------------|--|
| Extinction précoce dans les chutes         | Détection d'étincelles :         | Plusieurs détecteurs par chute | Automatique, autonome et indépendant       |
|  | Détection IR passive             |                                |  |
|  | Extinction précoce :             |                                |  |
|  | Déluge rapide et haute pression. | Raccordé au réseau existant.   |  |
| Sprinklage sur les linéaires de convoyeurs | Tête fermée, eau sans additif.   | Tout le linéaire de convoyeur. | Automatique, autonome et indépendant       |
|  |                                  | Réserve d'eau dimensionnée D9. |  |
| Surveillance thermométrique dans silos     | Capteurs PT-100                  |                                | Analyse automatique et alarme automatique. |
| Surveillance gaz in situ dans silos        | CO (Infra-Rouge)                 | 3                              | Analyse automatique et alarme automatique. |
|  | O2 (Electro-chimique)            | 1                              |  |
| Surveillance gaz déportée dans silos       | Analyseur multi gaz :            |                                | Analyse automatique et alarme automatique. |
|  | CO (Infra-Rouge)                 | 1                              |  |
|  | O2 (Electro-chimique)            | 1                              |  |
|  | NH4 (Infra-Rouge)                | 1                              |  |

Tableau 2 : Principales MMR prévues dans le cadre du projet de stockage de pellets bois sur le site ALG

## 4 Classement ICPE des nouvelles installations et principales prescriptions constructives

Les nouvelles installations seront classées par rapport à la nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement dans sa version 49 d'août 2020.

| N° rubrique de la nomenclature | Désignation et seuil de classement  | Nature de l'installation   | Capacité totale                               | Régime ICPE |
|--------------------------------|---|--|---|-------------|
| 2260-b                         | <p>Broyage, concassage, criblage, déchiquetage, ensilage, pulvérisation, trituration, granulation, nettoyage, tamisage, blutage, mélange, épluchage et décortication des substances végétales et de tous produits organiques naturels (...).</p> <p>La puissance maximum de l'ensemble des machines fixes pouvant concourir simultanément au fonctionnement de l'installation étant supérieure à 100 kW mais inférieure ou égale à 500 kW</p> | Installation de criblage   | Puissance totale comprise entre 100 et 500 kW | D           |
| 1532-2                         | <p>Bois ou matériaux combustibles analogues y compris les produits finis conditionnés et les produits ou déchets répondant à la définition de la biomasse et visés par la rubrique 2910-A<sup>1</sup>, ne relevant pas de la rubrique 1531 (stockage de), à l'exception des établissements recevant du public.</p> <p>Le volume susceptible d'être stocké étant inférieur ou égal à 20 000 m<sup>3</sup></p>                                  | <p>Un stockage de 15 000 m<sup>3</sup> de pellets de bois répartis dans deux silos de stockage</p> <p>Un stockage de 1 000 m<sup>3</sup> de biomasse locale (bâtiment biomasse)</p> <p>Un stockage existant de bagasse de 12 000 m<sup>3</sup></p> | 28 000 m <sup>3</sup>                         | E           |

<sup>1</sup> La définition de la biomasse telle que définie dans la rubrique 2910 de la nomenclature des ICPE correspond à :

- a) les produits composés d'une matière végétale agricole ou forestière susceptible d'être employée comme combustible en vue d'utiliser son contenu énergétique ;
- b) les déchets ci-après :
  - i) déchets végétaux agricoles et forestiers ;
  - ii) déchets végétaux provenant du secteur industriel de la transformation alimentaire, si la chaleur produite est valorisée ;
  - iii) déchets végétaux fibreux issus de la production de pâte vierge et de la production de papier à partir de pâte, s'ils sont co-incinérés sur le lieu de production et si la chaleur produite est valorisée ;
  - iv) déchets de liège ;
  - v) déchets de bois, à l'exception des déchets de bois qui sont susceptibles de contenir des composés organiques halogénés ou des métaux lourds à la suite d'un traitement avec des conservateurs du bois ou du placement d'un revêtement, tels que les déchets de bois de ce type provenant de déchets de construction ou de démolition.



Il est précisé que les combustibles envisagés par Albioma répondent à la définition de la biomasse donnée dans la rubrique 2910 (Cf. note de bas de page 1) :

- les pellets sont élaborés à partir de bois pour être utilisés comme combustible ;
- les plaquettes forestières et les déchets de bois d'élagage correspondent à des combustibles (déchets végétaux agricoles et forestiers) ;
- les connexes de scierie correspondent aux produits connexes de scieries issus des déchets de bois ;
- les broyats verts correspondent à des combustibles (déchets de bois propres).

## 5 Identification et caractérisation des potentiels de dangers

Les potentiels de dangers ont été identifiés avant les séances d'analyses de risques. Leur identification repose sur un premier travail effectué sur les dangers liés aux produits (phrases de risque / mentions de danger, fiches de données de sécurité) puis sur l'analyse des dangers liés aux procédés utilisant ces produits dangereux en prenant en compte les conditions d'exploitation.

### 5.1 Risques liés à la biomasse

Le danger principal de la biomasse est lié à :

- son caractère combustible : les biomasses peuvent être le siège d'un incendie en cas de présence d'une source d'inflammation, d'un auto-échauffement ou d'une auto-inflammation ;
- l'explosivité des poussières.

La fermentation résulte de l'action oxydante des matières organiques par les micro-organismes produisant un dégagement de chaleur. Ce dégagement de chaleur par fermentation en voie aérobie ne peut conduire seul à un incendie. Mais il peut être relayé par une oxydation chimique qui peut provoquer l'auto-échauffement et conduire à l'auto-inflammation.

Dans certaines conditions de stockage, la biomasse peut, en effet, subir une réaction d'oxydoréduction exothermique. Les principaux facteurs qui influencent le phénomène d'auto-échauffement sont :

- la température du produit stocké ;
- la teneur en humidité ;
- les dimensions du stockage (aspects liés aux échanges thermiques) ;
- la durée de stockage de la biomasse ;
- la quantité de produits étrangers.

Les différentes biomasses forment des poussières de bois. Les poussières inflammables produites sont susceptibles de générer une ATEX poussières en cas de mise en suspension qui, en présence d'une source d'inflammation, peuvent conduire à une **explosion**.

### 5.2 Potentiels de dangers liés aux équipements et aux procédés

#### 5.2.1 Dangers liés aux installations de stockage

L'ensilage ou la tombée de biomasse dans des cellules de stockage conduit à la mise en suspension dans l'air de poussières de combustibles. La suspension qui se forme dans le ciel du stockage peut être suffisamment concentrée en fines particules pour constituer une ATEX et conduire à l'explosion de poussières, en cas de présence d'une source d'inflammation (particule incandescente dans la biomasse issue du convoyage, travaux par points chauds, frottements mécaniques).

Les installations de stockage peuvent également être le siège d'un incendie par combustion de la biomasse en présence d'une source d'inflammation.

La biomasse peut également subir un phénomène de fermentation ou d'auto-échauffement qui peut :

- entraîner une combustion de la biomasse sous forme de feu couvant ;
- conduire à la formation d'une atmosphère explosive par accumulation de gaz (CO, CH<sub>4</sub>,...).

## 5.2.2 Dangers liés au convoyage

Les convoyeurs peuvent être le lieu d'explosion de poussières ou d'incendie.

Le convoyage provoque la mise en suspension inévitable des poussières, au moins à proximité des emplacements où le combustible est déversé. Consécutivement, une ATEX peut se former à proximité de ces emplacements.

De plus, même s'il est capoté, le convoyeur n'est jamais complètement étanche et il est inévitable que des dépôts de poussières s'accumulent à la longue sous les équipements ou même jusqu'à une certaine distance de ces équipements, dans les locaux où ils sont installés. De tels dépôts doivent être considérés comme des ATEX potentielles.

Les sources d'inflammation de cette ATEX sont diverses : la surchauffe du matériel due à un engorgement, la présence d'un élément métallique, la présence d'une charge statique, des courants vagabonds, un échauffement mécanique notamment en cas de patinage des bandes ou en cas de frottement de pièces mécaniques en mouvement (grippage de roulements, etc.).

## 5.2.3 Dangers liés aux espaces bâtimentaires

Les poussières de biomasse se déposent et s'accumulent à la longue dans les différents bâtiments :

- bâtiment de déchargement des camions ;
- tours de manutention : Ces tours abritent le changement de direction des convoyeurs et sont considérées comme des espaces bâtimentaires.

En effet, même si les convoyeurs sont capotés, ils ne sont jamais parfaitement étanches, notamment au niveau des chutes, et l'accumulation de poussières reste possible : la mise en suspension de ces dépôts peut former une ATEX.

Aussi, les risques d'explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et par effets domino d'un incendie (feu couvant) sont à retenir pour les espaces bâtimentaires.

## 6 Retour d'expérience et accidentologie

Cette étude de l'accidentologie est basée sur des recherches de la base ARIA du BARPI, sur des stockages et convoyeurs à bandes impliquant de la biomasse (pellets, plaquettes de bois, etc.).

### 6.1 Stockage de biomasse ( y compris pellets bois)

Plusieurs recherches ont été effectuées sur la base ARIA du BARPI :

- avec le mot clé « silos » associé respectivement aux mots clés « biomasse », « bois » : 384 accidents identifiés ;
- avec les mots clés « transporteur à bande, transporteur à vis, élévateur, broyeur, trieur » associé respectivement aux mots clés « biomasse », « bois » : 9 accidents concernant des silos identifiés ;

Les accidents identifiés sont des incendies et des explosions.

Les causes d'incendie et d'explosion mises en évidence par l'accidentologie sont :

- la présence d'une étincelle due au mécanisme d'extraction en bas de silo ;
- la fermentation ;
- les travaux par point chaud ;
- la remontée de flamme de la chaudière ;
- les échauffements sur les équipements de préparation de la biomasse ou sur les installations de transfert de biomasse, situés en amont et en aval du stockage, provoquant un départ d'incendie qui se propage dans le silo.

Il est à noter que les descriptifs des accidents présentent rarement les caractéristiques des silos, en dehors du volume qui est très variable (de quelques dizaines de m<sup>3</sup> à plusieurs centaines voire milliers de m<sup>3</sup>). En particulier, il est rarement précisé s'il s'agit d'un silo ouvert ou fermé.

Un flash information concernant les risques d'incendie et d'explosion dans les silos à bois a été publié par le BARPI en 2015. Il met en évidence les risques d'incendie et d'explosion et les conséquences qui peuvent être des projections, des écroulements de structure, une onde de souffle.

### 6.2 Convoyage de la biomasse (y compris pellets bois)

Plusieurs recherches ont été effectuées sur la base ARIA du BARPI avec les mots clés suivants :

- Convoyeur + bande + bois : 41 accidents identifiés ;
- Convoyeur + bande + biomasse : 1 accident identifié ;
- Transporteur + bande + bois : 3 accidents identifiés ;
- Bande + bois : 25 accidents identifiés.

Cette accidentologie met en évidence 17 incendies pertinents sur le convoyage de biomasse qui ne sont que des incendies et dont les causes mises en évidence sont :

- le colmatage et bourrage ;
- l'échauffement mécanique, en particulier l'échauffement d'un rouleau en cas de frottement avec un corps étranger ;
- la rupture d'un roulement ;
- une étincelle électrique ;
- la défaillance du moteur d'entraînement du convoyeur à bande.

## 7 Analyse préliminaire des risques majeurs des nouvelles installations

### 7.1 Méthode d'analyse de risques

#### 7.1.1 Introduction

L'objectif de l'analyse de risques est d'identifier les scénarios d'accidents majeurs c'est-à-dire susceptibles d'avoir des effets en dehors des limites de l'établissement. Un scénario accidentel est une séquence d'événements : une cause – un événement redouté central (un départ de feu, etc.) – une conséquence menant à un accident.

La méthodologie d'analyse des risques s'appuie notamment sur les exigences de :

- l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation ;
- la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

#### 7.1.2 Objectifs de l'Analyse de Risques

L'analyse de risques consiste à :

- identifier de façon la plus exhaustive possible les phénomènes dangereux pouvant conduire à des accidents majeurs induits par différents scénarios identifiés lors de la mise en œuvre d'une méthode adaptée aux installations. Chaque phénomène dangereux peut être la résultante de plusieurs événements redoutés centraux, eux-mêmes créés par différentes causes ;
- lister les barrières (techniques et/ou organisationnelles) de prévention et/ou de protection mises en place par l'exploitant et agissant sur le scénario d'accident majeur identifié ;
- sélectionner les phénomènes dangereux pouvant avoir des distances d'effets (tels qu'énoncés dans l'Arrêté du 29 septembre 2005) hors du site. De ce premier classement se dégagent les modélisations qui devront être effectuées afin de vérifier si les phénomènes dangereux génèrent des effets à l'extérieur du site.

#### 7.1.3 Réalisation de l'APR

Pour réaliser l'APR, on effectue un découpage fonctionnel des installations, nécessaire pour la définition des boucles d'étude des installations lors de l'analyse de risques.

L'APR s'appuie sur le tableau suivant :

| N° | Cause | Évènement Initiateur | Évènement Redouté Central | Phénomène dangereux | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité | NC de la barrière | Recommandation Remarque |
|----|-------|----------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
|    |       |                      |                           |                     |                      | Intitulé              |                   |                         |
|    |       |                      |                           |                     |                      |                       |                   |                         |

Ce tableau permet une démarche systématique sous la forme suivante :

1. Choix d'un équipement ou produit pour le système considéré,
2. Pour cet équipement ou produit, prise en compte d'**une première situation de dangers** (colonne « Événement Redouté Central » : ERC),
3. Pour cet ERC, identification de **toutes les causes et de leur enchaînement** (colonnes « Causes » et « Événements initiateurs ») **et les conséquences possibles** (colonnes « Phénomènes dangereux »),
4. Pour les Phénomènes Dangereux identifiés, estimation de l'intensité (positionnement par rapport à des effets à l'extérieur du site),
5. Pour un enchaînement Cause – ERC – Phénomène Dangereux donné, identification des **barrières de sécurité existantes** sur l'installation (colonnes « Mesures préventives » et « Mesures protectrices »),
6. Pour un enchaînement Cause – ERC – Phénomène Dangereux donné, identification des **barrières de sécurité existantes** sur l'installation (colonne « barrières de sécurité »),
7. Si l'analyse montre l'apparition de nouveaux phénomènes dangereux induits par le fonctionnement de certaines barrières de sécurité, une nouvelle ligne est créée dans le tableau d'AR en prenant en compte l'éventuelle défaillance de cette barrière,
8. Si tous les enchaînements ont été étudiés, choix d'un **nouvel ERC** pour le même équipement et retour au point 3.
9. Lorsque toutes les situations de dangers ont été passées en revue pour l'équipement considéré, choix d'un **nouvel équipement** et retour au point 2 précédent.
10. Le cas échéant, lorsque tous les équipements ont été examinés, choix d'un **nouveau système ou fonction** et retour au point 1.

### Echelle de cotation en intensité

Les critères pouvant être considérés lors du choix de la cotation des phénomènes dangereux en termes d'intensité sont, par exemple :

- la nature du produit ;
- la localisation de l'installation par rapport aux limites du site, etc.

| Intensité        |   |   |
|------------------|---|---|
| <b>HORS SITE</b> | 4 | Forte intensité (ex:seuil d'effet létal) du phénomène à l'extérieur du site             |
|                  | 3 | Phénomène pouvant sortir du site avec intensité limitée à l'extérieur                   |
|                  |   |   |
| <b>SUR SITE</b>  | 2 | Effets dominos possibles, ou atteinte des équipements de sécurité à l'intérieur du site |
|                  | 1 | Pas d'atteinte des équipements de sécurité à l'intérieur du site                        |

Figure 9 : Echelle de cotation en intensité

Les phénomènes dangereux, dont l'intensité des effets estimée est 1 ou 2 (effets internes au site et relevant par conséquent du domaine du code du travail), ne sont pas retenus pour la suite du processus de détermination des accidents majeurs.

A ce stade de l'analyse, l'exploitant identifie des phénomènes dont les effets sont susceptibles d'atteindre des enjeux extérieurs au site. Si au cours de l'analyse des risques, le groupe de travail a des difficultés pour estimer les effets d'un phénomène dangereux (intensité 2 ou 3), une modélisation est réalisée afin de lever l'incertitude. Si des phénomènes dangereux (ayant une intensité 3 ou +) sont induits par des effets dominos internes, ces dernières causes peuvent être toutefois modélisées (et sont cotées 2 dans les tableaux d'AR).

#### 7.1.4 Bilan de l'APR

En fin d'Analyse des Risques, les données suivantes sont disponibles :

- liste des scénarios pouvant conduire à un phénomène dangereux ;
- liste des phénomènes dangereux pouvant avoir un impact à l'extérieur du site ou avec des effets dominos ;
- liste des modélisations de phénomènes dangereux qui seront réalisées ;
- liste des barrières associées à la prévention ou à la protection pour éviter la survenue du phénomène dangereux ou en limiter les effets.

## 7.2 Analyse de Risques du projet

Le découpage fonctionnel retenu est le suivant :

- les silos de stockage ;
- le bâtiment biomasse.
- les installations de manutention de pellets et de biomasse ;
- les volumes bâtimentaires constitués par les tours ;
- les postes de déchargement des camions.

Etant donné que plusieurs études ont déjà été réalisées pour des projets similaires, notamment pour le projet de transition biomasse du site de Bois Rouge, l'analyse des risques du projet du Gol n'a pas été réalisée en groupe de travail. Le fichier d'analyse a été construit sur les bases des dossiers précédents et partagé avec Albioma. La liste des phénomènes dangereux à retenir pour les modélisations a été établie sur la base de l'APR du projet de Bois Rouge ainsi que les mesures de maîtrise des risques et les propositions d'amélioration.

## 7.3 Synthèse des phénomènes dangereux retenus à l'issue de l'analyse préliminaire des risques

Les phénomènes dangereux issus de l'APR qui ont été retenus pour être modélisés sont ceux dont les effets peuvent a priori sortir des limites du site. Cette sélection se fait sur la base du retour d'expérience et de l'expertise du groupe de travail. En cas de doute, les phénomènes dangereux sont retenus pour être modélisés.

Le tableau ci-après présente les phénomènes retenus par installation.

| Installations                | Phénomènes dangereux retenus pour modélisation des effets | N° PhD |
|------------------------------|---|--------|
| Silos de stockage de pellets | Explosion primaire dans un silo de stockage de pellets    | 1      |
| Bâtiment biomasse            | Incendie dans le bâtiment biomasse                        | 2      |

*Tableau 3 : Phénomènes dangereux retenus par installation susceptibles de générer des distances d'effet en dehors des limites du site*

Les différents phénomènes dangereux sont identifiés sur le schéma ci-dessous :

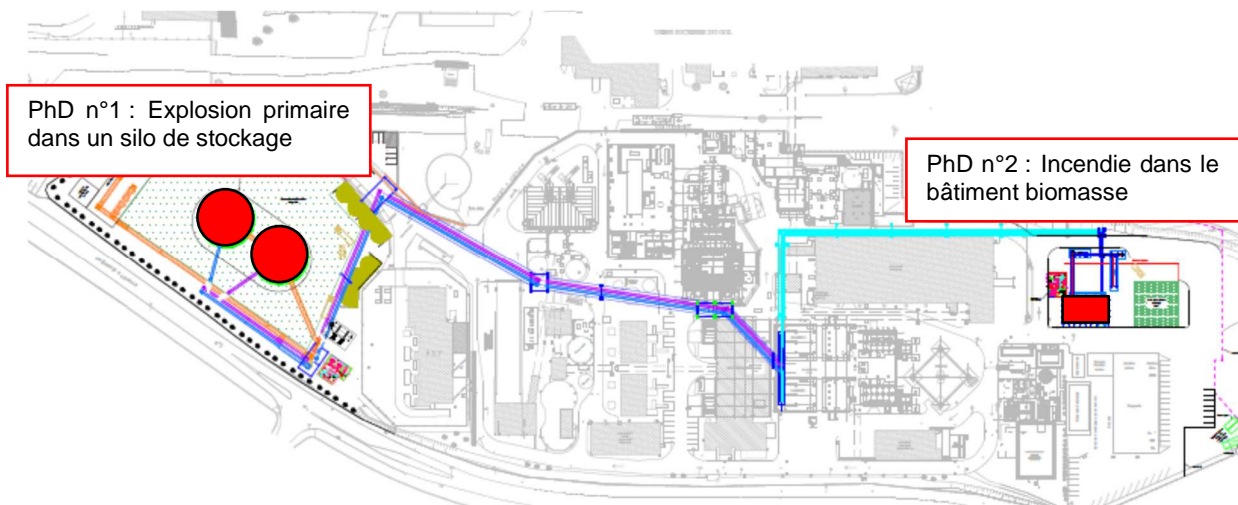


Figure 10 : Localisation des phénomènes dangereux retenus

#### 7.4 Phénomènes dangereux non retenus

Les phénomènes dangereux suivants n'ont pas été retenus pour une analyse détaillée des risques. Comme indiqué précédemment, cette sélection se fait sur la base du retour d'expérience et de l'expertise en fonction des quantités mises en œuvre, de la localisation par rapport aux limites du site et des dispositions constructives.

