



## Site de Strasbourg (67)

# DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE

## Tome III – Etude de dangers



**Date :** 27 octobre 2025

**Référence :** FSUS231386/NT/24-01986

# Sommaire

<b>1.</b>	<b>RESUME NON TECHNIQUE.....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>10</b>
<b>3.</b>	<b>POTENTIELS DE DANGERS.....</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>ACCIDENTOLOGIE .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1.</b>	<b>Retour d'expérience interne .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1.1.</b>	<b>Nature des accidents, suivi.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1.2.</b>	<b>Accidents survenus sur le site .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2.</b>	<b>Données du BARPI.....</b>	<b>16</b>
<b>4.2.1.</b>	<b>Accidentologie silos béton .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2.3.</b>	<b>Accidentologie en malteries.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.4.</b>	<b>Accidentologie ammoniac.....</b>	<b>20</b>
<b>5.</b>	<b>ANALYSE DES RISQUES EXTERNES AU SITE .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1.</b>	<b>Risques liés à l'environnement physique.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1.1.</b>	<b>Inondation .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1.2.</b>	<b>Séismes .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1.3.</b>	<b>Phénomènes climatiques exceptionnels .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2.</b>	<b>Risques liés aux voies de communication.....</b>	<b>25</b>
<b>5.2.1.</b>	<b>Voies routières.....</b>	<b>25</b>
<b>5.2.2.</b>	<b>Voies ferrées.....</b>	<b>26</b>
<b>5.2.3.</b>	<b>Voies aériennes.....</b>	<b>26</b>
<b>5.3.</b>	<b>Risques liés à l'environnement industriel et humain .....</b>	<b>27</b>
<b>5.3.1.</b>	<b>Environnement industriel .....</b>	<b>27</b>
<b>5.3.2.</b>	<b>Risques liés aux actes de malveillance .....</b>	<b>27</b>
<b>6.</b>	<b>ANALYSE DES RISQUES INTERNES.....</b>	<b>28</b>
<b>6.1.</b>	<b>Analyse des risques liés aux produits mis en œuvre.....</b>	<b>28</b>
<b>6.1.1.</b>	<b>Grain .....</b>	<b>28</b>
<b>6.1.2.</b>	<b>Gaz naturel .....</b>	<b>35</b>
<b>6.1.3.</b>	<b>Ammoniac.....</b>	<b>35</b>
<b>6.1.4.</b>	<b>Produits divers.....</b>	<b>37</b>
<b>6.2.</b>	<b>Analyse globale des risques liés aux installations.....</b>	<b>40</b>
<b>6.2.1.</b>	<b>Conception des installations .....</b>	<b>40</b>
<b>6.2.2.</b>	<b>Risques liés à l'exploitation des installations .....</b>	<b>50</b>
<b>6.2.3.</b>	<b>Risques liés aux utilités .....</b>	<b>51</b>
<b>6.2.4.</b>	<b>Risques liés à la maintenance.....</b>	<b>51</b>
<b>6.3.</b>	<b>Analyse détaillée des risques .....</b>	<b>52</b>

6.3.1.	Rappel sur les conditions d'une explosion de poussières, d'un incendie .....	52
6.3.2.	Accidents possibles par type d'appareil .....	56
6.3.3.	Accidents possibles par type de bâtiment .....	60
6.3.4.	Généralités sur la méthode d'analyse des risques .....	62
6.3.5.	Application au site de Strasbourg.....	69
7.	ETUDE DES CONSEQUENCES D'ACCIDENTS .....	79
7.1.	Récapitulatif des scénarios d'accidents retenus .....	79
7.2.	Surpressions.....	80
7.2.1.	Méthode d'évaluation .....	80
7.2.2.	Valeurs relatives aux seuils des effets de surpressions.....	83
7.2.3.	Résultats .....	85
7.3.	Projections .....	89
7.4.	Effondrement.....	90
7.4.1.	Méthode d'évaluation .....	90
7.4.2.	Résultats .....	91
7.6.	Fuites d'ammoniac .....	92
7.6.1.	Methodologie .....	92
7.6.2.	Modélisations de fuites d'ammoniac .....	96
7.7.	Inflammation de gaz .....	99
7.7.1.	Hypothèses et données de calcul .....	99
7.7.2.	Résultats .....	100
7.8.	Evaluation de la gravité des conséquences sur les personnes exposées aux risques .....	102
7.8.1.	Echelle d'appréciation de la gravité des conséquences humaine .....	102
7.8.2.	Détermination des "équivalents personnes en permanence" .....	102
7.8.3.	Gravités et probabilités liées aux résultats des scénarios étudiés .....	104
7.9.	Cinétique.....	118
7.10.	Effets dominos .....	118
8.	SYNTHESE .....	119
8.1.	Tableau de synthèse des phénomènes dangereux .....	119
8.2.	Situation des risques sur la grille de criticité .....	120
9.	ORGANISATION EN MATIERE DE SECURITE.....	121
9.1.	Formation et information du personnel .....	121
9.2.	Evacuation du personnel.....	121
9.3.	Organisation de l'alerte et de l'intervention .....	122
10.	DESCRIPTION DES MOYENS DE SECOURS .....	123
10.1.	Moyens d'intervention interne .....	123

10.1.1.	Moyens de première intervention .....	123
10.1.2.	Ressource en eau et en azote .....	123
10.2.	Moyens d'intervention externes .....	124
10.3.	Moyens de secours et d'intervention mis en œuvre .....	125
10.3.1.	Cas d'une explosion de poussières majeure .....	125
10.3.2.	Cas d'un incendie .....	125
10.3.3.	Effets indirects liés à un accident .....	126
11.	INVESTISSEMENTS LIES A LA SECURITE .....	127
12.	CONCLUSION .....	128

## 1. RESUME NON TECHNIQUE

### Introduction

L'étude de dangers du site de la malterie de **Soufflet Malt** à Strasbourg comprend :

- l'identification et la caractérisation des potentiels de dangers
- les accidents et incidents survenus sur ce type d'installation
- l'évaluation des risques permettant de déterminer les accidents et leurs phénomènes dangereux associés, devant faire l'objet d'une analyse des risques plus détaillée
- une estimation de l'intensité des phénomènes dangereux associés aux accidents
- une estimation de la cinétique des phénomènes dangereux
- une estimation de la gravité des accidents en fonction de l'intensité déterminée précédemment et de la vulnérabilité du site
- une description des moyens de secours

Cette étude met en évidence les dangers liés à l'activité du site et des installations associées, avant et après extension de la capacité de production. L'inventaire des risques y est mis en parallèle avec celui des mesures qui sont prises pour faire face à de tels risques. On peut distinguer deux catégories de mesure :

- d'une part, des mesures de prévention sont mises en œuvre dans le but d'éliminer les causes des risques, qu'elles soient liées aux produits, aux installations ou aux pratiques d'exploitation du site
- d'autre part, des mesures de protection interviennent dans l'hypothèse où un accident devait survenir, aussi faible que puisse être sa probabilité d'occurrence. Ces dernières mesures sont destinées à réduire au maximum les effets que pourrait avoir un quelconque accident sur les biens, les personnes ou sur l'environnement

### Rappel sur les installations

Le site se trouve en zone industrielle au niveau du port du Rhin à Strasbourg. Il comprend 2 zones principales :

- 2 unités de production de malt d'orge (M1 et M2)
- 3 silos verticaux de stockage d'orge et de malt (silos A, B, C)

L'activité du site consiste à transformer les grains d'orge en malt au cours d'opérations successives de trempe, de germination et de touraillage (séchage).