- Explosions dans les fosses de déchargement camion : les explosions dans les fosses de déchargement camions ne sont pas retenues comme susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur du site du fait de leur faible volume et de leurs ouvertures importantes ;
- Explosions primaires dans les tours : les explosions dans les tours ne sont pas retenues comme susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur du site. Il s'agit de tours largement ouvertes, constituées d'une structure porteuse métallique, de planchers en caillebotis, d'une couverture anti-pluie avec une retombée sur environ 1 étage (sauf sur les faces équipées de convoyeur) ;
- Incendies dans les tours : les incendies dans les tours ne sont pas retenus comme susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur du site ;
- Explosions dans les transporteurs : les explosions dans les transporteurs ne sont pas retenues comme susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur du site ;
- Incendies dans les transporteurs : les incendies dans les transporteurs ne sont pas retenus comme susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur du site ;
- Explosion / incendie dans les galeries sous les silos : les explosions/incendies des galeries sous silo ne sont pas retenus comme susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur du site ; En particulier, les convoyeurs qui sont en partie sous le niveau 0 sont des galeries ouvertes (pour le convoyeur qui passe au niveau des postes camions, il est ajouré à minima entre chaque poste, quant à celui qui remonte vers la première tour, il sera dans une galerie ouverte) ;
- L'incendie d'un silo n'est pas retenu pour l'analyse détaillée des risques bien que physiquement possible car, en cas d'incendie, les parois béton permettent de contenir le flux thermique à l'intérieur du silo quelle que soit la durée de l'incendie. En effet, le flux thermique généré en prenant la puissance surfacique d'un tas de pellets à 200 kW (vitesse de combustion de 10 g/m<sup>2</sup>/s au vu de la compacité et DHc de 20 MJ/kg, valeur haute pour le bois), on aurait avec les corrélations empiriques, environ 200 à 250°C sous le voile béton. A ces températures, aucun risque pour la tenue du béton ni pour les éléments d'étanchéité. Il n'est donc pas attendu d'effets thermiques à l'extérieur du silo ;
- L'explosion du bâtiment biomasse n'est pas retenue. En effet, le volume total interne de la structure est voisin de 3300 m<sup>3</sup> tandis que la surface totale ouverte représente de 292,5 m<sup>2</sup>.



Ainsi, le rapport  $A_v/V^{2/3}$ , couramment utilisé pour caractériser le taux d'ouverture d'une structure lors d'un calcul d'explosions, est voisin de 1,3 alors que dans le cas d'un dimensionnement d'événements d'explosion il est en général inférieur à 0,4. Le taux d'ouverture est donc important et le réactif est au pire une poussière de classe ST2. Les effets d'une explosion dans cette structure resteront donc limités à quelques mbar, en deçà des seuils d'effets réglementaires.

#### Effets dominos internes non retenus :

En cas d'explosion d'un silo, le risque de générer l'explosion ou l'incendie de l'autre silo n'est pas retenu car le calcul des distances d'effets correspondant aux effets dominos montre qu'il n'y a pas d'effets dominos entre silos.

## 7.5 Les mesures de sécurité et les recommandations

L'analyse préliminaire des risques a été l'occasion de lister les mesures de sécurité techniques et humaines qui doivent être mises en œuvre, respectées et entretenues. Des recommandations ont été identifiées.

Les principales mesures de sécurité sont présentées dans la liste ci-après (se référer aux tableaux d'APR en Annexe B pour identifier sur quels scénarios accidentels elles sont valorisables).

Pour les transporteurs :

- Toutes les chutes seront équipées d'un système d'aspiration des poussières relié à des filtres à manches ;
- La présence de bande retardatrice de flamme et antistatique pour les transporteurs à bandes ;
- La présence de parois au niveau des chutes en matériau antistatique ;
- La détection d'étincelles asservie à un système de déluge rapide ;
- La présence d'événement d'explosion sur les transporteurs à chaînes de grande longueur ;
- Les contrôleurs de rotation au niveau des transporteurs, asservis à l'arrêt des installations ;
- L'arrêt des installations sur bourrages multiples ;
- Le sprinklage sur tout le linéaire des convoyeurs ;
- Le câble d'arrêt d'urgence ;
- La prévention des points chauds qui peuvent être apportés par des défaillances électriques, lors de travaux / interventions (vigilance sur la délivrance des permis de feu) ou encore par la foudre.

Pour les silos :

- La détection précoce de l'auto-échauffement avec un analyseur multigaz, des sondes de température-et-un-détecteur CO qui génèrent une alarme ;
- La présence d'une jupe soufflable en toiture des silos ;
- Des moyens d'extinctions mobiles ;
- La prévention des points chauds qui peuvent être apportés par des défaillances électriques, lors de travaux/ interventions (vigilance sur la délivrance des permis de feu) ou encore par la foudre ;
- Le dispositif d'injection d'azote.

Pour le bâtiment biomasse :

- La détection d'étincelle au niveau du transporteur de mise en stock du produit ;
- La surveillance par caméra thermique avec, en cas de détection, sprinklage déclenché par un opérateur.

## 8 Modélisation des phénomènes dangereux

Les phénomènes dangereux modélisés dans le cadre de cette étude sont :

- PhD n°1 : Explosion primaire dans un silo de stockage de pellets ;
- PhD n°2 : Incendie dans le bâtiment biomasse.

### 8.1 Généralités sur l'explosion

Pour qu'une explosion se produise, il est indispensable de réunir simultanément les conditions d'occurrence suivantes :

- présence d'un produit combustible ;
- présence d'un gaz comburant comme, par exemple, l'oxygène de l'air ;
- création d'une source d'inflammation d'énergie suffisante.

Ce " triangle de feu " ne représente en fait qu'un cas particulier du phénomène de combustion. Pour que cette combustion puisse être qualifiée d'explosion, trois conditions supplémentaires sont nécessaires :

- formation d'un nuage de gaz combustibles ou de poussières combustibles en suspension ;
- teneur en combustible comprise entre la Limite Inférieure d'Explosibilité (LIE) et la Limite Supérieure d'Explosibilité (LES) ;
- mélange suffisamment confiné.

On parle ainsi d'hexagone de l'explosion (voir le schéma ci-dessous).

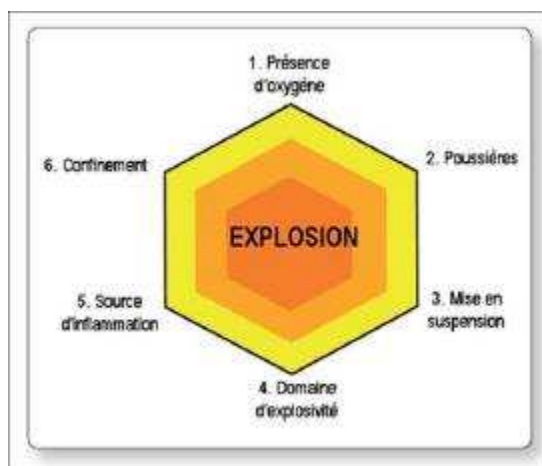


Tableau 4 : Hexagone de l'explosion

En vertu de la dernière des conditions précédemment énumérées, les effets de surpression consécutifs à l'explosion seraient prépondérants dans le cas où l'atmosphère explosive se formerait au sein d'une enceinte confinée. En revanche, en milieu peu ou non confiné, ce sont plutôt les effets de la flamme produite par un phénomène de flash-fire qui seraient à considérer.

## 8.2 Seuils d'effets réglementaires sur l'homme

Les seuils retenus sont définis par l'arrêté du 29 septembre 2005.

Les seuils des effets de surpression sont les suivants :

- seuil des effets indirects de surpression par bris de vitre, 20 mbar ;
- seuil des effets irréversibles, SEI : 50 mbar ;
- seuil des premiers effets létaux, SEL : 140 mbar ;
- seuil des effets létaux significatifs, SELS : 200 mbar.

Les seuils des effets thermiques sont les suivants :

- SEI : Seuil des Effets Irréversibles d'une valeur de 3 kW/m<sup>2</sup> ;
- SEL : Seuil des Effets Létaux d'une valeur de 5 kW/m<sup>2</sup> ;
- SELS : Seuil des Effets Létaux Significatifs d'une valeur de 8 kW/m<sup>2</sup>.

Toutes les distances des effets thermiques sont exprimées à partir du bord des installations.

Les distances d'effet sont indiquées à hauteur d'homme (au sol) et à leur niveau maximal en hauteur. En hauteur, les effets maximaux sont obtenus au point le plus bas par lequel l'explosion peut « s'échapper » du volume (vers l'extérieur). Il s'agit donc soit de la position la plus basse d'une ouverture permanente vers l'extérieur soit de la position la plus basse de l'élément structurel le plus fragile (et qui va donc se rompre en premier).

## 8.3 Méthode de calcul

### 8.3.1 Effets de surpression

Plusieurs méthodes sont disponibles pour estimer les effets de surpression externes consécutifs à l'ouverture des événements lors d'une explosion dans les silos :

- les formules 24 et 25 de la norme EN14491:2012 ;
- la méthode Multi-Energy ;
- la méthode CFD.

Les formules 24 et 25 de la norme sont a priori inadaptées. La première (24) correspond au phénomène d'explosion aérienne du nuage de poussières expulsés par les événements au-dessus du silo, mais elle ne tient pas compte des effets directionnels. La seconde (25) correspond aux effets de pression associée à la décharge de l'explosion à travers l'événement. Ces effets sont fortement directionnels. Cependant, il est stipulé dans la norme que ces formules sont limitées à un volume de 250 m<sup>3</sup>, ce qui est bien en-deçà des volumes considérés dans cette étude.

La méthode Multi-Energy, telle qu'elle est décrite dans le guide Silos (avec calcul de l'énergie de Brode et utilisation de l'indice de violence 10), est communément utilisée dans ce type de cas. Elle ne prend toutefois pas en compte les effets directionnels.

La méthode CFD rend compte de la génération d'un champ de pression externe par dépressurisation progressive du silo à travers l'événement. Cette méthode, permettant de rendre compte des effets directionnels (ici verticaux), a été retenue pour le calcul des distances d'effet aux 3 seuils réglementaires.

#### 8.3.1.1 Logiciel Effex

Le logiciel EFFEX, développé par l'INERIS, permet d'estimer au cours du temps les niveaux de surpression à l'intérieur du volume concerné par l'explosion ainsi que dans son environnement proche et lointain. Il est fondé sur une modélisation physique des phénomènes de propagation de flamme, de décharge de produits de combustion et de balistique.

EFFEX permet de simuler le développement d'une explosion à l'intérieur d'une enceinte en tenant compte :

- de la présence éventuelle d'ouvertures permanentes ;
- de l'éclatement d'une ou plusieurs parois ;
- de la projection progressive des fragments de ces parois.

Les résultats finaux sont l'évolution de la surpression interne en fonction du temps et les caractéristiques de la trajectoire des fragments.

EFFEX a fait l'objet de validations sur la base de résultats issus d'expériences à grande échelle et de constats après accident.

#### 8.3.1.2 Outil de calcul de Mécanique des Fluides Numériques

Afin de prendre en compte le caractère directionnel de la décharge à travers l'évent et son impact sur le champ de pression, l'INERIS propose de mettre en œuvre une démarche de modélisation des effets par Mécanique des Fluides Numérique.

Cette approche vise à résoudre en 3D les équations régissant la mécanique des fluides (équations de Navier-Stokes) simultanément aux équations décrivant la composition du mélange et l'énergie du système.

Les équations évoquées ci-dessus sont discrétisées de manière spatio-temporelle puis résolues. A cette fin, l'INERIS utilise le code open source OpenFoam. Cet outil a été développé par l'Imperial College au début des années 90 puis rendu public. L'INERIS utilise actuellement la version 5.0 (téléchargeable sur <https://openfoam.org/>).

### 8.3.2 Effets thermiques

Les effets thermiques sont modélisés au moyen du modèle de la flamme solide développé par l'INERIS dans le code de calcul FNAP. Ce logiciel permet de déterminer la densité de flux thermique reçue par une cible plane et de surface élémentaire, exposée au rayonnement thermique d'un feu de type nappe, et située à une distance donnée du feu.

Les feux de stockage de produits solides seront traités avec l'outil Flumilog. La méthode FLUMilog utilisée concerne principalement les entrepôts entrant dans les rubriques 1510, 1530, 1532, 2662 et 2663 de la nomenclature ICPE et plus globalement aux rubriques comportant des combustibles solides. Les conséquences pour l'environnement relatives à un incendie généralisé d'une cellule de stockage concernent entre autres le rayonnement thermique émis par les flammes et reçu à distance par des cibles potentielles telles que des personnes, des installations ou des bâtiments tiers. Les distances d'effet associées aux effets du flux thermique reçu sont donc déterminées dans le cas d'un scénario d'incendie généralisé à la cellule.

La méthode ainsi adoptée pour déterminer le flux reçu par un observateur permet d'évaluer les flux thermiques rayonnés dans l'environnement d'un feu d'entrepôt. L'objectif de cette méthode est de déterminer les lieux où un flux radiatif donné (en kW/m<sup>2</sup>) est atteint. La méthodologie et l'outil employés sont disponibles sur le site internet de l'INERIS : <http://www.ineris.fr/flumilog>

## 8.4 Cartographie des distances d'effet

Les cartographies font apparaître les distances d'effet **au sol et en hauteur** aux différents seuils étudiés :

- Significatifs pour le seuil des effets irréversibles ;
- Graves pour le seuil des premiers effets létaux ;
- Très graves pour le seuil des effets létaux significatifs.

L'emprise du site est matérialisée par un trait jaune et blanc.

## 8.5 PhD n°1 : Explosion primaire dans un silo de stockage de pellets

Ce scénario concerne l'explosion des poussières de bois en suspension dans le ciel de l'un des deux silos de stockage, supposé entièrement vide. Il est considéré que le chargement des granulés de bois dans le silo génère la mise en suspension des poussières malgré la présence d'un système d'aspiration des poussières au niveau de la chute. Une explosion pourra se produire lorsque les conditions énoncées au 8.1 seront réunies et, notamment, en cas d'apparition d'une source d'ignition (se référer aux tableaux d'analyse de risques joints en annexe B pour plus de détails).

Il est précisé qu'une explosion pourrait également se produire en cas d'inflammation d'une ATEX air/CO, suite au dégagement de CO dû à l'auto-échauffement activé par fermentation ou par réaction d'oxydo-réduction des pellets dans le silo en cas :

- d'humidité importante ou température importante du produit livré ;
- de pénétration d'eau dans le produit stocké ;
- de temps de séjour trop long dans le silo.

Ce PhD est couvert par la modélisation de l'explosion de poussières.

Il est précisé qu'il n'y a un espace bâtementaire au-dessus du silo mais étant donné qu'il est largement ouvert, le scénario consistant à considérer une explosion dans cet espace qui se propagerait au silo n'est pas retenu.

A noter que la description complète de la méthodologie appliquée pour la modélisation du scénario est donnée en Annexe C.

### 8.5.1 Données d'entrée

Chaque silo a un volume total d'environ 9900 m<sup>3</sup>, une hauteur de 21 m (17,5 m hors sol) et un diamètre interne de 25 m.

La totalité de la surface de la toiture, constituée d'une jupe, est considérée comme surface d'évent avec une pression de rupture de 100 mbar.

Il est supposé que les parois du silo résistent à la surpression interne calculée par la suite.

### 8.5.2 Calculs des distances d'effets de surpression du PhD n°1

Les distances des effets de surpression du PhD n°1 **à hauteur d'homme à compter à partir du centre du silo** sont présentées dans le tableau ci-après.

| Phénomène  | Distance d'effet au sol (m)            |                          |                                |                          |
|--|--|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|  | Effets Létaux Significatifs (200 mbar) | Effets Létaux (140 mbar) | Effets Irréversibles (50 mbar) | Bris de vitres (20 mbar) |
| Silo de stockage   |  |                          |                                |                          |
| 1 - Explosion primaire dans un silo de stockage de pellets | NA                                     | NA                       | 40                             | Non calculé              |

Tableau 5 : Distances d'effets de surpression (à compter depuis le centre du silo) à hauteur d'homme

Les distances des effets de surpression du PhD n°1 au niveau des événements à compter depuis le centre du silo sont présentées dans le tableau ci-après :

| Phénomène                                       | Distance d'effet en hauteur            |                          |                                |                          |
|---|--|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|   | Effets Létaux Significatifs (200 mbar) | Effets Létaux (140 mbar) | Effets Irréversibles (50 mbar) | Bris de Vitres (20 mbar) |
| Silo de stockage                                |  |                          |                                |                          |
| 1 - Explosion primaire dans le silo de stockage | <15                                    | <15                      | 45                             | Non calculé              |

Tableau 6 : Distances d'effets de surpression (à compter depuis le centre du silo) à hauteur d'évent

### 8.5.3 Cartographie des distances d'effets du PhD n°1

Les cartographies des distances d'effets du PhD n°1 sont présentées ci-après.



Figure 11 : Cartographies des distances d'effet du PhD n°1.1 à hauteur d'homme

ALBIOMA Le Gol  
1b\_Explosion primaire dans un silo béton (silo 2) - Effets à hauteur d'homme



Figure 12 : Cartographies des distances d'effet du PhD n°1.2 à hauteur d'homme

Il en ressort que, à **hauteur d'homme** :

- le seuil des effets létaux significatifs (également seuil des effets dominos) n'est pas atteint ;
- le seuil des effets létaux n'est pas atteint ;
- le seuil des effets irréversibles est atteint mais les effets ne sortent pas des limites de site.

Il en ressort que, à **hauteur d'évent**, les seuils des effets létaux sont atteints sans sortir des limites de site. Les effets irréversibles sortent légèrement du site mais aucun enjeu n'est présent à cette hauteur. Le seuil des effets dominos est atteint, il n'impacte pas le 2<sup>ème</sup> silo, uniquement le convoyeur de remplissage.

## 8.6 PhD n°2 : Incendie dans le bâtiment biomasse

### 8.6.1 Données d'entrée

Le scénario considéré ici correspond à l'inflammation de la biomasse, le stockage étant considéré comme plein.

Le bâtiment comprend dans sa partie basse un compartimentage en deux modules dédiés au stockage en talus de la biomasse locale.

Chaque cellule de stockage fait 5,3 m de large et 16,8 m de long et est bordée par 3 murets d'une hauteur de 11,5 m.

Les deux cellules sont alimentées par un convoyeur arrivant en partie haute à l'une des extrémités, équipé d'un répartiteur. Un gratteur vient ensuite pousser le talus vers l'autre extrémité du bâtiment, pourvue d'un convoyeur à bande qui transfère la biomasse vers les chaudières.

Les combustibles stockés ont une masse volumique de 200 kg/m<sup>3</sup>, avec une humidité de 30% à 45%.

## 8.6.2 Calculs des distances d'effets thermiques du PhD n°2

Les flux thermiques ont été calculés avec Flumilog.

Il est à noter que les effets toxiques n'ont pas été modélisés car il n'est pas attendu d'effets toxiques aigus associés aux fumées de l'incendie étant donné la nature et la composition des produits stockés.

Les distances d'effets thermiques associées au PhD n°2 d'incendie du bâtiment biomasse **au sol** sont présentées dans le tableau suivant :

| Phénomène                         | Distance d'effet au sol (m)                        |                                      |   |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|---|
|                                   | Effets Létaux Significatifs<br>8 kW/m <sup>2</sup> | Effets Létaux<br>5 kW/m <sup>2</sup> | Effets Irréversibles<br>3 kW/m <sup>2</sup> |
| 2 - Incendie du bâtiment biomasse | 0  | 0                                    | <5 m  |

Tableau 7 : Distances d'effets thermiques à compter à partir des bords du bâtiment biomasse

## 8.6.3 Cartographie des distances d'effets du PhD n°2

ALBIOMA Le Gol  
2\_Incendie du hangar de stockage de la biomasse

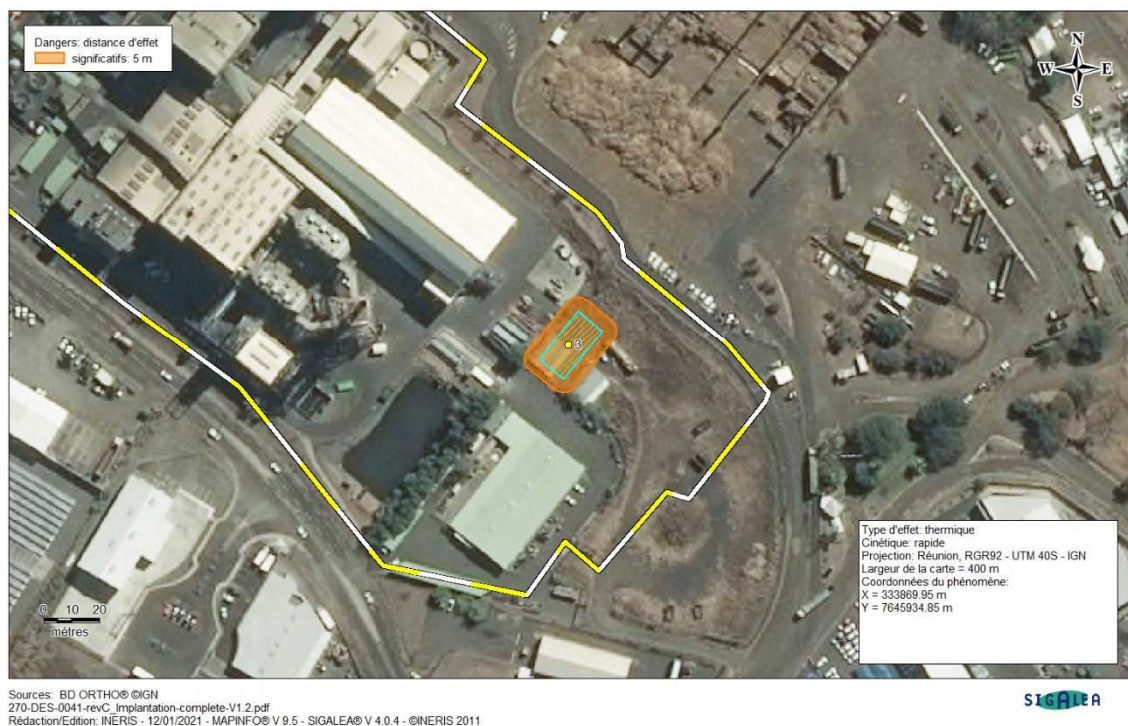


Figure 13 : Cartographie des distances d'effet du PhD n°2 au sol



Il en ressort que :

- le seuil des effets létaux significatifs, correspondant également au seuil des effets dominos, n'est pas atteint ;
- le seuil des effets létaux n'est pas atteint ;
- les effets irréversibles ne sortent pas du site.

## 8.7 Conclusion

Les effets liés au scénario d'explosion d'un silo de stockage de pellets ne sortent pas des limites de site, à hauteur d'homme.

A hauteur d'évent, les effets sortent légèrement du site mais aucun enjeu n'est présent à cette hauteur. Le seuil des effets dominos est atteint, il n'impacte pas le 2<sup>ème</sup> silo, uniquement le convoyeur de remplissage.

Les effets liés au scénario d'incendie du bâtiment biomasse ne sortent pas des limites de propriété. Le seuil des effets dominos n'est pas atteint.

Aucun accident majeur n'est retenu pour la suite de l'étude. Ainsi, la cotation des scénarios en probabilité et gravité n'est pas requise.

## 9 Conclusion

Dans le cadre de la transition énergétique, Albioma substitue son combustible charbon par des pellets de bois sur ses différentes centrales thermiques situées dans les DOM.

Sur l'île de La Réunion, Albioma va modifier la centrale thermique du Gol (ALG) fonctionnant actuellement au charbon et à la bagasse. Les trois chaudières seront alimentées par des pellets de bois et de la biomasse locale. Les deux chaudières d'ALG-A continueront à être également alimentées par de la bagasse.

Dans l'objectif de la conversion à la biomasse des trois chaudières du site, le stockage de charbon actuel sera remplacé par des stockages de pellets de bois et de biomasse locale : des plaquettes de bois, des connexes de scieries, des broyats verts et des bois d'emballage.

Dans le cadre de cette modification, les installations seront modifiées comme suit :

- la construction de deux silos de stockage de pellets de bois de capacité 7500 m<sup>3</sup> chacun ;
- la construction de quatre postes de réception et déchargement des camions de pellets ;
- la mise en place d'une manutention adaptée pour le convoyage des pellets de bois depuis les camions jusqu'aux silos de stockage ;
- la mise en place d'une manutention adaptée pour le convoyage des pellets de bois depuis les silos jusqu'aux chaudières ;
- la construction d'un bâtiment de stockage de la biomasse locale, d'une capacité de 1000 m<sup>3</sup> ;
- la construction d'un poste de réception et déchargement des camions de biomasse locale ;
- la mise en place d'une manutention adaptée pour le convoyage de la biomasse locale depuis le déchargement des camions vers le bâtiment biomasse et depuis ce bâtiment de stockage jusqu'aux chaudières.

Les installations de stockage de pellets bois seront mises en place sur l'emplacement actuel du stockage extérieur de charbon. Les installations de stockage de la biomasse seront mises en place à côté du hangar de stockage de la bagasse.

Il est noté que la construction des silos et du bâtiment biomasse locale sera phasée et que la co-présence pendant un temps limité du stockage de charbon avec les nouvelles installations est à considérer.

L'analyse préliminaire des risques a permis d'identifier les phénomènes dangereux susceptibles de générer des effets à l'extérieur du site qui sont :

- PhD n°1 : Explosion primaire dans un silo de stockage de pellets ;
- PhD n°2 : Incendie dans le bâtiment biomasse.

L'analyse préliminaire des risques a été l'occasion de lister les mesures de sécurité techniques et humaines qui doivent être mises en œuvre, respectées et entretenues. Des propositions d'amélioration ont également été faites.

- Pour les transporteurs :
  - Toutes les chutes sont équipées d'un système d'aspiration des poussières relié à des filtres à manches ;
  - La présence de bande retardatrice de flamme et antistatique pour les transporteurs à bandes ;
  - La présence de parois au niveau des chutes en matériau antistatique ;
  - La détection d'étincelles asservie à un système de déluge rapide ;
  - La présence d'évent d'explosion sur les transporteurs à chaînes de grande longueur ;
  - Les contrôleurs de rotation au niveau des transporteurs, asservis à l'arrêt des installations ;
  - L'arrêt des installations sur bourrages multiples ;
  - Le sprinklage sur tout le linéaire des convoyeurs ;
  - Le câble d'arrêt d'urgence ;

- La prévention des points chauds qui peuvent être apportés par des défaillances électriques, lors de travaux / interventions (vigilance sur la délivrance des permis de feu) ou encore par la foudre.
  
- Pour les silos :
  - La détection précoce de l'auto-échauffement avec un analyseur multigaz, des sondes de température et un détecteur CO qui génèrent une alarme ;
  - La présence d'une surface éventable (jupe) en toiture du silo ;
  - Des moyens d'extinctions mobiles ;
  - La prévention des points chauds qui peuvent être apportés par des défaillances électriques, lors de travaux/ interventions (vigilance sur la délivrance des permis de feu) ou encore par la foudre ;
  - Le dispositif d'injection d'azote.
  
- Pour le bâtiment biomasse :
  - La détection d'étincelle au niveau du transporteur de mise en stock du produit et au niveau de la chute du transporteur à vis pour le désilage du produit déclenchant du sprinklage
  - La caméra thermique et le sprinklage.

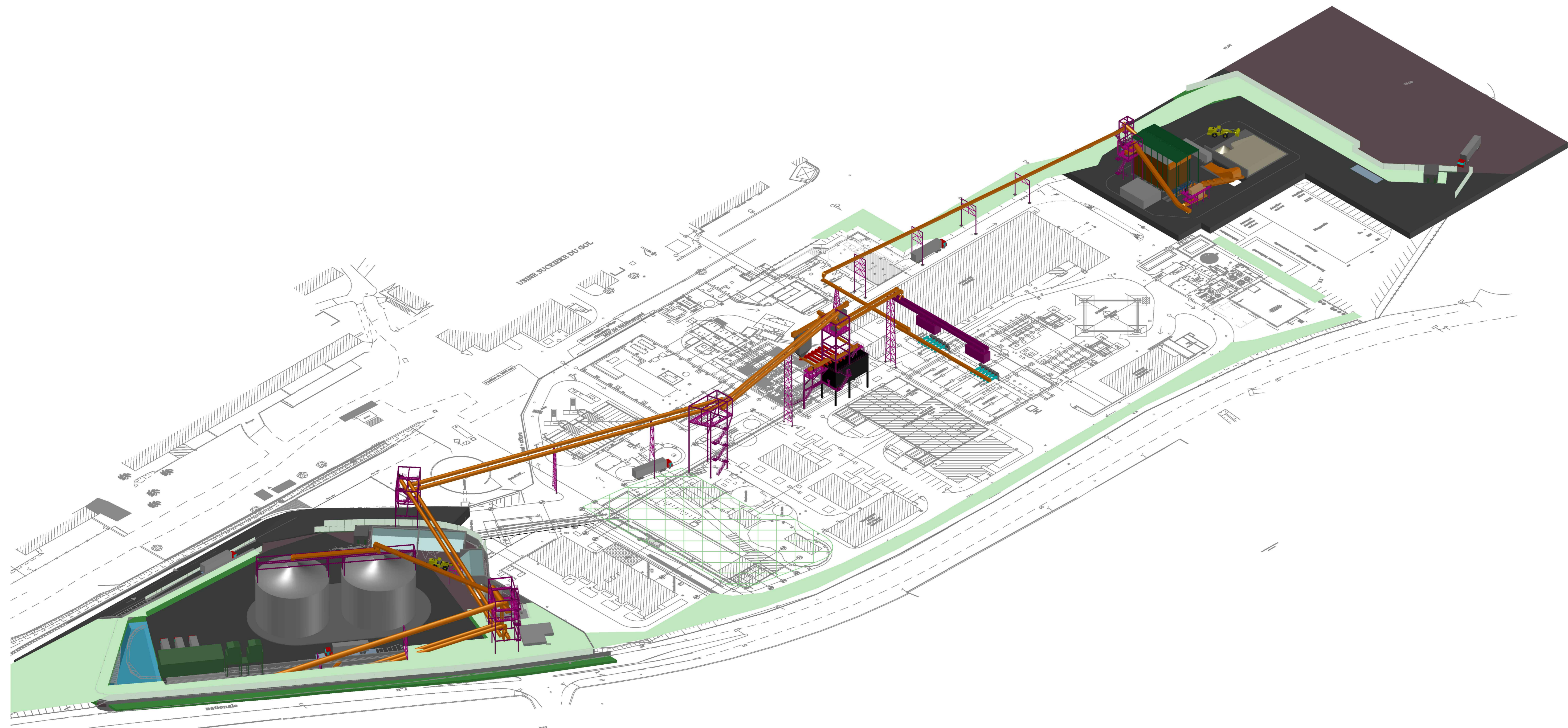
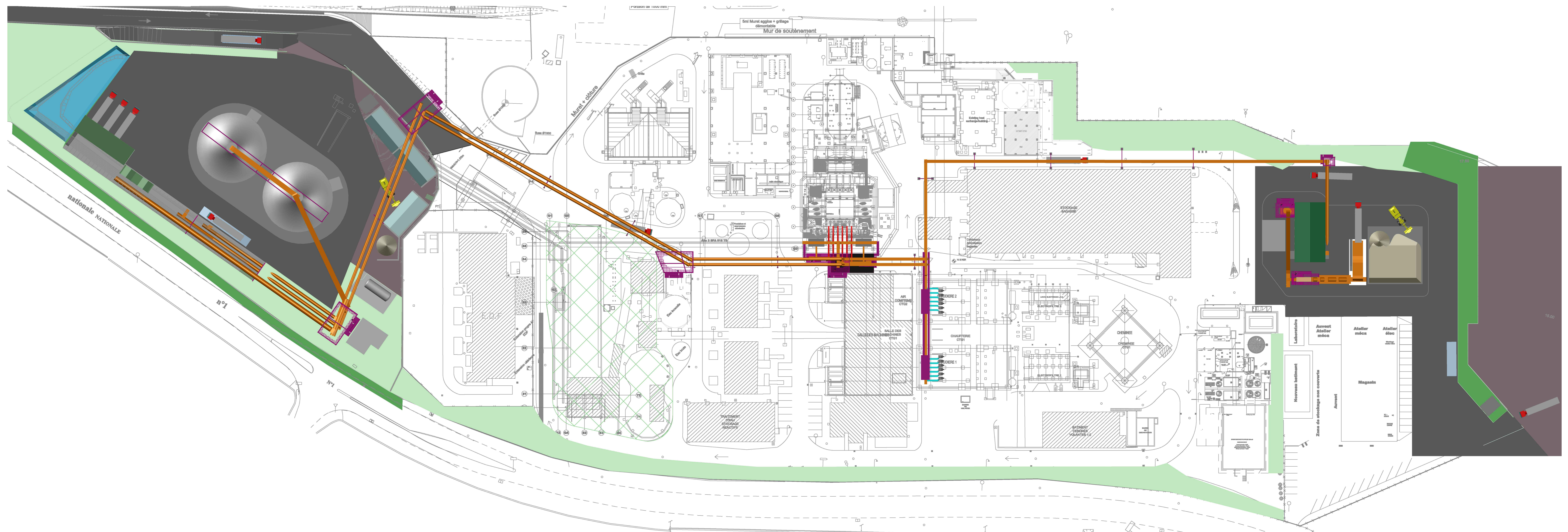
Les effets thermiques et de surpression, aux trois seuils réglementaires, des 2 phénomènes dangereux retenus ne sortent pas des limites du site à hauteur d'homme. Ainsi, ils ne sont pas qualifiés d'accidents majeurs et n'ont pas été caractérisés en gravité, probabilité et cinétique.

## 10 Abréviations

|        |   |
|--------|---|
| A      | Autorisation  |
| AM     | Arrêté ministériel  |
| APR    | Analyse Préliminaire des Risques  |
| ARIA   | Analyse, Recherche et Information sur les Accidents   |
| BARPI  | Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels, au MEDDE  |
| BLEVE  | Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion  |
| CE     | Code de l'environnement   |
| CTBR   | Centrale Thermique de Bois Rouge  |
| DRA    | Direction des Risques Accidentels, à l'INERIS   |
| DREAL  | Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement                                     |
| ED     | Effets dominos  |
| EDD    | Étude de dangers  |
| Ei     | Évènement intermédiaire   |
| EI     | Évènement initiateur  |
| ERC    | Évènement redouté central   |
| IARA   | Unité Identification et Analyse des Risques Accidentels, à la Direction des Risques Accidentels de l'INERIS |
| I      | Intensité   |
| IC     | Installation Classée  |
| IIC    | Inspection des Installations Classées   |
| INERIS | Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques  |
| MMR    | Mesures de Maîtrise des Risques   |
| P      | Probabilité   |
| PhD    | Phénomène dangereux   |

## 11 Liste des annexes

- Annexe A Plan des installations (1 page)
- Annexe B Analyse Préliminaire des Risques (40 pages)
- Annexe C Rapport de modélisation (20 pages)



| Surface (m <sup>2</sup> ) | Zone                                  |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 2 232                     | Biomasse                              |
| 2 032                     | Pellets                               |
| -109                      | Local électrique                      |
| 1 656                     | Pylones                               |
| 2 082                     | Site RN                               |
| 244                       | Site TE                               |
| 3 033                     | Charbon (pour info)                   |
| <b>8 136</b>              | <b>Surface espaces verts</b>          |
| 9 741                     | Besoin                                |
| 1 605                     | Manque                                |
| 1 885                     | Ilot silos                            |
| 109                       | Local électrique pellets              |
| 144                       | Dallage azote                         |
| 472                       | Galerie convoyeurs                    |
| 320                       | Poste de dépôtage                     |
| <b>2 930</b>              | <b>Surface EP propre (pellets)</b>    |
| <b>502</b>                | <b>Surface bassin</b>                 |
| <b>5 551</b>              | <b>Surface EP à traiter (pellets)</b> |

|   |          |   |         |         |   |
|---|----------|---|---------|---------|---|
| B   | 05/01/21 | Mise à jour suite commentaires ALB  | CLP     | MSG     | CLP   |
| A   | 18/12/20 | Emission initiale   | PRE/CLP | MSG     | CLP   |
| IND   | DATE     | DESCRIPTION   | REDIGE  | VERIFIE | APPR  |
|   |          | ALBIOMA<br>198 000 00 - La Defense 2<br>92014 LA DEFENSE<br>Tel : +33 1 47 15 47 01 |         |         | ALBIOMA<br>198 000 00 - La Defense 2<br>92014 LA DEFENSE<br>Tel : +33 1 47 15 47 01 |
| <b>PROJET DE TRANSITION LE GOL</b><br>Implantation Générale<br>Le Gol   |          |   |         |         |   |
| Echelle   | Formet   | Numéro Client : 19-GP373-000-ERA-1 0003   |         |         |   |
| 1/500   | A0       | Numéro ERAS :   |         |         |   |
| <small>Le document contient des renseignements confidentiels appartenant à la société pour laquelle il a été réalisé. Il ne doit pas être copié, réproduit ou diffusé sans une autorisation formelle.</small> |          |   |         |         |   |

## Découpage des installations

| Espace  | Equipement   | Manutention                                 | Communication avec les autres espaces   | Remarques |
|---|--|---|---|-----------|
| Postes de déchargement camions                | Fosses de dépotage                                   |   |   |           |
| Extérieur - Manutention dépotage vers silos   | Convoyeurs à bandes<br>Convoyeurs à chaînes<br>Tours | Convoyeurs à bandes<br>Convoyeurs à chaînes |   |           |
| Stockage                                      | 2 silos de 7500 m <sup>3</sup>                       |   |   |           |
| Extérieur - Manutention silos vers chaudières | Convoyeurs à bandes<br>Tours                         | Convoyeurs à bande vers les chaudières      |   |           |
| Bâtiment biomasse locale                      | 2 modules de stockage<br>Galeries latérales          | Convoyeurs à bandes<br>Transporteurs à vis  | Communication des fosses avec galerie latérale (transporteur à bande de déstockage) sur le bas des voiles acier |           |

|   |                          |  |
|---|--------------------------|--|
| 1 | <b>Section étudiée :</b> | Déchargement des pellets par les camions via 4 emplacements<br>Fosses et trémies   |
|   |                          | <i>Livraison par camions<br/>Déchargement par fond mouvant du camion<br/>Manutention : transporteurs jusqu'au dessus des silos<br/>1 système de déferrailage</i> |

| N°  | Cause  | Evènement Initiateur                           | Evènement Redouté Central                                    | Phénomène dangereux   | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation Remarque   |
|---|--|--|--|---|----------------------|---|---|
|   |  |  |  |   |                      | Intitulé  |   |
| Fosses de déchargement camions et installation de déferrailage (tapis électromagnétique et goulotte vibrante) |  |  |  |   |                      |   |   |
| 1.1   | Présence de poussières en suspension                 | Naturelle dans les équipements de déchargement | Formation d'une ATEX   | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation dans les équipements connectés ou dans la fosse     | 2                    | - Les fosses de déchargement et le déferrailage sont équipés d'un système d'aspiration des poussières relié à des filtres à manches (asservissement du fonctionnement des équipements au système de dépoussiérage + alarme)<br>- Les premiers transporteurs n'y sont pas directement reliés mais sont dans l'espace bâtementaire de la fosse qui lui est aspiré | - L'autorisation de charger n'est donnée que si l'aspiration fonctionne<br>- Surveillance humaine permanente au niveau du poste chargement par le chauffeur |
| 1.2   | Présence normale de combustible lors du déchargement | Naturelle dans les équipements de déchargement | Inflammation de la matière combustible par source d'ignition | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation dans les équipements connectés ou dans le bâtiment associé | 2                    | - Sprinklage<br>- Moyens d'extinction du site   |   |
| Sources d'inflammation  |  |  |  |   |                      |   |   |
| /   | Travaux de maintenance                               | Travaux par point chaud                        | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou            | Explosion de poussières et propagation  | 2                    | - Permis de feu   | La maintenance est réalisée par des sociétés extérieures spécialisées<br>Pour les opérations de maintenance, les fosses sont vides.                         |
| /   | Travaux de maintenance                               | Travaux par point chaud                        | Montée en température  | Départ de feu couvant et propagation  | 2                    | - Permis de feu   |   |



| N° | Cause  | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation Remarque |
|----|--|---|--|--|----------------------|---|-------------------------|
|    |  |   |  |  |                      | Intitulé  |                         |
| /  | Défaillance matérielle                                   | Bourrage  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Détection de bourrage sur les chutes des transporteurs (LSH)  |                         |
| /  | Défaillance matérielle                                   | Bourrage  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Détection de bourrage sur les chutes des transporteurs (LSH)  |                         |
| /  |  | Auto-échauffement de dépôts ou d'accumulation suite à problème d'évacuation   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    |   |                         |
| /  |  |   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   |                      |   |                         |
| /  | Présence d'une source d'inflammation                     | Etincelle mécanique créée par le choc de corps étrangers  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    |   |                         |
| /  | Présence d'une source d'inflammation                     | Etincelle mécanique créée par le choc de corps étrangers  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    |   |                         |
| /  | Présence d'une source d'inflammation                     | Déferrailage ou convoyeur: Défaillance électrique ou mécanique du moteur avec prise en feu ou échauffement du moteur suite à usure des roulements ou suite à bourrage | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Contrôle température des moteurs pour convoyeur et déferrailage<br>- Contrôle température sur le tapis électromagnétique<br>- Contrôle de la vitesse du tapis |                         |
| /  | Présence d'une source d'inflammation                     | Déferrailage ou convoyeur: Défaillance électrique ou mécanique du moteur avec prise en feu ou échauffement du moteur suite à usure des roulements ou suite à bourrage | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Contrôle température des moteurs pour convoyeur et déferrailage<br>- Contrôle température sur le tapis électromagnétique<br>- Contrôle de la vitesse du tapis |                         |
| /  | Condition climatique                                     | Foudre  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Protection foudre   |                         |
| /  | Condition climatique                                     | Foudre  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Protection foudre   |                         |
| /  | /  | Etincelle électrostatique   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Mise à la terre<br>- Trémies de déchargement en matériau anti-électrostatique   |                         |
| /  | /  | Etincelle électrostatique   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Mise à la terre<br>- Trémies de déchargement en matériau anti-électrostatique   |                         |
| /  | Malveillance   | Cigarette   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Interdiction de fumer   |                         |
| /  | Malveillance   | Cigarette   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Interdiction de fumer   |                         |
| /  | Effet domino- propagation possible depuis les convoyeurs |   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Sprinklage des fosses déchargement<br>- Events d'explosion  |                         |
| /  | Effet domino- propagation possible depuis les convoyeurs |   |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Sprinklage des fosses déchargement  |                         |

|   |                   |  |
|---|-------------------|--|
| 2 | Section étudiée : | Déchargement de la biomasse locale avant stockage dans le bâtiment<br>Fosses et trémies (les transporteurs sont traités dans l'onglet Manut) |
|   |                   | Livraison par camions<br>Déchargement par fond mouvant du camion<br>1 système de déferrailage<br>1 système de criblage                       |