Les sous-produits sont utilisés pour la production de granulés destinés à l'alimentation pour animaux de ferme.

L'augmentation de production est réalisée par l'accélération du processus de production passant en particulier par une accélération du touraillage (opération de séchage du malt sortant de germination) ainsi que des opérations d'optimisation des recettes de production avec limitation des temps morts et passage du temps de production de 8 h/24 à 24 h/24.

Elle concerne uniquement des équipements et des modes d'organisation de la production et ne comprend pas de mise en place de nouveaux bâtiments.

### Potentiels de dangers

Les potentiels de dangers sont principalement liés au grain (risque d'inflammation) et aux produits analogues (granulés de coproduits), aux poussières de grain (risque d'explosion), au gaz naturel (risque d'inflammation, d'explosion).

Le site utilise du gaz naturel au niveau de la chaufferie de M2, de l'ammoniac au niveau de la salle des machines de M2 (production de chaleur et de froid), ainsi que du soufre et de l'hypochlorite de sodium (eau de javel). L'insecticide représente des quantités minimales et est utilisé très ponctuellement.

Une mesure d'amélioration a été mise en place avec la suppression de la chaufferie de M1 et l'arrêt d'une chaudière sur 2 de M2 du fait de la connexion du site au réseau de chaleur urbain (RCUA : Réseaux de Chaleur Urbains d'Alsace).

### **Accidentologie**

Le retour d'expérience interne au site et au type d'activité a été analysé (malteries, silos). Des mesures d'améliorations nouvelles n'ont pas été identifiées.

### **Analyse des risques externes**

Risques naturels : le risque sismique est faible, le risque foudre a été pris en compte (protection du site suite à une étude foudre). Le site n'est pas en zone inondable, les risques neige et vent ont été pris en compte lors de la conception des bâtiments.

Risques liés à l'environnement humain : Il n'y a pas de sites industriels à proximité pouvant engendrer des effets sur le site étudié. Les risques routiers ou aériens sont extrêmement peu probables.

### **Analyse des risques internes**

Au niveau du silo, les produits présents se composent principalement de grain (orge ou blé, malt) et de poussières émises au cours du transport de ces produits. Les poussières de grain peuvent être explosibles dans des conditions bien particulières. Le grain est un produit combustible. Le principal risque lié à l'activité du site concerne l'explosion de poussières et plus particulièrement au niveau de la zone silos.

Les équipements des silos et de la fabrication du malt sont adaptés au type de produits transportés : étanchéité à la poussière des moteurs et installations électriques, surveillance de température, contrôleurs de dysfonctionnement sur les transporteurs et élévateurs, matériaux incombustibles et antistatiques sont les principales dispositions en place.

Organisation de la sécurité : le personnel est formé aux questions de sécurité liées aux silos, à la fabrication du malt et aux produits stockés sur le site, le site est équipé en moyens de protection et d'intervention.

Conception des installations : les silos A et B sont antérieurs à la réglementation relative aux silos et aux dispositions relatives au risque d'explosion de poussières. Ces silos bénéficient de l'antériorité vis-à-vis des distances d'isolement prescrites dans l'arrêté du 29 mars 2004 modifié. Conformément à cet arrêté un découplage a été mis en place entre tour de manutention et salle sur cellule du silo A afin de réduire le risque de propagation d'une explosion de poussières.

Une mesure d'amélioration a été mise en place avec l'acquisition d'un immeuble d'habitation à environ 28 m au Sud du silo le plus proche (silo A). Cet immeuble ne sera plus destiné à l'habitation pour des tiers et est destiné à la démolition.

Prise en compte des risques dans l'exploitation du site : le nettoyage des différents volumes des silos est régulier et effectué par aspiration (suppression des dépôts de poussières) ce qui est une base de sécurité fondamentale.

Il n'y a pas de risques particuliers pouvant avoir des conséquences graves liés aux pannes d'utilité ou d'air comprimé

### **Probabilité**

Une analyse de risque a été réalisée par zone de bâtiment/d'activité.

La méthode employée est l'analyse élémentaire de risques. Elle consiste à croiser systématiquement les cas de situations dangereuses avec les différents équipements. Chaque cas fait l'objet d'une cotation probabilité de survenue de l'accident et gravité de l'accident.

### Estimation de l'intensité des phénomènes dangereux

Les différents phénomènes dangereux ayant des effets sortant du site ainsi que les distances aux seuils sont repris dans le tableau suivant (probabilité C : évènement improbable, probabilité D : évènement très improbable).

Sigle NA : non atteint

Indice PhD	Phénomène Dangereux	Type d'effet	d SELs (m)	d SPEL (m)	d SEI (m)	d BV (m)	Proba	Gravité
1	Salle sous cellules silo A	Surpressions	NA	NA	46	92	D	Sérieux
2	Tour silo A RDC	Surpressions	NA	NA	19	38	C	Modéré
3	Tour silo A +1	Surpressions	NA	NA	16	32	C	Modéré
4	Tour silo A +2	Surpressions	NA	NA	14	28	C	Modéré
5	Tour silo A +3	Surpressions	NA	NA	10	20	C	Modéré
12	Cellule silo A	Surpressions Effondrement	10	18	42	84	D	Important
15	Fosse élévateurs tour silo B	Surpressions	NA	NA	30	60	C	Modéré
16	Salle sous cellules bloc Est	Surpressions	NA	NA	36	72	C	Modéré
17	Tour silo B RDC	Surpressions	NA	NA	30	60	C	Modéré
18	Salle sous cellules et + 1 silo B	Surpressions	NA	NA	58	116	C	Modéré
19	Tour silo B +2	Surpressions	NA	NA	23	46	C	Modéré
20	Tour silo B +3	Surpressions	NA	NA	19	38	C	Modéré
21	Tour silo B +4	Surpressions	NA	NA	9	18	C	Modéré
22	Salle B +5 sur cellules Silo B	Surpressions	NA	NA	34	68	C	Modéré
23	Cellule silo B Bloc Ouest 400 m <sup>3</sup>	Surpressions Effondrement	4	15	41	82	D	Modéré
24	Cellule silo B Bloc Est 220 m <sup>3</sup>	Surpressions Effondrement	10	16	35	70	D	Modéré
25	Boisseau extérieur silo B	Surpressions	6	12	30	60	D	Important
28	Salle < cellules silo C	Surpressions	27	31	4	186	D	Sérieux
29	Cellule silo C 1 900 m <sup>3</sup>	Surpressions Effondrement	27	42	93	186	D	Sérieux
30	Cellule silo C 1 700 m <sup>3</sup>	Surpressions Effondrement	25	40	88	176	D	Modéré
31	As silo C	Surpressions	13	22	48	96	D	Modéré
36	Fuite d'ammoniac	Toxicité	NA	NA	200 (H 20 m)	-	D	Important

### Criticité

Les phénomènes dangereux sont placés dans la grille de criticité définie.

			Probabilité				
			E	D	C	B	A
			Evénement possible mais extrêmement peu probable	Evénement très improbable	Evénement improbable	Evénement probable	Evénement courant
Gravité			$P < 10^{-5}$	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$	$10^{-2} < P$
5	Désastreux	SELs > 10p SEL > 100p SEI > 1000p					
4	Catastrophique	1p < SELs ≤ 10p 10p < SEL ≤ 100p 100p < SEI ≤ 1000p					
3	Important	SELs ≤ 1p 1p < SEL ≤ 10p 10p < SEI ≤ 100p		PhD12, PhD 36			
2	Sérieux	SELs sur site SEL ≤ 1p 1p < SEI ≤ 10p		PhD1, PhD25, PhD28, PhD29			
1	Modéré	SELs sur site SEL sur site SEI ≤ 1p		PhD23, PhD24, PhD30, PhD31	PhD2, PhD3, PhD4, PhD5, PhD15, PhD16, PhD17, PhD 18, PhD19, PhD20, PhD21, PhD22		
0	Non Classé	<i>Pas d'effet en dehors du site</i>		PhD10, PhD11, PhD14, PhD37, PhD38	PhD6, PhD7, PhD8, PhD 9, PhD13, PhD26, PhD27, PhD 32, PhD33, PhD34, PhD35		

Tous les phénomènes dangereux sont situés dans la zone acceptable de la grille de criticité.

### Cinétique

Le cas d'une explosion de poussières ou de gaz ou une fuite d'ammoniac est un type d'accident à cinétique rapide, une explosion pouvant se produire et se développer en quelques secondes (poussières) ou quelques centièmes de seconde (gaz).

Le cas d'un incendie en cellule de stockage de grain est un type d'accident à cinétique lente, un incendie pouvant se développer en plusieurs jours voire plus sans intervention. L'extension est limitée.

Le cas d'un feu électrique est un type d'accident à cinétique rapide : plusieurs minutes en fonction des organes touchés. L'ampleur est limitée en général au volume où se trouve l'appareil concerné sauf cas d'un autre accident tel qu'explosion de poussières (voir paragraphes précédents) généré par le problème électrique.

### **Moyens de secours et d'intervention**

Le site dispose d'un plan d'intervention Interne (PII).

Moyens d'extinction :

- Extincteurs (poudre, eau et CO<sub>2</sub>) répartis dans les différentes zones du bâtiment
- Possibilité d'inertiser les cellules des silos béton A B C à l'azote
- Eau d'extinction (proximité du bassin du Commerce, 3 poteaux incendie au droit du site rue de la Minoterie)

Le centre d'intervention le plus proche est celui de Strasbourg.

## 2. INTRODUCTION

L'étude de dangers qui s'intègre à la demande d'autorisation d'exploiter vise les objectifs suivants :

- identifier les risques que peuvent présenter les produits et l'exploitation de l'extension en projet sur le site existant **Malteries Soufflet** de Strasbourg du fait de l'activité ou de l'environnement, et exposer les cas d'accidents éventuels (explosion, incendie etc.)
- justifier les mesures propres à en réduire la probabilité et les effets. Ces mesures sont déterminées sous la responsabilité du demandeur
- préciser notamment la consistance et l'organisation des moyens de secours en vue de combattre et limiter les effets d'un éventuel sinistre

Cette étude répond aux prescriptions du livre V du Code de l'environnement et à la circulaire du 10/05/2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

- L'environnement du site est présenté dans la description de l'état initial du Tome II (étude d'impact) du présent dossier
- La nature et le volume des activités sont décrits dans le Tome I du présent dossier

L'étude de dangers comporte les volets principaux suivants :

- l'identification et la caractérisation des potentiels de dangers
- les accidents et incidents survenus sur ce type d'installation
- l'évaluation des risques permettant de déterminer les accidents et leurs phénomènes dangereux associés, devant faire l'objet d'une analyse des risques plus détaillée
- une estimation de l'intensité des phénomènes dangereux associés aux accidents
- une estimation de la cinétique des phénomènes dangereux
- une estimation de la gravité des accidents en fonction de l'intensité déterminée précédemment et de la vulnérabilité du site
- une description des moyens de secours

Elle s'appuie sur le principe d'amélioration continue du niveau de sécurité des installations.

### 3. POTENTIELS DE DANGERS

Les potentiels de dangers correspondent aux accidents majeurs susceptibles de se produire sur un équipement particulier, sans qu'aucun système de prévention ou de protection ne vienne influencer son développement ou limiter ses conséquences.