| N°  | Cause  | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux   | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation Remarque   |
|---|--|---|--|---|----------------------|--|---|
|   |  |   |  |   |                      | Intitulé   |   |
| Fosses de déchargement camions et installation de déferrailage (tapis électromagnétique et goulotte vibrante) |  |   |  |   |                      |  |   |
| 2.1   | Présence de poussières en suspension                 | Naturelle dans les équipements de déchargement                              | Formation d'une ATEX   | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation dans les équipements connectés ou dans la fosse     | 2                    | - Les fosses de déchargement, transporteurs et le déferrailage sont équipés d'un système d'aspiration des poussières relié à des filtres à manches (asservissement du fonctionnement des équipements au système de dépoussiérage + alarme) | - L'autorisation de charger n'est donnée que si l'aspiration fonctionne<br>- Surveillance humaine permanente au niveau du poste chargement par le chauffeur |
| 2.2   | Présence normale de combustible lors du déchargement | Naturelle dans les équipements de déchargement                              | Inflammation de la matière combustible par source d'ignition               | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation dans les équipements connectés ou dans le bâtiment associé | 2                    | - Moyens d'extinction du site<br>- Sprinklage au niveau de la fosse et sur les équipements de convoyage  |   |
| Sources d'inflammation  |  |   |  |   |                      |  |   |
| /   | Travaux de maintenance                               | Travaux par point chaud   | Étincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation  | 2                    | - Permis de feu  | La maintenance est réalisée par des sociétés extérieures spécialisées<br>Pour les opérations de maintenance, les fosses sont vides.                         |
| /   | Travaux de maintenance                               | Travaux par point chaud   |  | Départ de feu couvant et propagation  | 2                    | - Permis de feu  |   |
| /   | Défaillance matérielle                               | Bourrage  | Étincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation  | 2                    | - Détection de bourrage sur les chutes des transporteurs (LSH)   |   |
| /   | Défaillance matérielle                               | Bourrage  |  | Départ de feu couvant et propagation  | 2                    | - Détection de bourrage sur les chutes des transporteurs (LSH)   |   |
| /   |  | Auto-échauffement de dépôts ou d'accumulation suite à problème d'évacuation | Étincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation  | 2                    |  |   |
| /   |  |   |  | Départ de feu couvant et propagation  |                      |  |   |

| N° | Cause  | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation<br>Remarque |
|----|--|---|--|--|----------------------|--|----------------------------|
|    |  |   |  |  |                      | Intitulé   |                            |
| /  | Présence d'une source d'inflammation                     | Etincelle mécanique créée par le choc de corps étrangers  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    |  |                            |
| /  | Présence d'une source d'inflammation                     | Etincelle mécanique créée par le choc de corps étrangers  | Montée en température  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    |  |                            |
| /  | Présence d'une source d'inflammation                     | Défaillance ou convoyeur:<br>Défaillance électrique ou mécanique du moteur avec prise en feu ou échauffement du moteur suite à usure des roulements ou suite à bourrage | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation |                      | - Contrôle température des moteurs pour convoyeur et déferailage<br>- Contrôle température sur le tapis électromagnétique<br>- Contrôle de la vitesse du tapis |                            |
| /  | Présence d'une source d'inflammation                     | Défaillance ou convoyeur:<br>Défaillance électrique ou mécanique du moteur avec prise en feu ou échauffement du moteur suite à usure des roulements ou suite à bourrage | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   |                      | - Contrôle température des moteurs pour convoyeur et déferailage<br>- Contrôle température sur le tapis électromagnétique<br>- Contrôle de la vitesse du tapis |                            |
| /  | Condition climatique                                     | Foudre  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Protection foudre  |                            |
| /  | Condition climatique                                     | Foudre  | Montée en température  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Protection foudre  |                            |
| /  | /  | Etincelle électrostatique   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Mise à la terre<br>- Trémies de déchargement en matériau anti-électrostatique  |                            |
| /  | /  | Etincelle électrostatique   | Montée en température  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Mise à la terre<br>- Trémies de déchargement en matériau anti-électrostatique  |                            |
| /  | Malveillance   | Cigarette   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Interdiction de fumer  |                            |
| /  | Malveillance   | Cigarette   | Montée en température  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Interdiction de fumer  |                            |
| /  | Effet domino- propagation possible depuis les convoyeurs |   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Sprinklage des fosses déchargement<br>- Evnets d'explosion des convoyeurs à chaines reliées à la fosse de déchargement                                       |                            |
| /  | Effet domino- propagation depuis les convoyeurs          |   |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Sprinklage des fosses déchargement   |                            |

| 3                  | <b>Section étudiée :</b> 2 silos béton de 7500 m3     |   |  |  |                      |   |  |
|--------------------|---|---|--|--|----------------------|---|--|
|                    |   |   |  |  |                      |   |  |
| N°                 | Cause   | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central                                    | Phénomène dangereux  | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation Remarque  |
|                    |   |   |  |  |                      | Intitulé  |  |
| 2 silos de 7500 m3 |   |   |  |  |                      |   |  |
| 3.1                | Présence de poussières en suspension                  | Naturelle - Présence constante de poussières  | Formation d'une ATEX   | Explosion de poussières  | 2-3                  | - Chute en tête de silo sous aspiration reliée à dépoussiéreur<br>- Silos éventés (jupe)<br>- Système d'isolation chimique et mécanique en cas de surpression (système Fike) au niveau de la chute du transporteur                  | Pas d'espace sur silo  |
| 3.2                | Présence normale de combustible dans le silo          | Naturelle - Présence constante de combustible   | Inflammation de la matière combustible par source d'ignition | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation dans le silo | 2-3                  | - Sondes de température dans le silo avec alarme<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction  |  |
| 3.3                | Défaillance matérielle ou opératoire                  | Humidité importante du produit ou température importante du produit   | Auto-échauffement du combustible                             | Départ de feu couvant  | 2-3                  | - Détecteurs CO qui génèrent une alarme<br>- Analyseur multigaz qui génère une alarme<br>- Sondes de température dans le silo avec alarme<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction | - Echantillonnage du produit fait à l'arrivée mais résultats obtenus une fois que le stockage du produit est commencé voire fini |
| 3.4                | Défaillance étanchéité du silo ou du convoyeur        | Pénétration d'eau dans le produit stocké -> Humidité importante du produit (mauvaise étanchéité au niveau de l'arrivée pellets) | Auto-échauffement du combustible                             |  | 2-3                  | - Détecteurs CO qui génèrent une alarme<br>- Analyseur multigaz qui génère une alarme<br>- Sondes de température dans le silo avec alarme<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction | - Echantillonnage du produit fait à l'arrivée mais résultats obtenus une fois que le stockage du produit est commencé voire fini |
| 3.5                | Ralentissement de la production pour travaux ou autre | Temps de séjour trop long   | Auto-échauffement du combustible                             |  | 2-3                  | - Détecteurs CO qui génèrent une alarme<br>- Analyseur multigaz qui génère une alarme<br>- Sondes de température dans le silo avec alarme<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction |  |

| N°  | Cause   | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central   | Phénomène dangereux          | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation<br>Remarque   |
|-----|---|---|---|------------------------------|----------------------|---|--|
|     |   |   |   |                              |                      | Intitulé  |  |
| 3.6 | Défaillance matérielle ou opératoire                  | Humidité importante du produit ou température importante du produit   | Inflammation de l'ATEX air/CO du ciel du silo ou d'une poche de CO suite au dégagement de CO dû à l'oxydo-réduction | Explosion de CO dans le silo | 2-3                  | - Détecteurs CO qui génèrent une alarme<br>- Analyseur multigaz qui génère une alarme<br>- Sondes de température dans le silo avec alarme<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction | - Echantillonnage du produit fait à l'arrivée mais résultats obtenus une fois que le stockage du produit est commencé voire fini |
| 3.7 | Défaillance étanchéité du silo ou du convoyeur        | Pénétration d'eau dans le produit stocké -> Humidité importante du produit (mauvaise étanchéité au niveau de l'arrivée pellets) |   |                              | 2-3                  | - Détecteurs CO qui génèrent une alarme<br>- Analyseur multigaz qui génère une alarme<br>- Sondes de température dans le silo avec alarme<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction | - Echantillonnage du produit fait à l'arrivée mais résultats obtenus une fois que le stockage du produit est commencé voire fini |
| 3.8 | Ralentissement de la production pour travaux ou autre | Temps de séjour trop long   |   |                              | 2-3                  | - Détecteurs CO qui génèrent une alarme<br>- Analyseur multigaz qui génère une alarme<br>- Sondes de température dans le silo avec alarme<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction |  |

| N°                    | Cause   | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation Remarque |
|-----------------------|---|--|--|--|----------------------|---|-------------------------|
|                       |   |  |  |  |                      | Intitulé  |                         |
| Source d'inflammation |   |  |  |  |                      |   |                         |
| /                     | Travaux de maintenance                          | Travaux par point chaud  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 3                    | - Permis de feu   |                         |
| /                     |   |  |  | Départ de feu couvant et propagation   | 3                    | - Permis de feu<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur ou déclenché par analyseur multigaz<br>- Mise en place des moyens d'extinction |                         |
| /                     | Défaillance matérielles                         | Défaillance équipement électrique  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 3                    | - Contrôles des installations (plan de maintenance)   |                         |
| /                     |   |  |  | Départ de feu couvant et propagation   | 3                    | - Contrôles des installations (plan de maintenance)<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction |                         |
| /                     | Défaillance matérielles ou mauvais déferrailage | Etincelle mécanique ou échauffement suite à frottement d'une pièce métallique dans le silo | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 3                    | - Contrôles des installations (plan de maintenance)   |                         |
| /                     |   |  |  | Départ de feu couvant et propagation   | 3                    | - Contrôles des installations (plan de maintenance)<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction |                         |
| /                     | Défaillance matérielles                         | Echauffement mécanique ou électrique du vibrafloor   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 3                    | - Contrôles des installations (plan de maintenance)   |                         |
| /                     |   |  |  | Départ de feu couvant et propagation   | 3                    | - Contrôles des installations (plan de maintenance)   |                         |
| /                     | /   | Etincelle électrostatique  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 3                    |   |                         |
| /                     |   |  |  | Départ de feu couvant et propagation   | 3                    | - Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction  |                         |

| N° | Cause                | Evènement Initiateur | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation Remarque |
|----|----------------------|----------------------|--|--|----------------------|---|-------------------------|
|    |                      |                      |  |  |                      | Intitulé  |                         |
| /  | Condition climatique | Foudre               | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 3                    | - Protection foudre   |                         |
| /  |                      |                      |  | Départ de feu couvant et propagation   | 3                    | - Protection foudre<br>- Inertage azote à déclencher par opérateur<br>- Mise en place des moyens d'extinction   |                         |
| /  | Effet domino interne |                      | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 3                    | Sécurités des convoyeurs à bande:<br>- Toutes les chutes sont équipées d'un système d'aspiration des poussières relié à des filtres à manches<br>- Bande retardatrice de flamme et anti-statique<br>- Contrôleur de rotation et contrôleur de température sur tous les transporteurs<br>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)<br>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher<br>- Détection d'étincelle sur les convoyeurs<br>- Sprinklage sur tout le linéaire des convoyeurs |                         |
| /  | Effet domino interne |                      | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   | 3                    | Sécurités des convoyeurs à bande:<br>- Toutes les chutes sont équipées d'un système d'aspiration des poussières relié à des filtres à manches<br>- Bande retardatrice de flamme et anti-statique<br>- Contrôleur de rotation et contrôleur de température sur tous les transporteurs<br>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)<br>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher<br>- Détection d'étincelle sur les convoyeurs<br>- Sprinklage sur tout le linéaire des convoyeurs |                         |

|   |                          |   |
|---|--------------------------|---|
| 4 | <b>Section étudiée :</b> | Manutention des postes de déchargement vers les silos puis vers la chaudières |
|   |                          | <i>Transporteurs à chaînes</i><br><i>Transporteurs à bandes</i>               |

| N°                                  | Cause                  | Evènement Initiateur                          | Evènement Redouté Central | Phénomène dangereux  | Intensité<br>(de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation<br>Remarque                        |
|-------------------------------------|------------------------|---|---------------------------|--|-------------------------|---|---|
|                                     |                        |   |                           |  |                         | Intitulé  |   |
| Transporteurs à bandes (extérieurs) |                        |   |                           |  |                         |   |   |
| 4.1                                 | Opération de transport | Naturelle - Présence constante de poussières  | Formation d'une ATEX      | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation dans les équipements connectés ou dans le bâtiment associé | 2-3                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Convoyeurs capotés</li> <li>- Toutes les chutes sont capotées et sont reliées à un système d'aspiration des poussières relié à des filtres à manches (asservissement du fonctionnement des équipements au système de dépoussiérage + alarme)</li> <li>- Bande retardatrice de flamme et anti-statique</li> </ul>   | - Equipements ATEX                                |
| 4.2                                 | Opération de transport | Naturelle - Présence constante de combustible |                           | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation dans les équipements connectés ou dans le bâtiment associé        | 2-3                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bande retardatrice de flamme et anti-statique</li> <li>- Détection de bourrage sur les chutes des transporteurs (LSH)</li> <li>- Détection d'étincelle asservie à une brumisation au niveau des chutes et en cas de détection, déviation du produit vers un circuit d'évacuation</li> <li>- Sprinklage sur tout le linéaire des convoyeurs</li> <li>- Mise en place de moyens d'extinction</li> <li>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher</li> </ul> | Absence de détecteur de température sur le moteur |



| N°                     | Cause                  | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation<br>Remarque   |
|------------------------|------------------------|--|--|--|----------------------|---|--|
|                        |                        |  |  |  |                      | Intitulé  |  |
| Sources d'inflammation |                        |  |  |  |                      |   |  |
| /                      | Travaux de maintenance | Travaux par point chaud  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Permis de feu   | La maintenance est réalisée par des sociétés extérieures spécialisées<br>Pour les opérations de maintenance les convoyeurs sont vidés. |
| /                      | Travaux de maintenance | Travaux par point chaud  |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Permis de feu<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes et en cas de détection, déviation du produit vers un circuit d'évacuation<br>- Sprinklage sur le linéaire des convoyeurs  |  |
| /                      | Défaillance matérielle | Grippage de pièce mécanique ou frottement d'une pièce déformée par un corps étranger | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Déferrailage des produits transporteurs<br>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation, alarme sur pupitre de contrôle<br>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)<br>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher                    |  |
| /                      | Défaillance matérielle | Grippage de pièce mécanique ou frottement d'une pièce déformée par un corps étranger | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation<br>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)<br>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes |  |
| /                      | Défaillance matérielle | Bourrage dans le transporteur suite à défaut en aval                                 | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou                          | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Détection de niveau dans les chutes, et arrêt de l'installation<br>- Détection de bourrage sur les chutes des transporteurs (LSH)<br>- Contrôle de rotation / Capteur<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes et en cas de détection, déviation du produit vers un circuit d'évacuation   |  |

| N° | Cause   | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation<br>Remarque  |
|----|---|--|--|--|----------------------|--|---|
|    |   |  |  |  |                      | Intitulé   |   |
| /  | Défaillance matérielle                        | Bourrage dans le transporteur suite à défaut en aval                           | Montée en température  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Détection de niveau dans les chutes, et arrêt de l'installation<br>- Détection de bourrage sur les chutes des transporteurs (LSH)<br>- Contrôle de rotation / Capteur<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes et en cas de détection, déviation du produit vers un circuit d'évacuation  |   |
| /  | Erreur humaine suite à travaux de maintenance | Défaut de montage -> Frottement par pièce métallique au niveau du transporteur |  | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Réception des travaux<br>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation, alarme sur pupitre de contrôle<br>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher   |   |
| /  | Erreur humaine suite à travaux de maintenance | Défaut de montage -> Frottement par pièce métallique au niveau du transporteur | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Réception des travaux<br>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation, alarme sur pupitre de contrôle<br>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes et en cas de détection, déviation du produit vers un circuit d'évacuation |   |
| /  | Présence d'une source d'inflammation          | Etincelle mécanique créée par le choc de corps étrangers                       | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Séparateur métallique au niveau de la réception camions (overband électromagnétique)<br>- Tout le linéaire est couvert (convoyeurs + chutes)<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes   | - Circuit biomasse locale: criblage de la biomasse avant stockage |
| /  | Présence d'une source d'inflammation          | Etincelle mécanique créée par le choc de corps étrangers                       | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | réception camions (overband électromagnétique)<br>- Tout le linéaire est couvert (convoyeurs + chutes)<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes   |   |

| N° | Cause                                | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation Remarque |
|----|--------------------------------------|---|--|--|----------------------|---|-------------------------|
|    |                                      |   |  |  |                      | Intitulé  |                         |
| /  | Présence d'une source d'inflammation | Etincelle mécanique ou échauffement dû à frottement des bandes suite à détente (perte de tension) des bandes et patinage des bandes ou suite à déport de bandes (Déplacement d'une bande et frottement contre la structure) ou suite à usure des bandes (Echauffement de bande par dégradation de la bande et surépaisseur) | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation |                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Détection de déport de bande avec alarme et arrêt des installations à confirmer</li> <li>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation, alarme sur pupitre de contrôle</li> <li>- Détection d'étincelle sur les chutes convoyeurs</li> <li>- By-pass pour évacuer le produit des convoyeurs</li> <li>- Détecteurs de bourrage au niveau des chutes des convoyeurs (LSH)</li> <li>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)</li> <li>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher</li> </ul>   |                         |
| /  | Présence d'une source d'inflammation | Etincelle mécanique ou échauffement dû à frottement des bandes suite à détente (perte de tension) des bandes et patinage des bandes ou suite à déport de bandes (Déplacement d'une bande et frottement contre la structure) ou suite à usure des bandes (Echauffement de bande par dégradation de la bande et surépaisseur) | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   |                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Détection de déport de bande avec alarme et arrêt des installations à confirmer</li> <li>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation</li> <li>- Détection d'étincelle sur les chutes convoyeurs</li> <li>- By-pass pour évacuer le produit des convoyeurs</li> <li>- Détecteurs de bourrage au niveau des chutes des convoyeurs (LSH)</li> <li>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)</li> <li>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher</li> <li>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes</li> </ul> |                         |
| /  | Présence d'une source d'inflammation | Défaillance électrique ou mécanique du moteur avec prise en feu ou échauffement du moteur suite à usure des roulements ou suite à bourrage  | Formation d'une étincelle  | Explosion de poussières et propagation | 2                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Moteur à l'extérieur du transporteur contrôle de rotation</li> <li>- Protection de surcourant dans variateur de vitesse du moteur avec alarme et arrêt de l'installation</li> <li>- Détection de déport de bande avec alarme et arrêt des installations à confirmer</li> <li>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)</li> </ul>   |                         |

| N° | Cause        | Evènement Initiateur      | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité<br>(de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation<br>Remarque |
|----|--------------|---------------------------|--|--|-------------------------|--|----------------------------|
|    |              |                           |  |  |                         | Intitulé   |                            |
| /  |              |                           | Augmentation de la température, atteinte de la TAI                         | Départ de feu couvant et propagation   | 2                       | - Moteur à l'extérieur du transporteur contrôle de rotation<br>- Protection de surcourant dans variateur de vitesse du moteur avec alarme et arrêt de l'installation<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes et en cas de détection, déviation du produit vers un circuit d'évacuation |                            |
| /  | /            | Etincelle électrostatique | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                       | - Mise à la terre<br>- Bande retardatrice de flamme et anti-statique des convoyeurs<br>- Parois au niveau des chutes en matériau anti-statique   |                            |
| /  | /            | Etincelle électrostatique |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                       | - Mise à la terre<br>- Bande retardatrice de flamme et anti-statique des convoyeurs<br>- Parois au niveau des chutes en matériau anti-statique<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes   |                            |
| /  | Malveillance | Cigarette                 | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                       | - Interdiction de fumer<br>- Transporteur capoté et en partie en hauteur   |                            |
| /  | Malveillance | Cigarette                 |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                       | - Interdiction de fumer<br>- Transporteur capoté et en partie en hauteur<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes et en cas de détection, déviation du produit vers un circuit d'évacuation   |                            |

| N°                             | Cause  | Evènement Initiateur                          | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux  | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation<br>Remarque   |
|--------------------------------|--|---|--|--|----------------------|--|--|
|                                |  |   |  |  |                      | Intitulé   |  |
| /                              | Condition climatique   | Foudre  |  | Explosion de poussières et propagation   | 2                    | - Transporteurs capotés<br>- Protection foudre   |  |
| /                              | Condition climatique   | Foudre  | Étincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Transporteurs capotés<br>- Protection foudre<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes et en cas de détection, déviation du produit vers un circuit d'évacuation |  |
| /                              | Effet domino- propagation possible depuis les équipements associés (entre les convoyeurs à bande mobiles et fixes, depuis les dômes) |   | Étincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation   | 2                    |  |  |
| /                              | Effet domino- propagation possible depuis les équipements associés (entre les convoyeurs à bande mobiles et fixes, depuis les dômes) |   |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    |  |  |
| <b>Transporteurs à chaînes</b> |  |   |  |  |                      |  |  |
| 4.3                            | Opération de transport   | Naturelle - Présence constante de poussières  | Formation d'une ATEX   | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation dans les équipements connectés ou dans le bâtiment associé | 2-3                  | - Event d'explosion sur les transporteurs à chaînes (sauf sur les transporteurs de petites longueurs)  |  |
| 4.4                            | Opération de transport   | Naturelle - Présence constante de combustible | Départ de feu  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation dans les équipements connectés ou dans le bâtiment associé        | 2-3                  | - Sprinklage sur tout le linéaire des transporteurs<br>- Mise en place de moyens d'extinction  |  |
| <b>Sources d'inflammation</b>  |  |   |  |  |                      |  |  |
| /                              | Travaux de maintenance   | Travaux par point chaud                       | Étincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation   | 2                    | - Permis de feu  | La maintenance est réalisée par des sociétés extérieures spécialisées<br>Pour les opérations de maintenance les convoyeurs sont vidés. |
| /                              | Travaux de maintenance   | Travaux par point chaud                       |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Permis de feu<br>- Détection d'étincelle asservie à une brumisation au niveau des chutes   |  |

| N° | Cause   | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité<br>(de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation<br>Remarque |
|----|---|--|--|--|-------------------------|--|----------------------------|
|    |   |  |  |  |                         | Intitulé   |                            |
| /  | Défaillance matérielle                        | Grippage de pièce mécanique ou frottement d'une pièce déformée par un corps étranger | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                       | - Contrôle de vitesse du transporteur<br>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation, alarme sur pupitre de contrôle<br>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)<br>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher |                            |
| /  | Défaillance matérielle                        | Grippage de pièce mécanique ou frottement d'une pièce déformée par un corps étranger |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                       | - Contrôle de vitesse du transporteur<br>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation, alarme sur pupitre de contrôle<br>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)<br>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher |                            |
| /  | Défaillance matérielle                        | Bourrage dans le transporteur suite à défaut en aval                                 | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                       | - Détection de bourrage sur les chutes des transporteurs (LSH)   |                            |
| /  | Défaillance matérielle                        | Bourrage dans le transporteur suite à défaut en aval                                 |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                       | - Détection de bourrage sur les chutes des transporteurs (LSH)<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes   |                            |
| /  | Erreur humaine suite à travaux de maintenance | Défaut de montage -> Frottement par pièce métallique au niveau du transporteur       | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                       | - Réception des travaux<br>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation, alarme sur pupitre de contrôle<br>- Ronde quotidienne qui permet de détecter bruits anormaux : Détection par opérateur + arrêt par le câble d'arrêt d'urgence des transporteurs   |                            |
| /  | Erreur humaine suite à travaux de maintenance | Défaut de montage -> Frottement par pièce métallique au niveau du transporteur       |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                       | - Réception des travaux<br>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation, alarme sur pupitre de contrôle<br>- Ronde quotidienne qui permet de détecter bruits anormaux : Détection par opérateur + arrêt par le câble d'arrêt d'urgence des transporteurs   |                            |

| N° | Cause                                | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation<br>Remarque |
|----|--------------------------------------|--|--|--|----------------------|--|----------------------------|
|    |                                      |  |  |  |                      | Intitulé   |                            |
| /  | Présence d'une source d'inflammation | Etincelle mécanique créée par le choc de corps étrangers   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Séparateur métallique au niveau de la réception camions<br>- Tout le linéaire est couvert (transporteurs + chutes)   |                            |
| /  | Présence d'une source d'inflammation | Etincelle mécanique créée par le choc de corps étrangers   |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Séparateur métallique au niveau de la réception camions<br>- Tout le linéaire est couvert<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes  |                            |
| /  | Présence d'une source d'inflammation | Etincelle mécanique ou échauffement dû à frottement  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Contrôle de vitesse du transporteur<br>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation, alarme sur pupitre de contrôle<br>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)<br>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher |                            |
| /  |                                      | Etincelle mécanique ou échauffement dû à frottement  |  | Départ de feu couvant et propagation   |                      | - Contrôle de vitesse du transporteur<br>- Contrôleur de rotation sur tous les transporteurs avec arrêt de l'installation, alarme sur pupitre de contrôle<br>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)<br>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher |                            |
| /  | Présence d'une source d'inflammation | Défaillance électrique ou mécanique du moteur avec prise en feu ou échauffement du moteur suite à usure des roulements ou suite à bourrage | Formation d'une étincelle  | Explosion de poussières et propagation | 2                    | - Contrôle de vitesse du transporteur<br>- Moteur en dehors du transporteur<br>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)  |                            |
| /  |                                      |  | Augmentation de la température, atteinte de la TAI                         | Départ de feu couvant et propagation   | 2                    | - Contrôle de vitesse du transporteur<br>- Moteur en dehors du transporteur<br>- Vérification annuelle des transporteurs et changement des roulements régulièrement (plan de maintenance)  |                            |

| N° | Cause  | Evènement Initiateur      | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux                    | Intensité<br>(de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation<br>Remarque   |
|----|--|---------------------------|--|--|-------------------------|--|------------------------------|
|    |  |                           |  |  |                         | Intitulé   |                              |
| /  | /  | Étincelle électrostatique | Étincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                       | - Mise à la terre  | -Faible vitesse de transport |
| /  | /  | Étincelle électrostatique |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                       | - Mise à la terre  |                              |
| /  | Malveillance   | Cigarette                 | Étincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                       | - Interdiction de fumer<br>- Transporteur capoté   |                              |
| /  | Malveillance   | Cigarette                 |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                       | - Interdiction de fumer<br>- Transporteur capoté<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes |                              |
| /  | Condition climatique   | Foudre                    | Étincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                       | - Transporteurs capotés<br>- Protection foudre   |                              |
| /  | Condition climatique   | Foudre                    |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                       | - Transporteurs capotés<br>- Protection foudre<br>- Détection d'étincelle à plusieurs endroits asservie à une brumisation au niveau des chutes   |                              |
| /  | Effet domino- propagation possible depuis les équipements associés (entre les convoyeurs à bande mobiles et fixes, depuis les dômes) |                           | Étincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières et propagation | 2                       |  |                              |
| /  | Effet domino- propagation possible depuis les équipements associés (entre les convoyeurs à bande mobiles et fixes, depuis les dômes) |                           |  | Départ de feu couvant et propagation   | 2                       |  |                              |



|   |                          |  |
|---|--------------------------|--|
| 5 | <b>Section étudiée :</b> | Tours de manutention   |
|   |                          | <i>Tours abritant des changements de direction de convoyeurs</i> |

| N°                          | Cause                            | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central | Phénomène dangereux  | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation Remarque  |
|-----------------------------|----------------------------------|--|---------------------------|--|----------------------|---|--|
|                             |                                  |  |                           |  |                      | Intitulé  |  |
| <b>Tours de manutention</b> |                                  |  |                           |  |                      |   |  |
| 5.1                         | Présence de poussières           | Naturelle, équipements (convoyeurs, connexions camions) non étanches | Formation d'une ATEX      | Explosion de poussières ou incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 2                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capotage et aspiration des poussières au niveau des chutes</li> <li>- Convoyeurs capotés</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bardage prévu seulement sur les parties hautes des tours après le premier caillebotis</li> <li>- Etages en caillebotis</li> </ul> |
| 5.2                         | Mise en suspension de poussières | Rupture de convoyeur ou d'un capotage de chute                       | Formation d'une ATEX      | Explosion de poussières ou incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 2                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sécurité des convoyeurs (bandes retardatrices de flamme et antistatiques, déport de bande, contrôleur de rotation, etc...) avec arrêt à confirmer</li> <li>- Plan de maintenance convoyeur</li> <li>- Ronde hebdomadaire permettant de détecter anomalies avec contrôle visuel, contrôle auditif et vérification température au toucher</li> <li>- Sprinklage sur tout le linéaire des convoyeurs</li> <li>- Procédure de nettoyage</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bardage prévu seulement sur les parties hautes des tours après le premier caillebotis</li> <li>- Etages en caillebotis</li> </ul> |

| N°                     | Cause                  | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux  | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation Remarque |
|------------------------|------------------------|---|--|--|----------------------|---|-------------------------|
|                        |                        |   |  |  |                      | Intitulé  |                         |
| Sources d'inflammation |                        |   |  |  |                      |   |                         |
| /                      | Travaux de maintenance | Travaux par point chaud   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Permis de feu   |                         |
| /                      | Travaux de maintenance | Travaux par point chaud   |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Permis de feu<br>- Mise en place des moyens d'extinction          |                         |
| /                      | Condition climatique   | Foudre  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Protection foudre   |                         |
| /                      | Condition climatique   | Foudre  |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Protection foudre<br>- Mise en place des moyens d'extinction      |                         |
| /                      | Malveillance           | Cigarette   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | '- Interdiction de fumer  |                         |
| /                      | Malveillance           | Cigarette   |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | '- Interdiction de fumer<br>- Mise en place des moyens d'extinction |                         |
| /                      | Défaillance matérielle | Défaillance électrique de l'éclairage ou autre circuit électrique | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Contrôles électriques   |                         |
| /                      | Défaillance matérielle | Défaillance électrique de l'éclairage ou autre circuit électrique |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Contrôles électriques<br>- Mise en place des moyens d'extinction  |                         |

| N° | Cause                  | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux  | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation<br>Remarque |
|----|------------------------|--|--|--|----------------------|---|----------------------------|
|    |                        |  |  |  |                      | Intitulé  |                            |
| /  | Défaillance matérielle | Défaillance électrique du moteur (Echauffement du moteur du moteur et/ou incendie) du convoyeur  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Moteur à l'extérieur des convoyeurs avec sonde de température et report sur la supervision<br>- Contrôleur de rotation sur les convoyeurs   |                            |
| /  | Défaillance matérielle | Défaillance électrique du moteur (Echauffement du moteur du moteur et/ou incendie) du convoyeur  |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Moteur à l'extérieur des convoyeurs<br>- Contrôleur de rotation sur les convoyeurs<br>- Mise en place des moyens d'extinction   |                            |
| /  | Défaillance matérielle | Echauffement mécanique sur convoyeur à bandes (Auto-échauffement de dépôts ou d'accumulation suite à problème d'évacuation, bourrage)  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 2                    | - Contrôleur de rotation sur les convoyeurs<br>- Détection d'étincelle sur les chutes convoyeurs<br>- By-pass pour évacuer le produit des convoyeurs<br>- Détecteurs de bourrage au niveau des chutes des convoyeurs (LSH)                          |                            |
| /  | Défaillance matérielle | Echauffement mécanique sur convoyeur à bandes (Auto-échauffement de dépôts ou d'accumulation suite à problème d'évacuation, bourrage)  |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Contrôleur de rotation sur les convoyeurs<br>- Détection d'étincelle sur les chutes convoyeurs<br>- By-pass pour évacuer le produit des convoyeurs<br>- Détecteurs de bourrage au niveau des chutes des convoyeurs (LSH)<br>- Moyens d'extinction |                            |
| /  | Effet domino           | Cf. causes d'incendie au niveau d'un équipement (notamment convoyeur de désilage/trémies de chargement camions) se trouvant au niveau de l'espace bâtiminaire ou explosion dans un espace bâtiminaire connecté | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Mise en place des moyens d'extinction   |                            |
| /  | Effet domino           | Cf. causes d'incendie au niveau d'un équipement (notamment convoyeur de désilage/trémies de chargement camions) se trouvant au niveau de l'espace bâtiminaire ou explosion dans un espace bâtiminaire connecté |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Mise en place des moyens d'extinction   |                            |

|   |                          |   |
|---|--------------------------|---|
| 6 | <b>Section étudiée :</b> | Bâtiment de stockage de la biomasse   |
|   |                          | <i>Bâtiment constitué de deux modules de stockage et de deux galeries latérales dont une abritant le convoyeur de déstockage du produit vers les convoyeurs d'alimentation chaudières</i> |

| N°                            | Cause                            | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central                                    | Phénomène dangereux  | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation Remarque |
|-------------------------------|----------------------------------|--|--|--|----------------------|---|-------------------------|
|                               |                                  |  |  |  |                      | Intitulé  |                         |
| <b>Modules de stockage</b>    |                                  |  |  |  |                      |   |                         |
| 6.1                           | Présence normale de combustible  | Naturelle - Présence constante de combustible                        | Inflammation de la matière combustible par source d'ignition | Incendie   | 3-4                  | - Moyens d'extinction du site<br>- Caméra thermique avec déclenchement du sprinklage  |                         |
| 6.2                           | Présence de poussières           | Naturelle, équipements (convoyeurs, connexions camions) non étanches | Formation d'une ATEX   | Explosion de poussières ou incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation | 3-4                  | - Aspiration des poussières au niveau du convoyeur à bandes de mise en stockage situé en hauteur<br>- Capotage du convoyeur<br>- Nettoyage régulier des espaces bâtimentaires (plan de nettoyage)<br>- Ronde de surveillance des convoyeurs de mise en stockage et de celui de déstockage   |                         |
| 6.3                           | Mise en suspension de poussières | Rupture de convoyeur   | Formation d'une ATEX   | Explosion de poussières ou incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation | 3-4                  | - Sécurité du convoyeur (bandes retardatrices de flamme et antistatiques, déport de bande, contrôleur de rotation, etc...) avec report et arrêt<br>- Détection d'étincelle sur le convoyeur de mise en stock du produit<br>- Plan de maintenance convoyeur<br>- Ronde de surveillance des convoyeurs de mise en stockage et de celui de déstockage<br>- Sprinklage sur tout le linéaire des convoyeurs<br>- Procédure de nettoyage  |                         |
| 6.4                           | Mise en suspension de poussières | Explosion primaire dans une galerie latérale                         | Formation d'une ATEX   | Explosion secondaire de poussières en cas d'explosion dans une galerie latérale            | 3-4                  | - Capotage du convoyeur de déstockage (celui dans la galerie)<br>- Sécurité du convoyeur de déstockage (bandes retardatrices de flamme et antistatiques, déport de bande, contrôleur de rotation, contrôle température etc...) avec report et arrêt<br>- Détection d'étincelle au niveau du transporteur de mise en stock du produit et au niveau des chutes des transporteurs à vis pour le désilage du produit<br>- Plan de maintenance convoyeur<br>- Ronde de surveillance des convoyeurs de mise en stockage et de celui de déstockage<br>- Sprinklage sur tout le linéaire des convoyeurs<br>- Procédure de nettoyage |                         |
| <b>Sources d'inflammation</b> |                                  |  |  |  |                      |   |                         |

| N° | Cause                  | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux  | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation Remarque |
|----|------------------------|---|--|--|----------------------|--|-------------------------|
|    |                        |   |  |  |                      | Intitulé   |                         |
| /  | Travaux de maintenance | Travaux par point chaud   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Permis de feu  |                         |
| /  | Travaux de maintenance | Travaux par point chaud   |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Permis de feu<br>- Mise en place des moyens d'extinction         |                         |
| /  | Condition climatique   | Foudre  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Protection foudre  |                         |
| /  | Condition climatique   | Foudre  |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Protection foudre<br>- Mise en place des moyens d'extinction     |                         |
| /  | Malveillance           | Cigarette   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Interdiction de fumer  |                         |
| /  | Malveillance           | Cigarette   |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Interdiction de fumer<br>- Mise en place des moyens d'extinction |                         |
| /  | Défaillance matérielle | Défaillance électrique de l'éclairage ou autre circuit électrique | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Contrôles électriques  |                         |
| /  | Défaillance matérielle | Défaillance électrique de l'éclairage ou autre circuit électrique |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Contrôles électriques<br>- Mise en place des moyens d'extinction |                         |

| N° | Cause                  | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux  | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation Remarque |
|----|------------------------|--|--|--|----------------------|--|-------------------------|
|    |                        |  |  |  |                      | Intitulé   |                         |
| /  | Défaillance matérielle | Défaillance électrique du moteur (Echauffement du moteur du moteur et/ou incendie) du convoyeur ou d'un transporteur à vis de fond de silo   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Moteur à l'extérieur du convoyeur/transporteur à vis avec sonde de température et report sur la supervision<br>- Contrôleur de rotation sur le convoyeur/transporteur à vis avec arrêt de l'installation<br>- détection d'étincelle sur les transporteurs à vis<br>- Détection d'étincelle sur le convoyeur de mise en stock du produit                              |                         |
| /  | Défaillance matérielle | Défaillance électrique du moteur (Echauffement du moteur du moteur et/ou incendie) du convoyeur ou d'un transporteur à vis de fond de silo   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Moteur à l'extérieur du convoyeur/transporteur à vis avec sonde de température et report sur la supervision<br>- Contrôleur de rotation sur le convoyeur et sur le transporteur avec arrêt de l'installation<br>- détection d'étincelle sur les transporteurs à vis<br>- Détection d'étincelle sur le convoyeur de mise en stock du produit<br>- Moyens d'extinction |                         |
| /  | Défaillance matérielle | Echauffement mécanique d'une vis sans fin de fond de silo ou échauffement mécanique sur convoyeur à bandes   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 2                    | - Contrôleur de rotation sur le transporteur et le convoyeur avec arrêt de l'installation<br>- détection d'étincelle sur les transporteurs à vis<br>- Détection d'étincelle sur le convoyeur de mise en stock du produit<br>- Détecteur de bourrage sur convoyeurs   |                         |
| /  | Défaillance matérielle | Echauffement mécanique d'une vis sans fin de fond de silo ou échauffement mécanique sur convoyeur à bandes   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Contrôleur de rotation sur le transporteur et le convoyeur avec arrêt de l'installation<br>- détection d'étincelle sur les transporteurs à vis<br>- Détection d'étincelle sur le convoyeur de mise en stock du produit<br>- Détecteur de bourrage sur convoyeurs<br>- Moyens d'extinction  |                         |
| /  | Effet domino           | Cf. causes d'incendie au niveau d'un équipement (notamment convoyeur de désilage/trémies de chargement camions) se trouvant au niveau de l'espace bâtiminaire ou explosion dans un espace bâtiminaire connecté | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou                          | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Mise en place des moyens d'extinction  |                         |

| N° | Cause        | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central | Phénomène dangereux   | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité                   | Recommandation Remarque |
|----|--------------|--|---------------------------|---|----------------------|---|-------------------------|
|    |              |  |                           |   |                      | Intitulé                                |                         |
| /  | Effet domino | Cf. causes d'incendie au niveau d'un équipement (notamment convoyeur de désilage/trémies de chargement camions) se trouvant au niveau de l'espace bâtiminaire ou explosion dans un espace bâtiminaire connecté | Montée en température     | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 2                    | - Mise en place des moyens d'extinction |                         |

| N°  | Cause                  | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux  | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation Remarque |
|---|------------------------|---|--|--|----------------------|--|-------------------------|
|   |                        |   |  |  |                      | Intitulé   |                         |
| Galerie latérale abritant le convoyeur à bandes réceptionnant le produit des transporteurs à vis et transportant le produit vers les chaudières |                        |   |  |  |                      |  |                         |
| 6.5   | Présence de poussières | Naturelle - Présence constante de poussières                      | Formation d'une ATEX   | Explosion de poussières ou incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 2-3                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capotage du convoyeur de déstockage (celui dans la galerie)</li> <li>- Aspiration des poussières au niveau du convoyeur à bandes de déstockage</li> <li>- Sécurité du convoyeur de déstockage (bandes retardatrices de flamme et antistatiques, déport de bande, contrôleur de rotation, contrôle température etc...)</li> <li>avec report et arrêt</li> <li>- Plan de maintenance convoyeur</li> <li>- Détection d'étincelle au niveau des chutes des transporteurs à vis pour le désilage du produit</li> <li>- Ronde de surveillance des convoyeurs de mise en stockage et de celui de déstockage</li> <li>- Sprinklage sur tout le linéaire des convoyeurs</li> <li>- Procédure de nettoyage</li> </ul> |                         |
| Sources d'inflammation  |                        |   |  |  |                      |  |                         |
| /   | Travaux de maintenance | Travaux par point chaud   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés                     | 2-3                  | - Permis de feu  |                         |
| /   | Travaux de maintenance | Travaux par point chaud   |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés                            | 2-3                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permis de feu</li> <li>- Mise en place des moyens d'extinction</li> <li>- Sprinklage du T116</li> </ul>   |                         |
| /   | Condition climatique   | Foudre  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés                     | 2-3                  | - Protection foudre  |                         |
| /   | Condition climatique   | Foudre  |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés                            | 2-3                  | - Protection foudre  |                         |
| /   | Malveillance           | Cigarette   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés                     | 3                    | - Interdiction de fumer  |                         |
| /   | Malveillance           | Cigarette   |  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés                            | 2                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interdiction de fumer</li> <li>- Mise en place des moyens d'extinction</li> </ul>   |                         |
| /   | Défaillance matérielle | Défaillance électrique de l'éclairage ou autre circuit électrique | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI                                | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés                     | 3                    | - Contrôles électriques  |                         |



| N° | Cause                  | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux  | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation<br>Remarque |
|----|------------------------|--|--|--|----------------------|--|----------------------------|
|    |                        |  |  |  |                      | Intitulé   |                            |
| /  | Défaillance matérielle | Défaillance électrique de l'éclairage ou autre circuit électrique  | Ou<br>Montée en température  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Contrôles électriques<br>- Mise en place des moyens d'extinction   |                            |
| /  | Défaillance matérielle | Défaillance électrique du moteur (Echauffement du moteur du moteur et/ou incendie) du convoyeur  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Moteur à l'extérieur du convoyeur<br>- Contrôleur de rotation sur le convoyeur/transporteur à vis avec arrêt de l'installation   |                            |
| /  | Défaillance matérielle | Défaillance électrique du moteur (Echauffement du moteur du moteur et/ou incendie) du convoyeur  | Montée en température  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Moteur à l'extérieur du convoyeur<br>- Contrôleur de rotation sur le convoyeur et sur le transporteur avec arrêt de l'installation<br>- Moyens d'extinction  |                            |
| /  | Défaillance matérielle | Echauffement mécanique sur convoyeur à bandes (Auto-échauffement de dépôts ou d'accumulation suite à problème d'évacuation, bourrage)  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 2                    | - Contrôleur de rotation sur le transporteur et le convoyeur avec arrêt de l'installation<br>- Détection d'étincelle au niveau des chutes des transporteurs à vis pour le désilage du produit<br>- Détecteur de bourrage au niveau de la chute du convoyeur à vis LSH                          |                            |
| /  | Défaillance matérielle | Echauffement mécanique sur convoyeur à bandes (Auto-échauffement de dépôts ou d'accumulation suite à problème d'évacuation, bourrage)  | Montée en température  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Contrôleur de rotation sur le transporteur et le convoyeur avec arrêt de l'installation<br>- Détection d'étincelle au niveau des chutes des transporteurs à vis pour le désilage du produit<br>- Détecteur de bourrage au niveau de la chute du convoyeur à vis LSH<br>- Moyens d'extinction |                            |
| /  | Effet domino           | Cf. causes d'incendie au niveau d'un équipement (notamment convoyeur de désilage/trémies de chargement camions) se trouvant au niveau de l'espace bâtiminaire ou explosion dans un espace bâtiminaire connecté | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés | 3                    | - Mise en place des moyens d'extinction  |                            |
| /  | Effet domino           | Cf. causes d'incendie au niveau d'un équipement (notamment convoyeur de désilage/trémies de chargement camions) se trouvant au niveau de l'espace bâtiminaire ou explosion dans un espace bâtiminaire connecté | Montée en température  | Incendie couvant en cas de présence d'une source d'inflammation et propagation vers les espaces connectés        | 2                    | - Mise en place des moyens d'extinction  |                            |