Les potentiels de dangers liés au site étudié sont repris dans le tableau suivant :

Produits présents	Potentils de dangers	Réduction des potentiels de dangers
Grain, poussières de grain	<p>Risque de feu de grain, risque d'explosion de poussières</p> <p><u>Effets redoutés</u> : surpressions, effondrement de cellules, rayonnement thermique</p>	<p>La réduction de ce potentiel de danger va à l'encontre de la nature du site qui est dimensionné pour stocker une quantité de grain définie par la consommation de la malterie et la production de malt avant expédition. réduction de ce potentiel de danger (stockage) est impossible car elle pourrait engendrer une perte de production par défaut de matières première ou une impossibilité de livraison de client par défaut de stockage de produits finis</p> <p>Afin de maintenir les risques liés à ce potentiel de danger à un niveau aussi bas que raisonnablement réalisable, des moyens de prévention et de protection sont mis en œuvre détaillés dans la suite de l'étude, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- limitation des sources d'inflammation (contrôles de dysfonctionnement, permis de feu, permis de travail, ...)</li> <li>- équipements sous aspiration (filtres à manches centralisés) permettant mettre en dépression les équipements, de capter la poussière de limiter les émissions de poussières et de les canaliser vers un stockage dédié</li> <li>- nettoyage régulier des installations avec personnel dédié</li> <li>- maîtrise de l'urbanisation : location d'une bande de terrain parallèle au silo B, acquisition d'un immeuble d'habitation proche du silo A</li> </ul>
Gaz naturel	<p>Risque d'inflammation de gaz, risque d'explosion de gaz</p> <p><u>Effets redoutés</u> : surpressions, rayonnement thermique</p>	<p>L'emploi de gaz est indispensable pour la production de chaleur destinée au touraillage en malterie</p> <p>Mesure de réduction des potentiels de dangers : la chaufferie de M1 et une chaudière de M2 ont été supprimées sur site au profit du réseau de chaleur urbain. Afin d'élever la température de l'eau chaude fournie, une source de chaleur complémentaire est néanmoins nécessaire</p> <p>Afin de maintenir les risques liés à ce potentiel de danger à un niveau aussi bas que raisonnablement réalisable, des moyens de prévention et de protection sont mis en œuvre détaillés dans la suite de l'étude, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- niveaux de pression gaz faibles</li> <li>- prévention : détection gaz</li> <li>- limitation des sources d'inflammation (vérification des mises à la terre, permis de feu, permis de travail, ...)</li> <li>- sécurités en place : coupure en cas de surchauffe ou de variation pression de gaz etc</li> <li>- protection : local bardé peu résistant en cas d'explosion (chaufferie M2)</li> </ul>

Produits présents	Potentiels de dangers	Réduction des potentiels de dangers
Ammoniac	Risque de fuite, voire risque d'inflammation  <u>Effet redouté</u> : rejet atmosphérique toxique	L'emploi d'ammoniac est indispensable au besoin de froid et de chaleur de la malterie. Il a été choisi pour sa fiabilité et par rapport à des fluides ayant un impact sur l'effet de serre et la couche d'ozone  Mesure de réduction : la quantité a été réduite par conception initiale à 0,8 t  Afin de maintenir les risques liés à ce potentiel de danger à un niveau aussi bas que raisonnablement réalisable, des moyens de prévention et de protection sont mis en œuvre détaillés dans la suite de l'étude, notamment : <ul style="list-style-type: none"> <li>- confinement dans un local résistant au feu et froid distribué par une boucle secondaire d'eau glycolée</li> <li>- capteurs ammoniac</li> <li>- extracteur ammoniac et soupapes relevés à 24 m de hauteur</li> <li>- exploitation adéquate (entretien, maintenance, ...)</li> </ul>
Hypochlorite de sodium (eau de javel)	Risque de fuite  <u>Effet redouté</u> : risque de pollution en cas de rejet liquide (produit biocide)	L'eau de javel est indispensable pour le maintien d'une hygiène compatible avec les bonnes pratiques liées aux produits alimentaires (nettoyage des installations).  Afin de maintenir les risques liés à ce potentiel de danger à un niveau aussi bas que raisonnablement réalisable, Soufflet Malt met en œuvre un certain nombre de moyens de prévention et de protection qui sont détaillés dans la suite de l'étude, à savoir : <ul style="list-style-type: none"> <li>- limitation du volume au niveau le plus bas possible en tenant compte des besoins en production et des possibilités de livraison</li> <li>- stockage dans des contenants en matière plastique insensibles à la corrosion</li> <li>- stockage sur rétention</li> </ul>
Soufre	Produit combustible  <u>Effet redouté</u> : fumées à caractère toxique (présence de SO <sub>2</sub> )	Le soufre est indispensable pour éviter le développement de nitrosamines dans le malt.  Afin de maintenir les risques liés à ce potentiel de danger à un niveau aussi bas que raisonnablement réalisable, Soufflet Malt met en œuvre un certain nombre de moyens de prévention et de protection qui sont détaillés dans la suite de l'étude, à savoir : <ul style="list-style-type: none"> <li>- limitation du volume au niveau le plus bas possible en tenant compte des besoins en production et des possibilités de livraison</li> <li>- limitation par le mode de conditionnement : stockage sur palettes au sol (non gerbées), palettes distinctes les unes par rapport aux autres</li> <li>- stockage à l'écart de toute source d'inflammation, dans un local maçonné et sous la surveillance du personnel</li> </ul>

NB : L'emploi d'insecticide est très ponctuel et le volume stocké sur site est réduit. De ce fait les potentiels de dangers liés à ce produit ne sont pas développés dans ce chapitre.

Matérialisation des potentiels de dangers : les effets de la libération de ces potentiels de dangers correspondent aux scénarios maximum physiquement possibles (ou scénarios déterministes), selon la définition proposée dans « Analyse des risques et prévention des accidents majeurs (DRA-07) - Définition des Scénarios Maximum Physiquement Possibles – INERIS - Décembre 2002 réédition ».

La modélisation des phénomènes dangereux associés à ces potentiels de dangers est présentée au paragraphe relatif à la modélisation des phénomènes dangereux.

Les cas suivants ne seront pas modélisés :

- Fuite d'hypochlorite de sodium
- Feu de soufre sur palette

Les effets d'une fuite d'hypochlorite de sodium sont limités dans la mesure où ce produit est sur rétention et en petits contenants (fuite simultanée de tous les contenants difficilement envisageable).

Les effets d'un feu de soufre sont également limités dans la mesure où ce produit est stocké en faibles quantités, à l'écart de toute source d'inflammation. La combustion de ce produit serait lente ( $7 \text{ g/s/m}^2$ ). Toute fumée serait détectée de façon précoce du fait de l'odeur très perceptible et de la présence de personnel à proximité. L'incendie serait éteint aisément à l'aide d'un extincteur, la palette concernée pouvant être reprise au chariot et éteinte en extérieur à l'aide d'eau. Toute propagation d'une palette à l'autre est difficilement envisageable du fait de la faible hauteur des flammes (de l'ordre du centimètre).

## 4. ACCIDENTOLOGIE

### 4.1. Retour d'expérience interne

#### 4.1.1. Nature des accidents, suivi

Les précurseurs d'accident font l'objet d'un suivi régulier (Fiche Incident Sécurité (FIS), suivi dans le Logiciel CLEVER, Une diffusion des REX entre sites est réalisée régulièrement.).

Le retour d'expérience au niveau de la société est également pris en compte sur le site.

C'est le cas de l'accidentologie presses : différents cas de feux liés à des presses à granulés se sont produits au sein du groupe auquel appartient la société et en particulier dans différentes malteries.