|   |                          |   |
|---|--------------------------|---|
| 7 | <b>Section étudiée :</b> | Système de dépoussiérage  |
|   |                          | Dépoussiérage par filtres à manche : 1 système pour les 2 silos, 1 système pour le déchargement des pellets, 1 système pour le déchargement de la biomasse locale, 1 système pour les transporteurs à bande de mise en stock et de déstockage dans le bâtiment de stockage de la biomasse, plusieurs systèmes pour les convoyeurs |

| N°               | Cause                                | Evènement Initiateur   | Evènement Redouté Central | Phénomène dangereux   | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation Remarque                                      |
|------------------|--------------------------------------|--|---------------------------|---|----------------------|--|--|
|                  |                                      |  |                           |   |                      | Intitulé   |  |
| Filtre à manches |                                      |  |                           |   |                      |  |  |
| 7.1              | Présence de poussières en suspension | Naturelle – Constante dans l'installations de dépoussiérage                  | Formation d'une ATEX      | Explosion de poussières ou d'incendie dans le filtre à manches et possibilité d'explosion dans l'équipement dépoussiéré (si présence d'une source d'inflammation) | 2                    | - Panneaux d'explosion sur le filtre<br>- Clapet anti-retour à l'entrée<br>- SAS alvéolaire pour compartimenter et évacuer les poussières                        |  |
| 7.2              | Présence de poussières en suspension | Cycle de décolmatage des manches   | Formation d'une ATEX      | Explosion de poussières ou d'incendie dans le filtre à manches et possibilité d'explosion dans l'équipement dépoussiéré (si présence d'une source d'inflammation) | 2                    | - Panneaux d'explosion sur le filtre<br>- Clapet anti-retour à l'entrée<br>- SAS alvéolaire pour compartimenter et évacuer les poussières                        |  |
| 7.3              | Présence de poussières en suspension | Air empoussiéré dans le circuit air propre suite au détachement d'une manche | Formation d'une ATEX      | Explosion de poussières ou d'incendie dans le filtre à manches et possibilité d'explosion dans l'équipement dépoussiéré (si présence d'une source d'inflammation) | 2                    | -Mesure de dépression qui permet de constater une défaillance au niveau du filtre à manches avec alarme<br>- Maintenance par le fournisseur<br>- Ronde opérateur | Dépoussiérage en downstream (poussières tombent par gravité) |

| N°                     | Cause                                | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux   | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité  | Recommandation<br>Remarque   |
|------------------------|--------------------------------------|---|--|---|----------------------|--|--|
|                        |                                      |   |  |   |                      | Intitulé   |  |
| 7.4                    | Présence de poussières en suspension | Perforation d'une manche  | Formation d'une ATEX   | Explosion de poussières ou d'incendie dans le filtre à manches et possibilité d'explosion dans l'équipement dépoussiéré (si présence d'une source d'inflammation) | 2                    | -Mesure de dépression qui permet de constater une défaillance au niveau du filtre à manches avec alarme<br>- Maintenance par le fournisseur<br>- Ronde opérateur             | - Filtres de forme cylindrique sans zones angulaires (vitesse limitée entraînant dépôts) |
| Sources d'inflammation |                                      |   |  |   |                      |  |  |
| /                      | Travaux de maintenance               | Travaux par point chaud   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | /   | 2                    | -Pas de travaux par point chaud dans un filtre<br>- Clapet étanche aux flammes à l'entrée<br>- Détection d'étincelles à l'entrée du filtre et extinction en cas de détection |  |
| /                      | Travaux de maintenance               | Travaux par point chaud   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | /   | 2                    | -Pas de travaux par point chaud dans un filtre<br>- Clapet étanche aux flammes à l'entrée<br>- Détection d'étincelles à l'entrée du filtre et extinction en cas de détection |  |
| /                      | Défaillance matérielle               | Etincelle mécanique créée par le choc de corps étrangers sur les parois | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières dans le filtre à manches et possibilité d'explosion dans l'équipement dépoussiéré   | 2                    | - Détection d'étincelles à l'entrée du filtre et extinction en cas de détection  |  |
| /                      | Défaillance matérielle               | Etincelle mécanique créée par le choc de corps étrangers sur les parois | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Incendie dans le dépoussiéreur et propagation   | 2                    | - Détection d'étincelles à l'entrée du filtre et extinction en cas de détection  |  |

| N° | Cause                  | Evènement Initiateur  | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux   | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation<br>Remarque   |
|----|------------------------|---|--|---|----------------------|---|--|
|    |                        |   |  |   |                      | Intitulé  |  |
| /  | Défaillance matérielle | Auto-échauffement de dépôts ou d'accumulation suite à problème d'évacuation | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières dans le filtre à manches et possibilité d'explosion dans l'équipement dépoussiéré | 2                    | - Cycle de décolmatage séquentiel par air comprimé  |  |
| /  | Défaillance matérielle | Auto-échauffement de dépôts ou d'accumulation suite à problème d'évacuation | Montée en température  | Incendie dans le dépoussiéreur et propagation   | 2                    | - Cycle de décolmatage séquentiel par air comprimé  |  |
| /  | Défaillance matérielle | Etincelle électrostatique   | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières dans le filtre à manches et possibilité d'explosion dans l'équipement dépoussiéré | 2                    | - Mise à la terre du filtre<br>- Manches antistatiques<br>- Détection d'étincelles à l'entrée du filtre et extinction en cas de détection |  |
| /  | Défaillance matérielle | Etincelle électrostatique   | Montée en température  | Incendie dans le dépoussiéreur et propagation   | 2                    | - Mise à la terre du filtre<br>- Manches antistatiques<br>- Détection d'étincelles à l'entrée du filtre et extinction en cas de détection |  |
| /  | Défaillance matérielle | Frottement mécanique dû au ventilateur                                      | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières dans le filtre à manches et possibilité d'explosion dans l'équipement dépoussiéré | 2                    | - Ventilateurs placés en air propre<br>- Détection d'étincelles à l'entrée du filtre et extinction en cas de détection                    |  |
| /  | Défaillance matérielle | Frottement mécanique dû au ventilateur                                      | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Incendie dans le dépoussiéreur et propagation   | 2                    | - Ventilateurs placés en air propre<br>- Détection d'étincelles à l'entrée du filtre et extinction en cas de détection                    | - Sprinklage au niveau des tuyauteries d'aspiration et des filtres à confirmer |
| /  | Condition climatique   | Foudre  | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou                          | Explosion de poussières dans le filtre à manches et possibilité d'explosion dans l'équipement dépoussiéré | 2                    | - Protection foudre   |  |

| N° | Cause                | Evènement Initiateur | Evènement Redouté Central  | Phénomène dangereux   | Intensité (de 1 à 4) | Barrières de sécurité   | Recommandation Remarque |
|----|----------------------|----------------------|--|---|----------------------|---|-------------------------|
|    |                      |                      |  |   |                      | Intitulé  |                         |
| /  | Condition climatique | Foudre               | Montée en température  | Incendie dans le dépoussiéreur et propagation   | 2                    | - Protection foudre   |                         |
| /  | Effets domino        |                      | Etincelle d'une énergie de l'ordre de l'EMI<br>Ou<br>Montée en température | Explosion de poussières dans le filtre à manches et possibilité d'explosion dans l'équipement dépoussiéré | 2                    | - Clapet étanche aux flammes à l'entrée<br>- Détection d'étincelles à l'entrée du filtre et extinction en cas de détection<br>- Panneaux d'explosion sur le filtre<br>- Clapet anti-retour à l'entrée<br>- SAS alvéolaire pour compartimenter et évacuer les poussières |                         |
| /  | Effets domino        |                      |  | Incendie dans le dépoussiéreur et propagation   | 2                    | - Clapet étanche aux flammes à l'entrée<br>- Détection d'étincelles à l'entrée du filtre et extinction en cas de détection  |                         |



(ID Modèle = 454988)

Ineris - 203143 - 2410424 - v1.0

19/11/2020

## **Calculs des effets de pression externes pour un scénario d'explosion dans un silo de pellets**

ALBIOMA

## **PRÉAMBULE**

Le présent document a été établi sur la base des informations transmises à l'Ineris. 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 fournies.

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 présent document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La prestation ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser le document après cette date.

L'établissement du présent document et la prestation associée sont réalisés dans le cadre d'une obligation de moyens.

Au vu de la mission qui incombe à l'Ineris au titre de l'article R131-36 du Code de l'environnement, celui-ci n'est pas décideur. Ainsi, les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre de cette prestation ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur. 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 présent 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 toute utilisation du document en dehors de son objet.

En cas de contradiction entre les conditions générales de vente et les stipulations du présent préambule, les stipulations du présent préambule prévalent sur les stipulations des conditions générales de vente.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction des Risques Accidentels

Rédaction : SARRIQUET Aurore -

Vérification : BOLVIN CHRISTOPHE

Approbation : Document approuvé le 19/11/2020 par PIQUETTE BERNARD

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

## Table des matières

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Introduction .....   | 5  |
| 2     | Description du silo et hypothèses générales .....  | 6  |
| 3     | Méthodes et outils de calcul mis en œuvre .....  | 9  |
| 3.1   | Outil de calcul de la pression interne : EFFEX .....   | 9  |
| 3.2   | Outil de calcul de Mécanique des Fluides Numériques et méthode d'emploi.....                               | 12 |
| 3.2.1 | Outil .....  | 12 |
| 3.2.2 | Moyens de calcul .....   | 12 |
| 3.2.3 | Démarche de modélisation du cas .....  | 12 |
| 4     | Résultats.....   | 15 |
| 4.1   | Calcul de l'évolution de la pression interne .....   | 15 |
| 4.2   | Calcul des effets de pression externe avec une approche basée sur la Mécanique des Fluides Numérique ..... | 15 |
| 4.2.1 | Calibration du calcul .....  | 15 |
| 4.2.2 | Calcul des effets externes liés à une explosion en silo .....  | 16 |
| 5     | Conclusions .....  | 19 |
| 6     | Références .....   | 20 |



**Résumé :**

**ALBIOMA projette d'installer deux silos de pellets de 7500 m<sup>3</sup> sur l'île de la Réunion. La présente étude vise à quantifier les effets de pression externes induits par une explosion accidentelle de fines de pellets en silo. Cette quantification est menée par une approche intégrant la Mécanique des Fluides Numérique.**

**Pour citer ce document :**

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, , Verneuil-en-Halatte : Ineris - 203143 - 2410424 - v1.0, 19/11/2020.

**Mots-clés :**

Silo, pellets, explosion, mécanique des fluides numérique

# 1 Introduction

Sur l'île de la Réunion, la société Albioma exploite plusieurs chaufferies dont celle du site du Gol. Plusieurs conceptions de nouveaux silos stockant des « pellets » sont actuellement à l'état de projet.

Des scénarios d'explosion interne aux silos et liés à la mise en suspension de la matière combustible ont été identifiés.

Une stratégie d'éventage est prévue de sorte à pouvoir conserver l'intégrité des silos mais cette approche génère des effets de surpression.

Dans le cadre de précédents échanges Albioma/INERIS liés à une stratégie d'éventage en hauteur et sur un côté privilégié du silo de 7500 m<sup>3</sup>, l'INERIS a alerté d'un risque de non tenue du silo du fait d'un moment important pouvant s'exercer sur le silo en raison d'une poussée générée en hauteur de manière dissymétrique. Si cette solution est retenue par Albioma, la tenue mécanique du silo aux effets de l'explosion doit être démontrée.

À la suite de cet échange Albioma est revenu vers l'INERIS avec un projet d'installation d'évents sur le toit du silo cylindrique de 7500 m<sup>3</sup>.

L'INERIS a proposé et mis en œuvre pour ce silo une démarche avec une approche visant à déterminer les zones d'effet autour du silo, en deux temps, avec :

- une caractérisation de l'évolution de la pression interne d'explosion comme précédemment,
- une caractérisation des effets de pression externes à l'aide des résultats de ce calcul et d'un outil de Mécanique des Fluides Numérique (ou Computational Fluid Dynamics en anglais) permettant d'intégrer l'effet des spécificités géométriques du silo considéré.

Cette étude fait suite :

- A l'envoi de l'offre Ineris - 200838 - 1814846 - v1.0 le 26 novembre 2019,
- A l'envoi de l'offre revue Ineris - 200838 - 1814846 - v2.0 le 14 janvier 2020,
- A l'envoi de la commande P373-EF00-001-A par Albioma le 15 janvier 2020,
- Au point téléphonique Ineris/Albioma le 25 février 2020.

## 2 Description du silo et hypothèses générales

Le silo considéré dans l'étude est de forme cylindrique. Son diamètre interne est de 25 m (Figure 1) et ses parois latérales en béton sont hautes de 21 m.

Le silo est surmonté d'une structure métallique permettant de fixer les convoyeurs de pellets (Figure 2 et Figure 3).

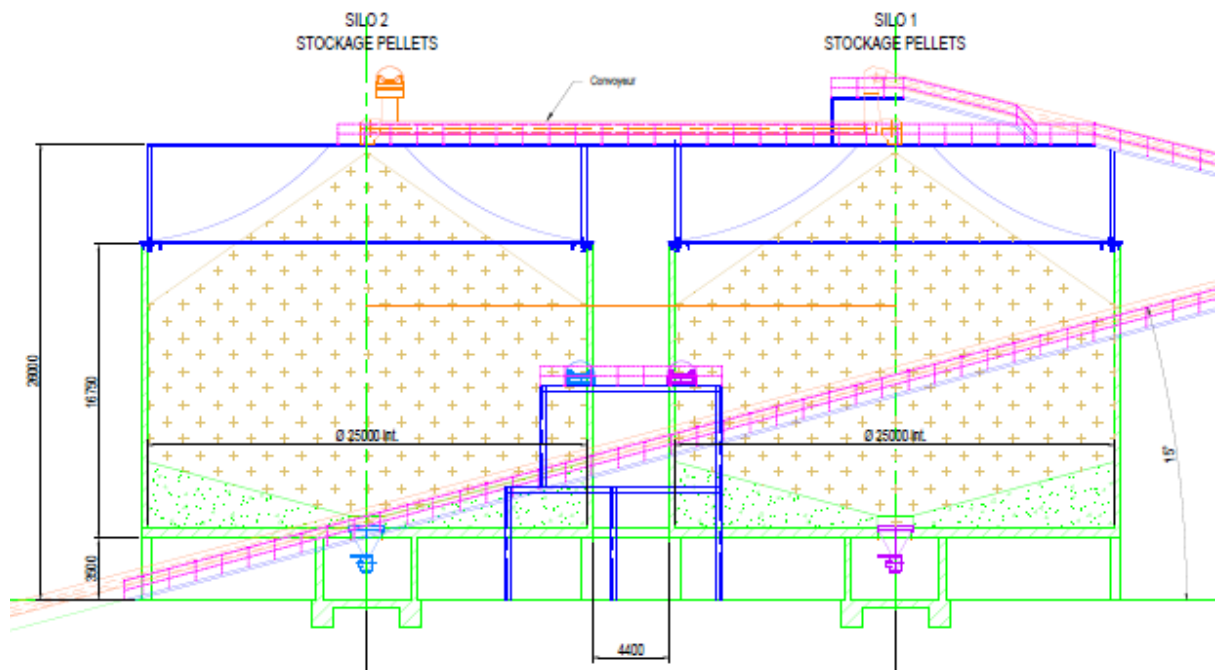
Une tour de manutention de 3,60 m de large, 7,25 m de long et 3 m de haut est située à 6 m de haut par rapport au sommet des parois latérales du silo et localisée au-dessus de l'axe de symétrie du silo (Figure 3).

Une jupe est arrimée au sommet des parois en béton du silo et à l'orifice de déversage des pellets. D'après ALBIOMA, la pression de rupture de cette jupe est de l'ordre de 100 mbar. Notons que la pression de tenue de cette bâche doit être suffisamment importante pour résister à l'arrachement par le vent.

Le volume interne du silo, intégrant la partie sous jupe, est de l'ordre de 9900 m<sup>3</sup>.

Dans cette étude, il est considéré que l'intégralité du volume du silo (9900 m<sup>3</sup>) peut être rempli d'une ATEX poussières/air.

Il est également supposé que le silo résiste au chargement en surpression interne calculé par la suite.



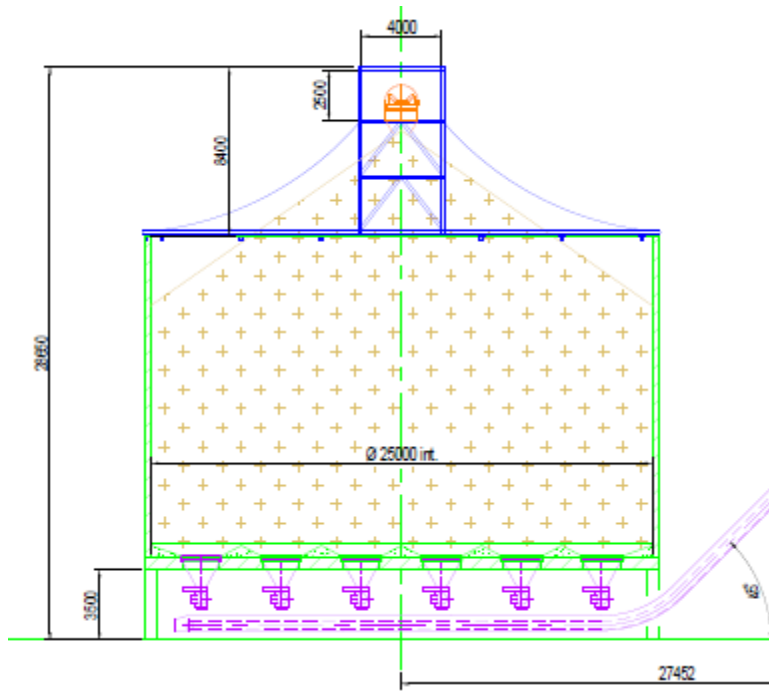


Figure 1 : Vues en coupe du silo et de son système d'alimentation

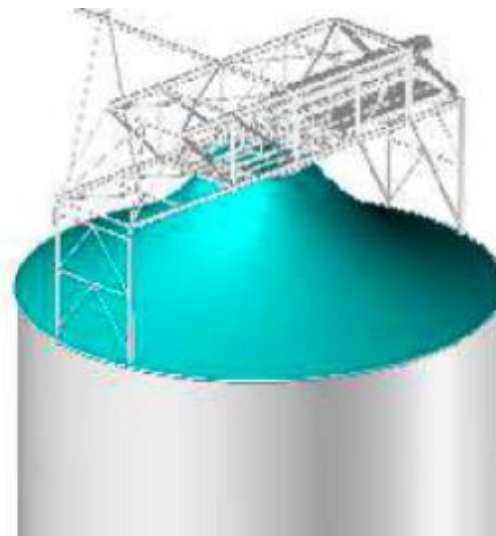


Figure 2 : Vue d'artiste de l'extérieur du silo. En bleu : jupe souple.

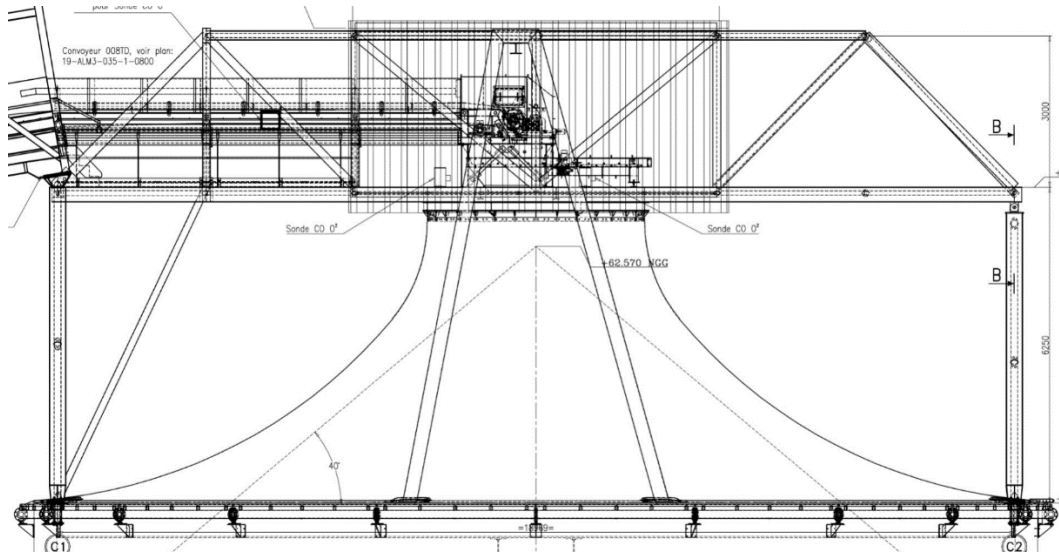


Figure 3 : Détails sur le sommet du silo.

### 3 Méthodes et outils de calcul mis en œuvre

L'approche de modélisation mise en œuvre dans cette étude, en deux étapes, comporte un premier calcul de la pression d'explosion dans le silo avec EFFEX pour déterminer l'évolution temporelle de la pression interne. Cet outil rend compte de la compétition entre la montée en pression liée à la propagation de la flamme et d'une décharge par ouverture progressive de l'évent. Un second calcul est mené en intégrant la spécificité géométrique via le principe suivant : l'énergie de pression (énergie de Brode) est déposée à l'intérieur du silo, puis un calcul de décharge à travers l'évent est réalisé à l'aide d'un outil CFD. Ceci revient à une situation où l'ensemble de l'inventaire du silo est brûlé à l'intérieur en atteignant une pression limitée par l'ouverture de l'évent.

En pratique le calcul CFD est effectué en initialisant en tout point localisé au sein du silo une température de l'ordre de 2000 K, un mélange de gaz brûlés (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) et une pression égale à celle quantifiée par la méthode EFFEX.

Le calcul CFD rend compte de la génération d'un champ de pression externe par dépressurisation progressive du silo à travers l'évent.

Le but de cette approche n'est pas de rendre compte d'une situation réaliste mais de traiter une situation physique simple demeurant dimensionnante.

La figure ci-dessous représente la différence géométrique entre une approche forfaitaire et une approche CFD.

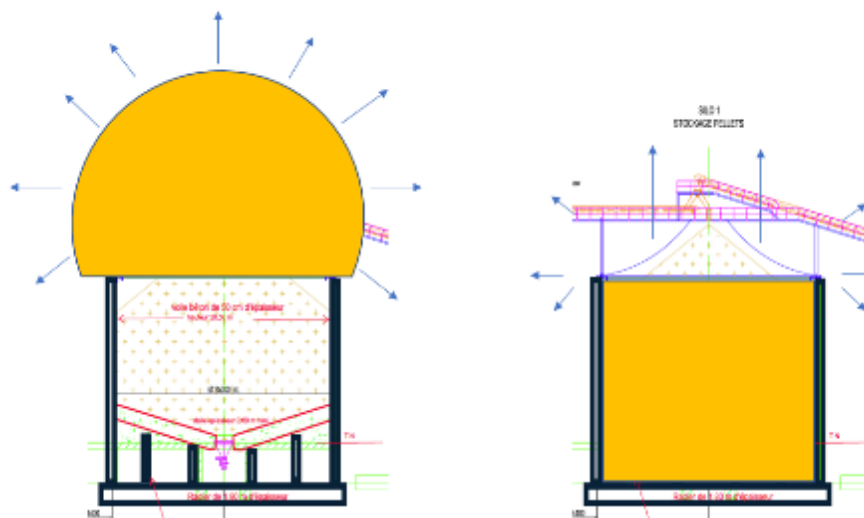


Figure 4 : Mode de dépôt d'énergie de pression (en jaune) pour chaque approche et effets de décharge relatifs (flèches bleues). Gauche : avec approche forfaitaire. Droite : avec approche CFD.

Les parties ci-après détaillent les spécificités des outils de calcul mis en œuvre et les hypothèses associées.

#### 3.1 Outil de calcul de la pression interne : EFFEX

Les explosions sont modélisées à l'aide de l'outil EFFEX, développé à l'INERIS depuis le début des années 90. La description des modèles intégrés dans le code est réalisée autour d'une présentation de la phénoménologie de l'explosion d'un nuage de poussière confiné. Le code EFFEX est depuis son origine spécifiquement dédié à l'étude d'une explosion dans une enceinte confinée ou semi-confinée. Il a fait l'objet de travaux de validation depuis de nombreuses années (Proust, 2000). Cet outil permet d'évaluer la montée en pression dans le confinement en tenant compte de la réactivité du mélange inflammable, de la géométrie et des ouvertures présentes en permanence. Il repose donc entièrement sur un ensemble de modèles physiques permettant de décrire les mécanismes fondamentaux intervenant pendant l'explosion confinée ou partiellement confinée.

La situation type est celle d'une fuite d'un nuage de particules en suspension dans un espace confiné ou semi-confiné. Un mélange combustible réactifs-air se forme. La taille, la composition et le niveau interne d'agitation (la « turbulence ») dépendent de la typologie du nuage et des caractéristiques géométriques du confinement. Si une source d'inflammation adéquate est présente à l'intérieur de la zone inflammable du nuage, celui-ci s'enflamme et une flamme se propage de proche en proche à partir du point d'inflammation. La Figure 5 illustre le développement de la flamme dans le confinement.

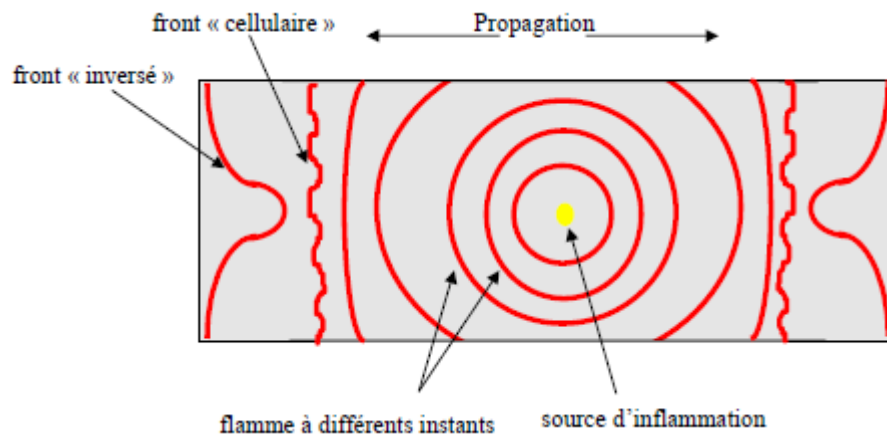


Figure 5 : Évolution du front de flamme en fonction du temps

La flamme se développe sphériquement autour de la source d'inflammation. Sur son passage, elle transforme quasi-instantanément les réactifs froids en produits de combustion très chauds (typiquement de 1000 à 2000°C) ce qui se traduit par une forte expansion volumique des gaz brûlés.

L'excédent de volume produit par unité de temps est proportionnel :

- à la surface de la flamme,
- au taux de combustion exprimée en m<sup>3</sup>/s de réactif consommé par unité de surface de flamme (Ce paramètre a la dimension d'une vitesse et est souvent appelé « vitesse de combustion »,
- au rapport d'expansion volumique.

Ce processus est directement responsable de l'augmentation de la pression dans l'enceinte. La vitesse d'augmentation de la surpression est d'autant plus grande que les trois paramètres précédents sont importants.

L'augmentation de la pression une l'enceinte complètement ou partiellement confinée, entre deux instants successifs est proportionnelle à la quantité de volume de gaz produits par la combustion, réduite de la quantité de gaz rejetée à l'extérieur par les ouvertures. Dans le code de calcul EFFEX, la courbe d'augmentation de la pression en fonction du temps est estimée par l'équation suivante, basée sur les travaux de Lewis et Von Elbe (1987) :

$$\frac{1}{P} \frac{dP}{dt} = \frac{Q_{produit} - Q_{perdu}}{\gamma \cdot V} \quad (3-1)$$

où  $P$ ,  $V$  et  $\gamma$  sont la pression dans l'enceinte, son volume et le rapport des chaleurs spécifiques du mélange gazeux.  $Q_{produit}$  et  $Q_{perdu}$  sont respectivement les débits volumiques produits par la combustion et perdus par les ouvertures.

Le volume de gaz produit est fonction de la surface de la flamme  $A_f$ , de la vitesse de combustion  $St$  et du taux d'expansion des produits de combustion  $E$  :

$$V_{produit} = St \cdot A_f \cdot (E - 1) \quad (3-2)$$

Les effets de l'explosion dépendent donc à la fois des produits qui réagissent (vitesse de flamme, taux d'expansion) et de leur environnement (volumes libres, ouvertures, turbulence...).

En milieu confiné ou non, les effets d'une explosion sont d'autant plus marqués que le taux d'expansion thermique  $E$  des produits de combustion est grand et que la vitesse de transformation des réactifs  $S_t$  en produits de combustion est importante.

En principe, le taux d'expansion volumique  $E$  d'une particule fluide traversant la flamme est une donnée thermodynamique qui ne dépend que de la quantité de chaleur libérée par la combustion. Le taux d'expansion volumique  $E$  est un paramètre fondamental intrinsèque dépendant essentiellement de la composition du mélange et peu de la manière dont la flamme se propage.

La combustion obéit aux lois classiques de la thermocinétique (équilibre thermodynamique, lois d'Arrhenius). Comme tous ces paramètres sont des propriétés intrinsèques du mélange, la vitesse de combustion doit être également une propriété intrinsèque du mélange. Cette vitesse qu'on peut également voir comme le taux de consommation des réactifs exprimée en  $m^3$  de mélange consommé par  $m^2$  de surface et par unité de temps est « la vitesse de combustion laminaire » ou « vitesse fondamentale de flamme »,  $S_{lad}$ . Cette vitesse a un rôle fondamental dans la plupart des processus de combustion. Sa caractérisation est relativement complexe dans le cas des poussières mais plusieurs mesures expérimentales sont disponibles dans la littérature scientifique (par exemple voir les travaux de Proust et al. en 1988 et 1993 ou Krause et al. de 1996) Pour les poussières organiques usuelles (farines agro-alimentaires, biomasse), elle est en général comprise entre 0,15 et 0,35 m/s. La vitesse de combustion laminaire  $S_{lad}$  correspond toutefois à une situation où le mélange réactif est au repos et les effets de l'explosion seront limités au maximum. Il est nécessaire d'introduire l'effet de la turbulence du nuage sur l'explosion qui est susceptible de multiplier la vitesse de combustion par un facteur, typiquement de l'ordre de 10 à 20 dans la plupart des situations industrielles, pour obtenir le terme  $S_t$  utilisé dans l'équation (3-2). Les mécanismes de la turbulence, toujours présente en réalité, ont une incidence généralement positive sur la diffusion de la chaleur vers les réactifs et favorisent la propagation de la flamme.

Enfin la surface de la flamme subit de profondes modifications au cours de la propagation. Dans l'exemple de la Figure 5, où l'enceinte est un cylindre ou un parallélépipède allongé, la flamme se développe approximativement de façon sphérique jusqu'à ce que le front atteigne les parois les plus proches. À leur contact, les portions de la flamme concernées disparaissent et ne subsistent que deux calottes qui se propagent dans des directions opposées. Même pendant cette phase, la surface du front peut évoluer par exemple en devenant cellulaire (couverte de bosses : Figure 5) ou en s'incurvant vers les produits de combustion sous l'effet vraisemblable d'instabilités de Landau-Darrieus. L'allongement relatif de l'enceinte a une incidence sur ce type de comportement (Markstein, 1964). Avec le modèle majorant intégré dans le code EFFEX, on considère que la surface de flamme est égale à 2 fois la section de l'enceinte qui subit l'explosion (ce qui correspond à la surface de la plus grande demi-sphère inscrite dans la section de l'enceinte).

L'évolution de la surpression interne de l'enceinte est considérée comme homogène dans le volume et uniquement due à l'expansion des produits de combustion. Cette hypothèse forte est vérifiée tant que le rapport d'aspect du confinement (longueur de l'enceinte/diamètre hydraulique) est inférieur à 20, et la vitesse de flamme suffisamment faible (<30 m/s), ce qui est le cas dans tous les calculs réalisés dans le cadre de cette étude.

Lorsqu'un événement s'ouvre sur un silo, la surpression dans l'enceinte est le résultat de la compétition entre la production de gaz brûlés chauds par la flamme et la capacité de dépressurisation de l'enceinte par l'événement. Cette surpression traduit directement le bilan entre le débit de production de gaz brûlés par la flamme et le débit de gaz évacué par l'événement. Dans le code, on estime donc un débit volumique à partir de la surface ouverte et de la différence de pression entre l'intérieur de l'enceinte (le silo) et l'extérieur (l'atmosphère).



## 3.2 Outil de calcul de Mécanique des Fluides Numériques et méthode d'emploi

### 3.2.1 Outil

Afin de prendre en compte le caractère directionnel de la décharge à travers l'évent et son impact sur le champ de pression, l'INERIS propose de mettre en œuvre une démarche de modélisation des effets par Mécanique des Fluides Numérique.

Cette approche vise à résoudre en 3D les équations régissant la mécanique des fluides (équations de Navier-Stokes) simultanément aux équations décrivant la composition du mélange et l'énergie du système.

Les équations évoquées ci-dessus sont discrétisées de manière spatio-temporelle puis résolues. A cette fin, l'INERIS utilise le code open source OpenFoam. Cet outil a été développé par l'Imperial College au début des années 90 puis rendu public. L'INERIS utilise actuellement la version 5.0 (téléchargeable sur <https://openfoam.org/>).

Dans le détail, OpenFoam propose un ensemble de solveurs, c'est-à-dire qu'un ensemble d'équations physiques spécifiques et de sous-modèles a été présélectionné pour traiter un problème physique donné.

L'INERIS a utilisé le solveur rhoCentralFoam développé pour le cas des écoulements compressibles. De base, ce solveur résout les équations de Navier-Stokes et de l'énergie avec un schéma de Tadmor et Kurganov pour discrétiser le terme convectif (Kurganov, 2000).

Il est choisi lors de l'utilisation de ce solveur de réaliser l'intégration en temps à l'aide d'un schéma d'Euler et de négliger les termes visqueux.

L'INERIS a modifié ce solveur en ajoutant des équations de transport d'espèces chimiques afin de pouvoir traiter des situations de composition chimique non uniforme dans le domaine de calcul (cas par exemple d'une décharge de gaz brûlés dans l'air).

L'INERIS a déjà mis en œuvre cet outil sur des explosions de moyenne échelle avec présence d'un mur sur le trajet de l'onde de surpression tout en retrouvant des ordres de grandeur conformes au champ de surpression mesuré (Heudier, 2017 et Daubech, 2020).

### 3.2.2 Moyens de calcul

Les calculs ont été menés sur le supercalculateur Cobalt du Centre de Calcul Recherche et Technologie du CEA.

Ceux-ci ont exploités en parallèle 64 cœurs Intel Xeon 2,4 Ghz. Le temps de retour pour un calcul avec temps physique de 400 ms était de l'ordre de l'heure.

### 3.2.3 Démarche de modélisation du cas

Dans le calcul CFD mené, on néglige l'effet de la présence de la structure métallique.

Par ailleurs, il est difficile de rendre compte de l'effet d'arrachement progressif de la bêche. Concrètement, cela reviendrait au niveau du calcul à devoir intégrer une condition limite d'entrée avec évolution de la pression d'injection dans l'atmosphère des produits issus de la combustion interne et évolution de la section. Le premier aspect peut se traiter facilement, le second est nettement plus complexe.

Il a donc été préféré de rendre compte du phénomène de décharge des produits de combustion par une démarche plus robuste. A cette fin, on considère que l'intégralité du volume du silo est « rempli » par des gaz brûlés à une pression initiale de l'ordre de celle calculée par le calcul EFFEX.

Les gaz brûlés sont composés d'un mélange vapeur d'eau/azote et sont initiés à une température de l'ordre de 2000 K. Le ratio des capacités massiques est de l'ordre de 1,29.

Rappelons que les paramètres physiques permettant théoriquement de quantifier l'énergie de pression déposée (voir Formule (3-3)) sont la pression, le volume des gaz et le ratio des capacités massiques.

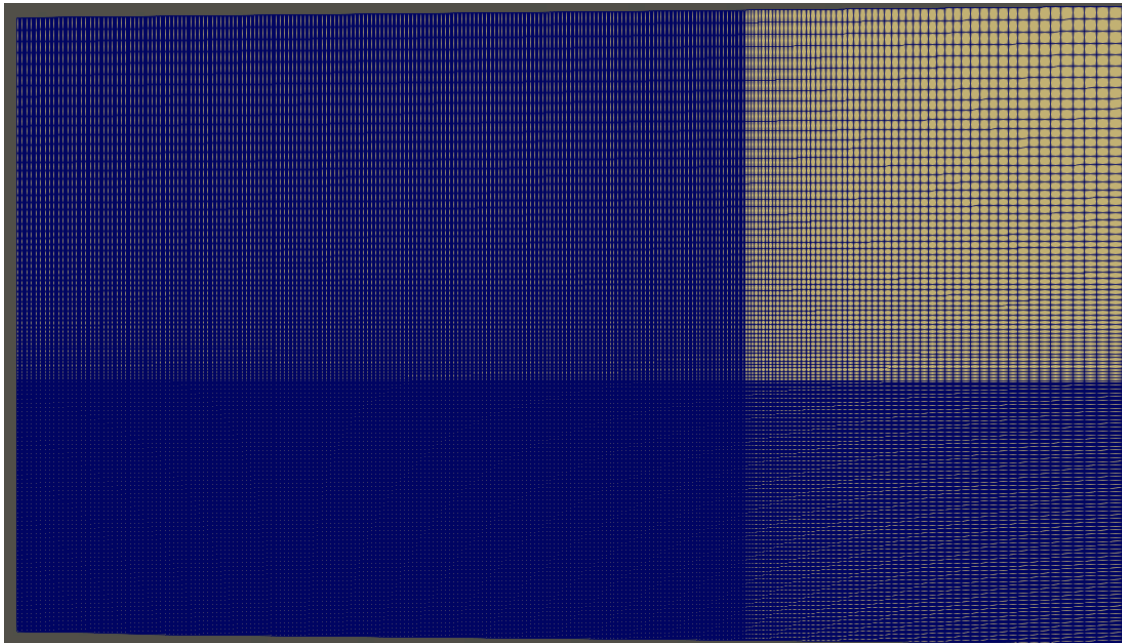
Le seul élément géométrique du silo conservé dans le calcul est sa paroi latérale. La topologie du problème physique est donc axisymétrique.

Cette propriété est mise à profit au niveau du calcul CFD en utilisant un domaine 2D axisymétrique. Ce type de domaine permet d'économiser du temps de calcul tout en permettant une meilleure discrétisation spatiale du domaine d'intérêt.

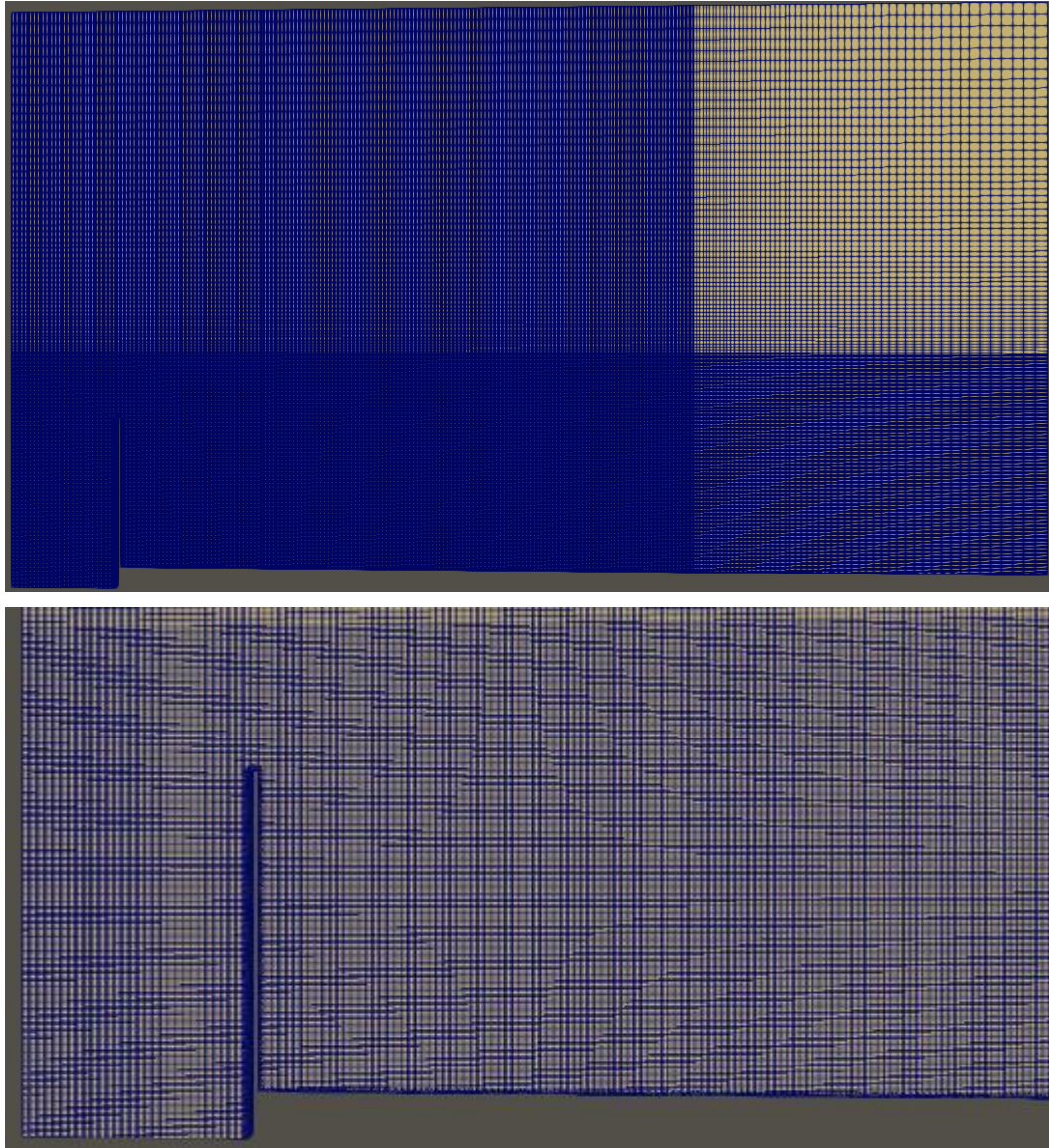
Deux maillages sont proposés : un maillage pour un cas dit champ libre et n'intégrant aucune géométrie et permettant de tester la démarche sur un cas de référence et comparable à la théorie et un maillage pour le cas avec silo, c'est-à-dire intégrant la paroi latérale.