Les cas survenus sont liés à la présence d'un point chaud au niveau de la presse et démarrage d'un incendie dans le refroidisseur à la suite de la presse. Les conséquences à craindre sont une dissémination d'un feu ou d'une source d'inflammation à l'aval de la presse (élévateurs, boisseaux, filtre...).

Cette étude de l'accidentologie presses au niveau des malteries du site a donné lieu à des mesures de sécurisation de la zone presse à granulés (voir descriptif en partie tome I au § 3.4 Equipements).

#### 4.1.2. Accidents survenus sur le site

Les accidents survenus sur site sont repris ci-dessous par ordre chronologique.

##### **Feu de granulés**

Un feu de granulés a eu lieu en 1997 au niveau de la presse dans la tour M1. De ce fait une forte stratégie de sécurisation de cette ligne a été développée (voir description des installations) en liaison avec le retour d'expérience au sein du groupe avec :

- Mesures de prévention diverses : sécurisation de l'arrivée d'eau, consignes (rinçage presse, fonctionnement), sécurisation graissage (sécurité niveau bas)
- Moyens de détection : détection incendie (température refroidisseur, extraction d'air, étage)
- Moyens de protection : possibilité d'isolement pour éviter toute propagation (vannes automatiques, écluse, locaux presse et refroidisseur murs parpaings avec châssis pouvant évacuer les fumées), moyens d'extinction appropriés (RIA, extincteurs, rampe d'arrosage refroidisseur)

##### **Déport de tambour**

Un déport de tambour sur un élévateur à issues de la tour M1 a eu lieu en 2009. Suite à cet accident l'élévateur a été supprimé au profit d'un transport pneumatique. Les autres élévateurs du site ont pour la plupart des tambours fixés avec roulements coniques (déport quasi impossible).

## Explosion de boisseau

### Compte rendu du BARPI

Le compte rendu du BARPI (Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels) est repris ci-dessous.

#### **N° 53942 - 03/07/2019 - FRANCE - 67 - STRASBOURG**

##### *C11.06 - Fabrication de malt*

Vers 11h20, une explosion se produit dans un silo à poussières et un silo à radicules, métalliques, quadrangulaires, de 60 m<sup>3</sup> chacun. Les secours mettent en place un périmètre de 200 m, évacuent le personnel et confinent 300 employés dans des entreprises voisines. Des relevés (acétylène et ammoniac) sont effectués. Vers 16 h, les pompiers éteignent l'incendie au niveau du filtre à poussière et de la chambre à poussière par brumisation d'eau. Le sinistre est contenu dans les 2 silos. L'alimentation en gaz ainsi que les installations de réfrigération (ammoniac) sont coupées. Un des silos est rempli à 30 %, l'autre est vide. Un tapis de mousse est érigé. Les pompiers vidangent le silo par la vis sans fin normalement utilisée pour l'extraction des poussières vers le process. Le flux de poussières est stoppé par un bouchon au niveau de la vis. L'autre silo (vide) est rincé vers 21h30. Des rondes de surveillance sont menées durant la nuit. Vers 6 h, la température du silo, remontée à 65 °C, atteint 20 °C grâce au refroidissement. Les dégâts matériels sont importants : le couvercle des silos, les conduites d'amenée des produits, les vitres en hauteur, la porte d'accès et l'évent au niveau 5 ont été soufflés. L'enveloppe métallique du silo à poussières est déformée. Des traces de feu sont visibles sur l'enveloppe externe des silos et sur le bâtiment. Les manches filtrantes au niveau 5 ont brûlé. Entre les niveaux 5 et 6, de lourdes planches ont été levées. Les pertes d'exploitation sont importantes. Les poussières et radicules ne peuvent pas être valorisées sur ce site à moyen terme.

Des travaux d'étanchéité, nécessitant l'utilisation de chalumeau à gaz, étaient en cours sur la terrasse au pied des 2 silos à côté de la vis de reprise capotée. Lors de ces travaux, les poussières de radicules présentes dans la vis de reprise capotée, en fonctionnement, se sont enflammées. L'explosion a eu lieu lors de l'arrivée de ces poussières dans le silo vide en cours de remplissage, en générant un nuage de poussière et en apportant l'énergie d'inflammation. Le feu aurait gagné le deuxième silo via le couvercle commun soulevé par la première explosion. Le souffle aurait ensuite gagné les filtres par le système d'aspiration. Un permis de feu avait été établi. Celui-ci ne prévoyait pas de protection particulière vis à vis des équipements situés à proximité. Par ailleurs les installations étaient maintenues en fonctionnement pendant ces travaux. Le risque n'a pas été appréhendé lors de l'établissement de ce permis de feu.

### Compléments internes

Un courrier a été adressé à la DREAL par l'exploitant permettant d'explicitier les contours de cet accident. Dégâts matériels estimés à 400 k€ : 2 boisseaux et 1 filtre hors d'usage, perte d'exploitation : unité M1 arrêté redémarrée progressivement fin de semaine 29.

#### - Conséquences

Pas de conséquences humaine ou environnementales (le peu d'eau utilisé a été dirigé vers la STEP).

#### - Causes

Liées aux travaux d'étanchéité et proximité de la vis de reprise radicules. Aspiration possible de poussières incandescentes vers le boisseau quasiment vide, conséquence sur le filtre par liaison.

Le défaut de maîtrise de travail avec point chaud a été mis en évidence avec :

- Prise en compte insuffisante par la société extérieure
- Visite préalable avec possibilité de propagation vers la vis non mise en évidence
- Localisation des travaux (sur terrasse 2<sup>ème</sup> étage M1) incohérente avec le permis de feu le jour de l'accident (intervention sur terrasse M1 sans organe de manutention)

#### - Enseignements, améliorations

- Réflexion sur l'interdiction de travaux d'étanchéité avec point chaud à moins de 2 m des installations de stockage ou de manutention, protocole précis régissant ces travaux
- Sensibilisation du personnel
- Amélioration du suivi des entreprises extérieures opérant avec points chauds

## 4.2. Données du BARPI

### 4.2.1. Accidentologie silos béton

#### Synthèse des accidents survenus

L'accidentologie silos du BARPI est étudiée en 2 étapes :

- étude accidentologique synthétique des accidents jusque 2006
- étude accident par accident significatif de 2006 à 2022

Cette étude accidentologique doit toutefois être relativisée car :

- Seuls les accidents graves sont signalés,
- Le mode de vérification des causes des accidents n'est pas signalé,
- Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive.
- La nature des silos (béton/métal, vertical/à plat) est peu différenciée. Il est donc difficile d'identifier des accidents intervenus sur des silos équivalents.

Le but principal de cette étude est avant tout d'identifier des cas d'accidents pouvant concerner le site et d'analyser leur reproductibilité au travers des moyens de prévention et de protection sur le site étudié.

Un nombre important de cas d'accidents ont été recensés sur des silos de céréales et équipements associés. Sur 267 accidents recensés avant janvier 2006 par le BARPI.

- 222 incendies dont 41 cas liés au séchage
- 34 explosions de poussières
- 24 rejets dangereux
- 13 effondrements de capacités
- 4 chutes de personnes
- 2 autres (déformation, rupture de bâche de silo gonflable)

Les accidents mortels les plus graves sont survenus en France dans des silos béton (Metz et Blaye). Le cas de l'accident de Blaye sera explicité ci-dessous.

Une explosion est survenue le 20/08/97 dans le silo vertical béton du site qui s'est effondré en partie centrale et en partie Nord. Le silo contenait du blé, de l'orge et du maïs. Il comptait 44 cellules (hauteur : 44 m) et 26 as de carreaux totalisant 47 240 m<sup>3</sup>, soit une capacité de stockage d'environ 35 400 t de grain. Les cellules étaient construites sur musoir avec salle sous cellules, dalles béton en partie haute surmontées d'une galerie béton. Le silo comprenait une tour béton accolée à chaque extrémité : une tour de manutention comprenant le système d'aspiration centralisé avec réserve à poussières ainsi qu'une tour comprenant deux nettoyeurs séparateurs et un calibreur. Le silo ne comprenait pas d'événements d'explosion.

L'hypothèse retenue comme cause de l'accident est un départ d'explosion dans le circuit de dépoussiérage. L'inflammation aurait pour origine soit des chocs ou frottements mécaniques au niveau du ventilateur du circuit centralisé de dépoussiérage, soit un début d'incendie par auto-échauffement dans la réserve à poussières.

Les conséquences de l'accident ont été les suivantes : 11 personnes ont péri ensevelies dans les locaux administratifs et techniques au pied du silo ou à proximité. 16 cellules en partie endommagées ont subsisté. Les tours et la galerie sur cellules ont été détruites. L'explosion s'est communiquée dans tout ou partie de ces volumes. Les séchoirs et silos plats à proximité ont été endommagés notamment par des projections. Les installations voisines de la SCREG ont été touchées par des projections. Des morceaux de dimensions métriques ont été retrouvés jusqu'à environ 50 m du silo, les morceaux de dimensions réduites ont été retrouvés jusqu'à environ 140 m. Les effets ont été atteints jusqu'à environ 500 m maximum avec notamment des bris de vitres.

Dans 12 accidents (ARIA n° 12042, 14961, 8781, 784, 11657, 16056, 20340, 23446, 23597, 23620, 26281, 30843) on déplore 33 décès dont 23 personnes lors des 2 catastrophes de METZ et BLAYE. Six explosions ont provoqué à elles seules le décès de 27 personnes dont 23 employés.

L'utilisation de l'azote dans les cellules et la vidange des capacités de stockage (ARIA n° 11983, 12627, 23247...), pour la réduction des risques d'explosion et l'extinction d'un feu sont des opérations qui peuvent durer plusieurs jours. Ainsi 12 jours ont été nécessaires pour maîtriser le sinistre d'un silo de malt de 10 m de haut (ARIA n° 14380) à Roubaix (59).

Des caméras thermiques ont été utilisées dans 15 accidents au moins, pour la recherche de points chauds (ARIA n° 17816, 20528, 27630, 28660...).

Les interventions des pompiers sont rendues difficiles par les caractéristiques des installations (n° 12550, 13131, 14147, 14194, 15363, 15478, 24592...) et auraient pu être mieux appréhendées par la réalisation d'exercices incendie sur le site (n° 23448...) ; elles nécessitent aussi des opérations de longue durée lors de l'utilisation d'azote pour inertage ou la vidange des capacités de stockage (n° 12627, 14386, 16912, 17416, 17816, 20528, 20979, 21493, 21694, 22898...).

Dans 33 accidents répertoriés, les secours ont mis en place des périmètres de sécurité sur des distances variant de 100 à 500 m autour de la zone du sinistre, notamment en raison du risque d'explosion (ARIA n° 11659, 17416, 20863, 27774...).

Les causes sont connues ou suspectées dans 45 % des cas répertoriés dans la base ARIA avec des niveaux d'information hétérogènes. Les différentes origines des accidents, avérées ou fortement suspectées, sont examinées en fonction des typologies explosion, incendie, et rupture de cellules.

L'empoussièrement est la cause initiale des explosions qui représentent 13 % des cas. A défaut d'évents aménagés dans les parois pour l'évacuation des gaz de combustion générés par l'explosion, la pression augmente dans les équipements ou structures (cellules, tour de travail...) jusqu'à entraîner leur rupture accompagnée d'effets de souffle et de projections de débris. L'absence de "découplage" des différents volumes de l'installation favorise la propagation du souffle de l'explosion, la mise en suspension dans l'air des poussières déposées et leur allumage en régime de déflagration voire de détonation dans certains cas. Ces configurations constituent des facteurs d'aggravation des conséquences de ce type d'accidents.

L'accidentologie met ainsi en exergue l'importance des phases de travaux. Si les travaux ne constituent pas en eux-mêmes la cause de l'accident, ils peuvent générer des situations entraînant la mise en suspension des poussières et leur allumage par des points chauds résultant de l'emploi de matériels tels que chalumeau, appareils de meulage, de tronçonnage (ARIA n° 20340, 27280...) .

Des défaillances d'organisation sont fréquemment relevées : absence de permis de feu et maintien en service dans la zone de travaux d'un élévateur non dépoussiéré (ARIA n° 784), permis de feu imprécis (ARIA n° 13357) , analyse et prise en compte insuffisantes des risques (ARIA n° 21241).

Des défaillances sont attribuées au matériel : dysfonctionnement d'une sonde de niveau dans un boisseau de pesage d'une sucrerie (ARIA n° 12107), ruptures de roulements de palier d'élévateur (ARIA n° 12901) , dont l'un dans un silo plat (ARIA n° 21399) , ayant entraîné des étincelles à la suite de frottements. L'insuffisance de maîtrise d'incidents, auto-échauffements ou combustions est aussi relevée. Elle entraîne l'explosion d'une cellule de tourteau de tournesol, 11 h après l'extinction par les pompiers d'un incendie qui s'était initialement déclaré dans la capacité (ARIA n° 2613).