Les maillages comportent une zone d'intérêt maillée de manière régulière avec des mailles régulières de 18 cm. En dehors de cette zone, le maillage est dé-raffiné de manière régulière.

Le domaine de calcul est long de 120 m et haut de 70 m.



*Figure 6 : Domaine de calcul et maillage du cas champ libre*



*Figure 7 : Domaine de calcul et maillage du cas avec silo*

Un premier calcul est mené avec le cas du champ libre pour une charge hémisphérique posée au sol. Cette charge est composée de gaz brûlés. A l'aide de la formule de Brode (formule (3-3)), son énergie est quantifiable et il est possible de comparer le résultat obtenu par l'approche CFD à un résultat théorique fourni par la méthode Multi-Energy.

Dans un second temps, un calcul est mené en introduisant dans le silo le même volume de gaz brûlés pour lequel les caractéristiques (température, composition chimique, pression) sont conservées.

Enfin, afin de vérifier l'effet du maillage sur les distances d'effets de surpression, les calculs sont ré-effectués pour un maillage présentant une taille caractéristique deux fois plus faible (donc 9 cm).

## 4 Résultats

### 4.1 Calcul de l'évolution de la pression interne

La Figure 8 présente le profil de surpression calculé avec l'outil EFFEX. Dans le cas présent une surpression maximale de 110 mbar est estimée.

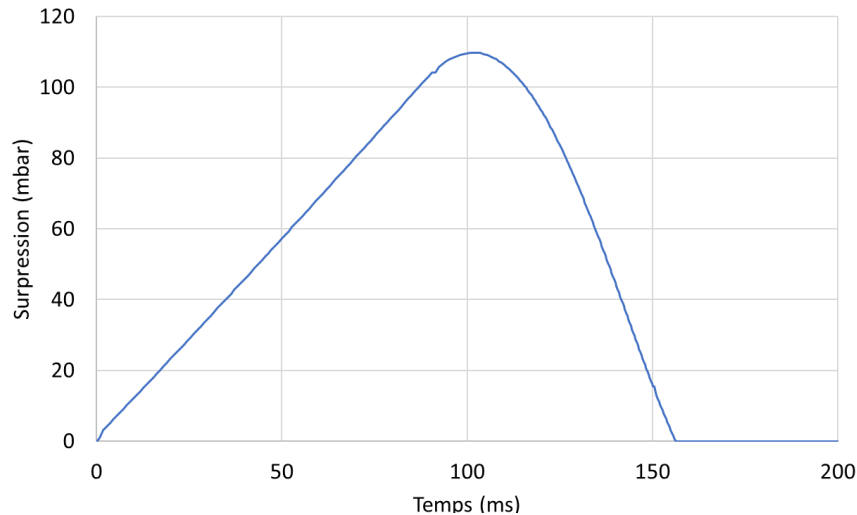


Figure 8 Surpression dans le silo, estimée avec l'outil EFFEX

### 4.2 Calcul des effets de pression externe avec une approche basée sur la Mécanique des Fluides Numérique

#### 4.2.1 Calibration du calcul

Le calcul avec approche forfaitaire prenait en compte un volume de gaz brûlés de l'ordre de  $9900 \text{ m}^3$ . Le rayon d'un hémisphère d'un tel volume est de 16,8 m.

Un premier calcul est mené en champ libre en déposant un hémisphère de ce rayon dans le domaine de calcul axisymétrique. La pression des gaz brûlés est initialement fixée à 110 mbar afin de se placer dans une situation équivalente, en termes d'énergie déposée, au calcul de décroissance d'énergie mené avec l'approche forfaitaire. Pour mémoire, le ratio des capacités calorifiques spécifiques est de 1,29.

Le calcul CFD a mis en avant une dissipation trop rapide de l'onde de surpression par rapport au cas forfaitaire.

L'énergie de Brode déposée a été artificiellement augmentée en jouant sur la surpression des gaz brûlés. Des calculs itératifs ont été menés afin de retrouver une décroissance de surpression analogue à celle liée au calcul de l'approche forfaitaire.

Il s'est avéré possible de retrouver un seuil de surpression de 50 mbar à 80 m du centre l'hémisphère en imposant une surpression de 370 mbar dans les gaz brûlés. La Figure 9 représente la solution initiale ainsi que l'onde de surpression positive à 150 m pour cette hypothèse.

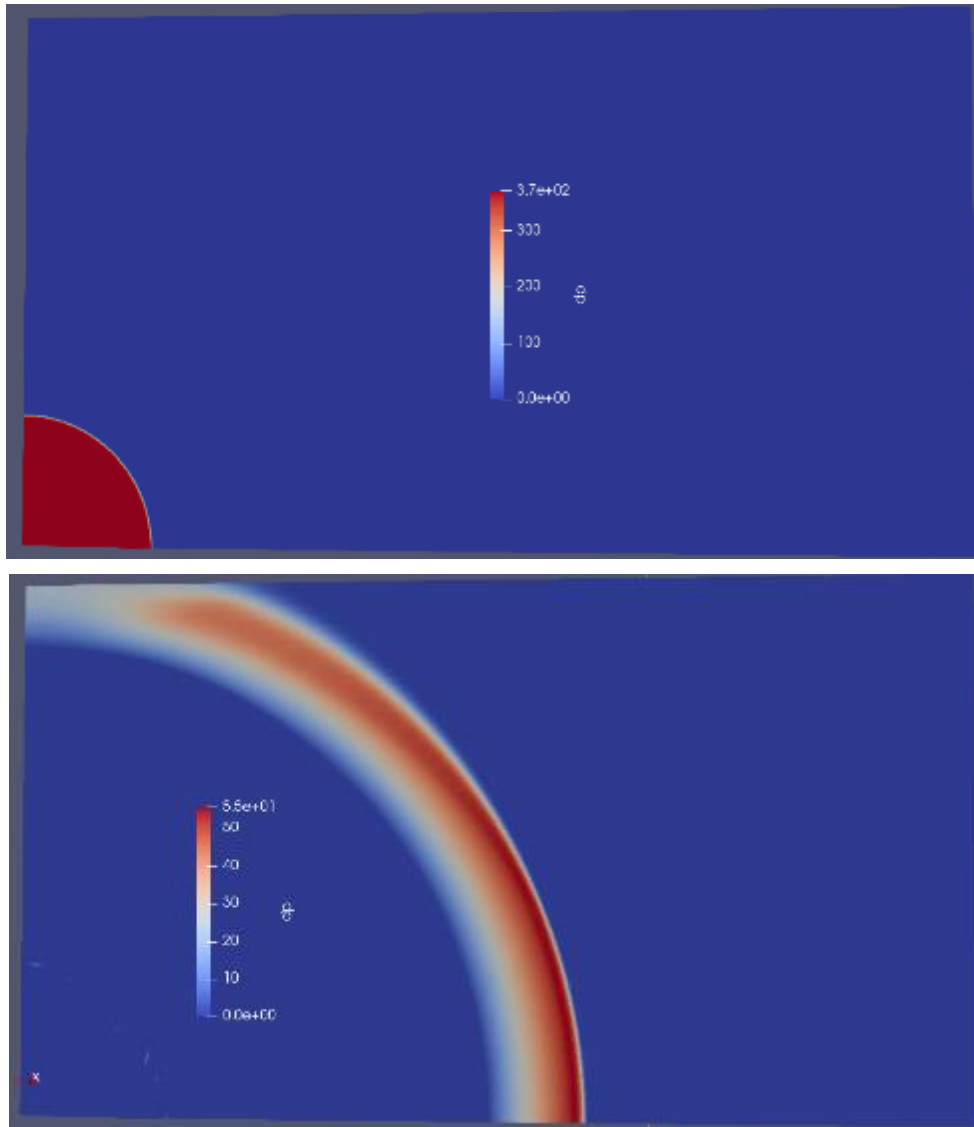


Figure 9 : Champ de surpression en mbar à l'instant initial et à 150 ms pour une surpression initiale dans les gaz brûlés de 370 mbar

#### 4.2.2 Calcul des effets externes liés à une explosion en silo

Un calcul est mené en remplissant le volume intérieur silo avec des gaz brûlés sous 370 mbar. Ainsi l'énergie de Brode déposée dans le silo correspond à celle permettant de retrouver en champ libre par le calcul de Mécanique des Fluides Numérique les distances d'effets calculées par approche forfaitaire.

A l'instant 25 ms, deux phénomènes sont visibles : une décharge axiale et un contournement de la paroi latérale par l'onde de surpression.

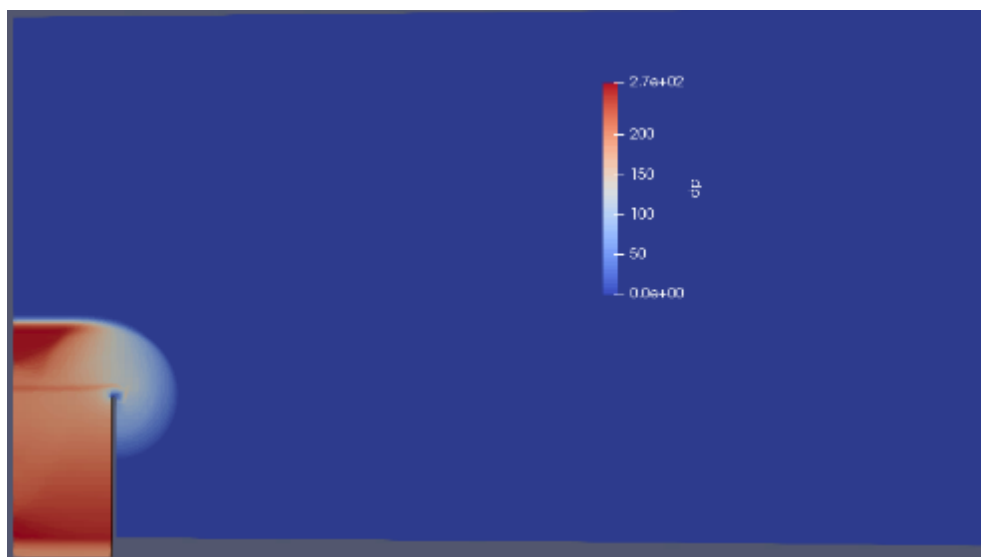
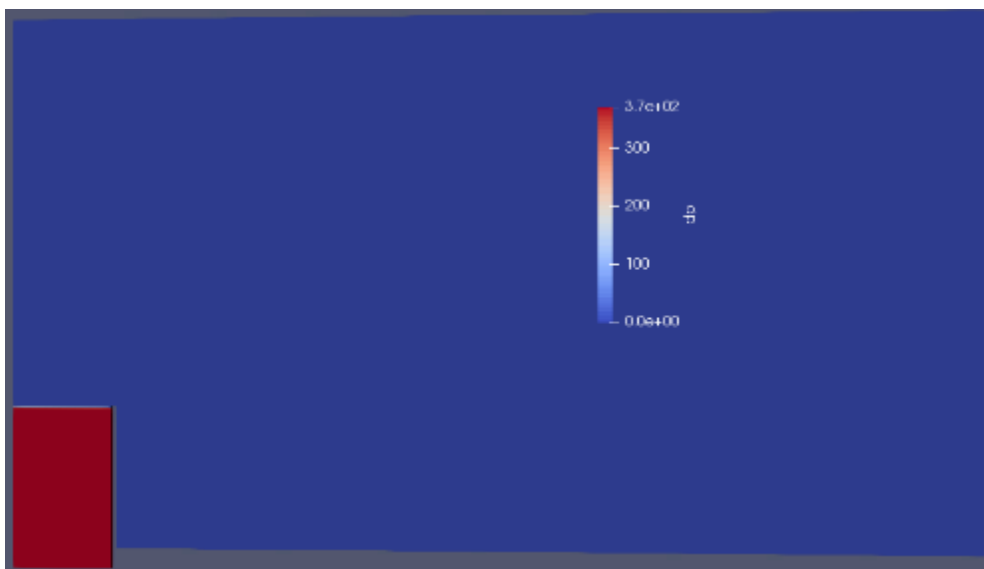
A 50 ms, la vidange du silo en gaz brûlés est quasiment achevée et l'onde de pression externe est presque générée. L'effet de décharge axiale est visible avec un pic de surpression atteint dans la direction verticale, au-dessus de l'évent. L'onde de pression s'apprête à interagir avec le sol.

A 75 ms, au niveau du sol, une onde de surpression réfléchie se combine avec l'onde de surpression incidente. Cette recombinaison est susceptible de conduire à une augmentation des effets de pression au niveau du sol.

A 100 ms, il apparait que la structure mise en place avec effet de pression préférentiel dans l'axe de symétrie du silo et l'interaction onde réfléchie/onde incidente est toujours visible, l'ensemble s'étant simplement propagé avec chute des pics de surpression.

Au niveau du sol, les seuils à 200 et 140 mbar ne sont pas atteints. Le pic à 50 mbar est atteint à 40 m de l'axe de symétrie du silo soit à 27 m environ du bord du silo.

Un calcul conduit avec une taille de maille caractéristique deux fois plus faible conduit au même résultat pour le seuil à 50 mbar.



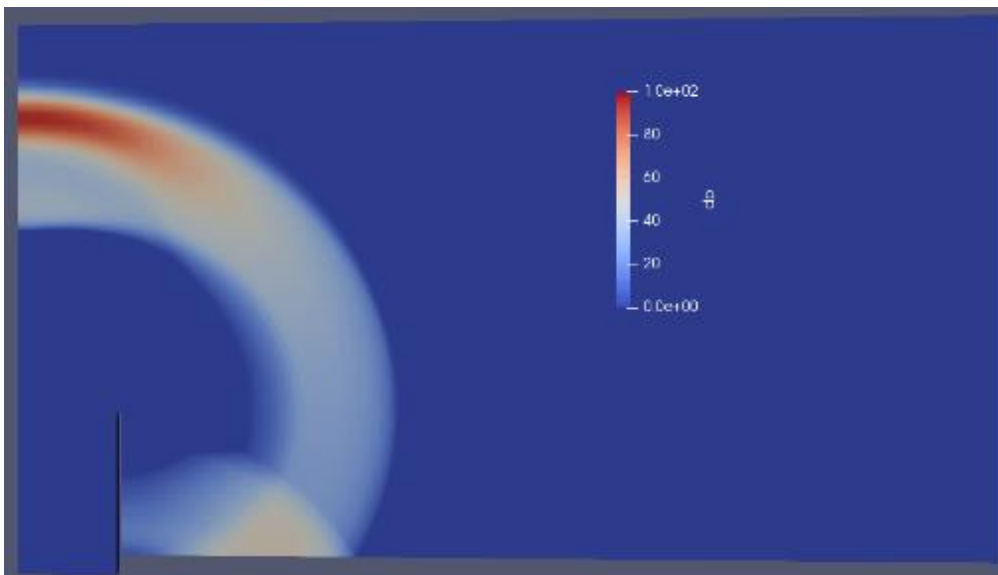
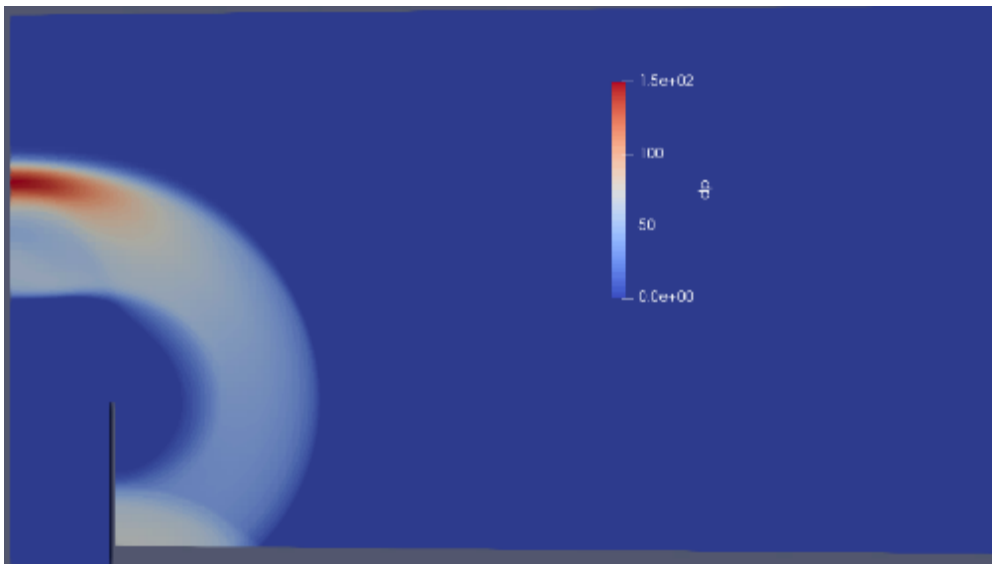
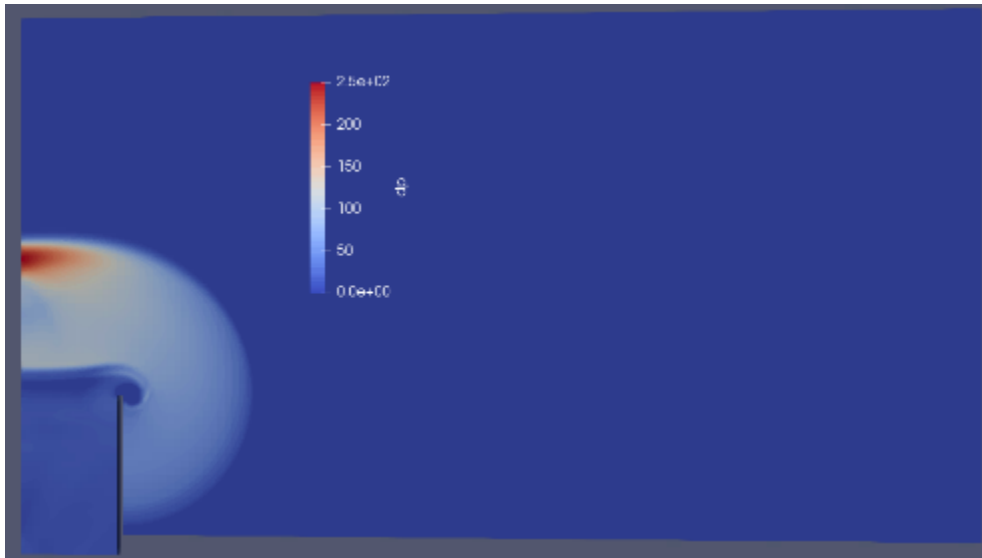


Figure 10 : De haut en bas : champ de surpression positive entre l'instant initial et 100 ms par pas de 25 ms.

## 5 Conclusions

Un scénario d'explosion de fines de pellets en suspension dans un silo a été identifié en analyse des risques.

En cas d'explosion, la pression interne s'élève, ce qui conduit à l'arrachement de la jupe en toiture et à une poursuite de l'explosion à l'extérieur du silo.

La méthode de calcul mise en œuvre pour quantifier les effets de pression externes est basée sur un calcul CFD. Cette méthode s'est basée sur un calcul phénoménologique pour caractériser le déroulement de l'explosion interne au silo.

Les distances d'effets calculées au niveau du sol sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Elles sont à compter depuis l'axe de symétrie du silo.

| PhD : Explosion dans le silo | Distances d'effet (m)                  |                          |                                |                          |
|------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|                              | Effets Létaux Significatifs (200 mbar) | Effets Létaux (140 mbar) | Effets Irréversibles (50 mbar) | Bris de Vitres (20 mbar) |
| Avec calcul CFD              | NA                                     | NA                       | 40                             | Non calculé              |

*Tableau 1 : Distances d'effet de l'explosion au sol*



## 6 Références

- A. Kurganov et al., *New High-Resolution Central Schemes for Nonlinear Conservation Laws and Convection–Diffusion Equations*, *Journal of Computational Physics* 160: 241
- L. Heudier, G. Lecocq, Y. Grégoire, and C. Proust, Investigation on the Diffraction of a Medium Scale Gaseous Deflagration Pressure Wave Behind a Protective Wall, *Proceedings of the 26th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems*, Paper 1049, 2017.
- J. Daubech, G. Lecocq, L. Heudier, C. Proust, Effect of a wall on the overpressure propagation caused by a gas deflagration, soumis à 13th International Symposium on Hazards, Prevention, Mitigation of Industrial Explosions.
- Proust C., (2000), Prévoir les effets des explosions de poussières sur l'environnement. EFFEX, un outil de simulation, DRA-CPr/CPr-22751, téléchargeable sur [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr).
- Lewis B., Von Elbe G., 1987, "Combustion, flames and explosions of gases: 3rd edition ", Academic Press, London, ISBN 0-12-446751-2.
- Proust C. (2017), Turbulent flame propagation in large dust clouds, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 49 (2017) 859e869.
- Proust C. (1993) Experimental determination of the maximum flame temperatures and of the laminar burning velocities for some combustible dust-air mixtures. *Proceedings of the fifth international colloquium on dust explosions*, pp. 161-184.
- Krause, Kasch & Gebauer, (1996), Velocity and concentration effects on the laminar burning velocity of dust–air mixtures, *Proceedings of the 7th International Coll. Dust Explosions*, Bergen (1996), pp. 51-54.
- Proust, C., Veysièrè, B. (1988): Fundamental properties of flames propagating in starch dust-air mixtures. *Combust. Sci. and Tech.*,62, pp. 149-172.
- Markstein G.H. (1964), " Non-steady flame propagation ", Pergamon Press, Oxford, U.K
- Guide de l'état de l'art sur les silos pour l'application de l'arrêté ministériel relatif aux risques présentés par les silos et les installations de stockage de céréales, de grains, de produits alimentaires ou de tout autre produit organique dégageant des poussières inflammables, Version 3, <https://aida.ineris.fr/sites/default/files/gesdoc/30268/silos-Guide.pdf>\*