Parmi les principales causes des incendies, on retrouve de nombreuses similitudes avec celles citées dans le § relatif aux explosions. Les travaux de maintenance, d'aménagement voire de démantèlement d'installations, des défaillances matérielles. L'auto-échauffement des produits dans les cellules ou autres capacités de stockage est également constaté. Une étanchéité défectueuse des stockages (ARIA n° 20378, 29574) , l'ensilage de produits chauds (ARIA n° 7114) , une panne de ventilation (ARIA n° 2273), l'absence de thermométrie (ARIA n° 26099) sont

des facteurs favorisant ce type d'événements. Il faut également souligner les risques d'une "aération" intempestive des produits en phase d'auto échauffement (ARIA n° 14194, 15499).

La base ARIA recense 35 accidents de silos à l'étranger au cours de la période de mai 1960 à décembre 2005. Ce recensement ne prétend pas à l'exhaustivité en raison de l'insuffisance et de l'hétérogénéité des sources de l'information parfois limitées à la presse.

Les conséquences particulièrement dramatiques de certaines explosions confirment, si besoin en était, la nécessité de développer une véritable analyse des risques de chaque installation et de mettre en œuvre rigoureusement les mesures de prévention appropriées. Parmi les accidents les plus meurtriers, il faut citer ceux survenus aux Etats-Unis en décembre 1977, 36 morts et 6 blessés en Louisiane (ARIA n° 12259) et 8 morts et 23 blessés au Texas (ARIA n° 12260) – en Italie, 6 morts et 13 blessés en 1989 – en Belgique, 5 morts et 4 blessés à Floriffoux en 1993 (ARIA n° 4417) – en Iran, 13 morts et 26 blessés en 1994 (ARIA n°5524) , – en Syrie, au moins 16 morts et 22 blessés en décembre 2005 (ARIA n°31102)...

Lorsqu'elles sont connues, les causes avérées ou suspectées à l'origine des accidents sont comparables à celles relevées pour les silos français. Ainsi on relève des défaillances organisationnelles notamment lors de travaux comme à Floriffoux en Belgique (ARIA n° 4417), l'empoussièrement excessif des installations (ARIA n° 13436), des défaillances matérielles telles que la surchauffe de la partie mécanique d'un convoyeur (ARIA n° 4526) ou encore des court-circuits (ARIA n° 5524, 31102) et des auto-échauffements (ARIA n° 12931, 18601).

Le Flash ARIA sur les effondrements de silos publié en juin 2019 mentionne qu'en 30 ans, le BARPI a enregistré 30 ruptures ou effondrements de silos en France. Ces accidents touchent principalement les cellules métalliques mais les cellules béton sont également concernées avec 9 accidents enregistrés dans la base ARIA.

Les principaux accidents pouvant concerner le site ainsi que leurs causes et conséquences et leur prise en compte pour le site étudié sont repris dans le tableau en page suivante. Les cas ne concernant pas le site (silos métalliques, déshydratation, moulins, produits non stockés sur site tels que sucre ou cacao...) ou insuffisamment explicités ne sont pas repris.

Les accidents pris en compte depuis 2006 (voir détail des accidents en annexe) ont été retenus pour leur caractère instructif, cette liste n'ayant pas pour vocation d'être exhaustive (des explosions se sont produits depuis 2006 par exemple, voir également accidentologie malteries).

Nombre d'accidents sur des silos béton	Causes	Conséquences
10	4 cas : travaux, erreur humaine 3 cas : frottement mécanique 1 cas : surchauffe moteur 1 cas : armatures insuffisantes	9 cas : incendie et départs incendie 1 cas : effondrement de paroi cellule

#### Enseignements pour le site, définition d'améliorations

De nombreux accidents concernent des cas de travaux avec point chaud.

Les cas les plus graves sont les explosions qui sont pris en compte avec présence partielle de surfaces d'événements sur certains volumes et surtout du fait de l'éloignement par rapport aux zones habitées. Les cas de feu de grain en cellules sont pris en compte avec la silothermométrie (sondes de température avec relevé centralisé) en détection, la mise en place de raccords pour inertage à l'azote sur toutes les capacités béton en protection.

#### 4.2.3. Accidentologie en malteries

##### Synthèse des accidents survenus

La liste exhaustive des cas survenus, les causes, les conséquences et la prise en compte de ces accidents pour le site figurent dans le tableau en annexe (source : base de données ARIA).

Nombre d'accidents en malteries	Causes	Conséquences
32	5 cas : non indiqué 4 cas : travaux 7 cas : rejet polluant 6 cas : frottement mécanique 4 cas : surchauffe moteur 2 cas : problème fabrication du malt 2 cas : utilités 1 cas : four à soufre 1 cas : défaut de ferrailage	12 cas : incendie et départs incendie 9 cas : pollution 8 cas : explosions 1 cas : fuite de fluide frigorigène 1 cas : montée en température 1 cas : rupture (partielle) de cellule

##### Enseignements pour le site, définition d'améliorations

Même constats que pour l'accidentologie silos (qui sont toujours présents dans les malteries).

Les cas de pollution ne sont pas pris en compte dans la mesure où ils n'ont pas de conséquences sur les personnes ou sur les biens matériels.

Les 5 cas de problèmes liés à la fabrication du malt, à l'emploi de soufre, au niveau des utilités et du fluide frigorigène sont en revanche spécifiques à l'activité de malterie. Ils sont pris en compte dans l'organisation et la conception des installations.

#### 4.2.4. Accidentologie ammoniac

##### Synthèse des accidents survenus

Une étude bibliographique ARIA a permis de recenser, de juillet 1959 à décembre 1994, 356 accidents en France et à l'étranger mettant en cause l'ammoniac et/ou ses solutions aqueuses.

Typologie détaillée des accidents étudiés :

Type d'accident (135 cas)	France (91 cas)		Etranger (44 cas)	
	Nb cas	%	Nb cas	%
Rejets dangereux (NH <sub>3</sub> / NH <sub>4</sub> OH)	66	72,5	43	97,7
→ Dans l'air	47	51,6	41	93,2
→ Dans l'eau (ou dans un égout)	16	17,6	2	4,5
Rejet NH <sub>3</sub> / NH <sub>4</sub> OH non précisé	24	26,4	2	4,5
Sans objet (aucune fuite constatée)	5	5,5	-	-
Incendies	29	33,8	15	34,1
Explosions	2	2,2	21	47,7
Projections, chutes d'équipements	2	2,2	-	-
Presque accidents	1	1,1	-	-
Effets domino	7	7,7	4	9,1

Répartition par types de conséquences :

Conséquences (135 cas)	France (91 cas)		Etranger (44 cas)	
	Nb cas	%	Nb cas	%
Accidents peu ou non renseignés	28	30,8	12	27,3
Morts	1	1,1	6	13,6
Blessés graves	5	5,5	1	2,3
Total blessés / intoxiqués	23	25,3	18	40,9
Dégâts matériels internes	41	45,1	32	72,7
Dégâts matériels externes	4	4,4	2	4,6
Chômage technique	9	9,9	-	-
Arrêt de distribution d'eau	1	1,1	-	-
Arrêt de distribution d'électricité	1	1,1	-	-
Evacuation de personnes (employés/externes)	19	20,9	7	15,9
Confinement de personnes	2	2,2	2	4,6
Limitation de la circulation	7	7,7	-	-
Autres privations d'usage	1	1,1	-	-
Pollution atmosphérique avérée (plaintes, etc.)	23	25,3	7	15,9
Pollution des eaux de surface	12	13,2	-	-
Contamination des sols	1	1,1	-	-
Atteintes de la faune sauvage	12	13,2	-	-
Atteintes aux cultures	1	1,1	-	-
Aggravation du risque	45	49,5	25	56,8
Autres (rejets égouts, en stations, etc.)	2	2,2	2	4,6
Sans conséquence	7	7,7	2	4,6
Inconnues	3	3,3	2	4,6

Un seul accident avec décès d'une personne est connu en France. La victime est un marin qui est tué, le 25 août 1988, à la suite d'une fuite d'ammoniac dans les cales d'un thonier à quai.

Origine des accidents (R : réfrigération, HR : hors réfrigération) :

Origines	France (162)				Etranger (194)			
	R (91)		HR (71)		R (44)		HR (150)	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%
<b>Défaillances matérielles de toutes natures</b>	<b>44</b>	<b>48,4</b>	<b>30</b>	<b>42,3</b>	<b>21</b>	<b>47,7</b>	<b>60</b>	<b>40,0</b>
Défaut acier ou appareillage et fatigue	1	1,1	2	2,8	1	2,3	5	3,3
Corrosion	2	2,2	1	1,4	2	4,6	5	3,3
Vibrations / chocs / chutes d'appareils	2	2,2	6	8,5	2	4,6	9	6,0
Fuite / rupture presse-étoupe, joint ou bride	7	7,7	15	21,1	3	6,8	9	6,0
Défaillance équipement (pompe / compresseur ...)	5	5,5	2	2,8	4	9,1	7	4,7
Défaillance d'une vanne (rupture ou fuite)	5	5,5	2	2,8	3	6,8	8	5,3
Soupapes ou clapets défectueux	1	1,1	5	7,0	1	2,3	8	5,3
Colmatage d'une tuyauterie	-	-	1	1,4	1	2,3	1	0,7
Mélange ou décomposition d'un produit	-	-	4	5,6	-	-	5	3,3
Défaillance régulation / instrumentation / automatisme / alimentation électrique.	8	8,8	3	4,2	2	4,6	3	2,0
Allumage par étincelle / éclairage / chauffage / moteur / court-circuits	2	2,2	-	-	8	18,2	3	2,0
Perte de contrôle du procédé	7	7,7	8	11,3	3	6,8	7	4,7
Erreur de conception ou de montage (soudure ...)	6	6,6	2	2,8	1	2,3	5	3,3
Entretien insuffisant (hors corrosion)	6	6,6	2	2,8	-	-	-	-
Facteur humain (erreurs, consignes, etc.)	13	14,3	10	14,1	3	6,8	12	8,0
Vandalisme, terrorisme ou actes volontaires	2	2,2	6	8,5	-	-	5	3,3
Soleil, gliss. de terrain, pluie, tornade	1	1,1	1	1,4	-	-	3	2,0

#### Enseignements pour le site, définition d'améliorations

Les risques liés à l'ammoniac ont été pris en compte à la mise en place des installations :

- La quantité d'ammoniac présente dans les installations est réduite (0,8 tonne).
- Les prescriptions de l'arrêté 4735 pour ce type d'installation ont été prises en compte.
- L'ensemble des installations est situé dans un local béton confiné et résistant
- Prévention : une fuite serait détectée (détection ammoniac)
- Protection : extracteur ammoniac avec rejet en hauteur (24,8 m) asservi à la détection et soupapes avec rejet en hauteur (24,8 m).

## 5. ANALYSE DES RISQUES EXTERNES AU SITE

### 5.1. Risques liés à l'environnement physique

#### 5.1.1. Inondation

##### Données existantes

D'après les données du PPR (Plan de Prévention des Risques) de la Communauté Urbaine de Strasbourg, le site n'est pas situé en zone inondable.

##### Effets redoutés

L'effet principal redouté est l'indisponibilité des installations.

##### Mesures prises

La majorité des installations sont en hauteur et non au niveau du sol.

Conclusion : Le risque inondation n'est pas présent et n'est pas pris en compte particulièrement.

#### 5.1.2. Séismes

##### Données existantes

D'après le Code de l'Environnement (articles R 563-1 à 563-8 et D 563-8-1 relatifs à la prévention du risque sismique, modifiés par le décret de 22 octobre 2010), la commune de Strasbourg se trouve en zone de sismicité modérée (voir tome 2 § 2.1.3.1).

##### Effets redoutés

Dans l'hypothèse catastrophique d'un séisme important, les conséquences pourraient être préjudiciables aux édifices tels que les cellules de stockage. En cas d'effondrement de silo, le grain contenu dans les cellules et les gravats pourraient être répandus au sol.

Les conséquences d'un accident de ce type sont étudiées dans l'analyse détaillée avec calcul des distances atteintes en cas d'effondrement de silo.

##### Mesures prises

Les constructions reposent sur des sols stables avec des fondations spéciales adaptées de type pieux, il n'y a pas de protection complémentaire prévue.

Conclusion : Il n'y a pas de prise en compte particulière du phénomène étant donnée la faible exposition au risque.

### 5.1.3. Phénomènes climatiques exceptionnels

#### 5.1.3.1. Neige, vent, température, grêle

##### Effets redoutés

Données existantes : voir le paragraphe Climatologie du tome II "Description de l'Environnement".  
 Surcharge, envol de zones de bâtiments, difficulté ventilation (forte température), bris châssis (grêle).

##### Mesures prises

Les bâtiments ont été conçus selon les règles techniques en vigueur prenant en compte la résistance aux phénomènes climatiques de la région au moment de leur construction. A titre indicatif les valeurs de vitesses de vent et de charges de neige pour le type de région concerné sont les suivantes (source : règles NV65 2009) :

Phénomène concerné	Région	Valeurs normales	Valeurs extrêmes
Vent	2	31,3 m/s ou 112,7 km/h	41,4 m/s ou 149,1 km/h
Neige	C1	55 daN/m <sup>2</sup>	90 daN/m <sup>2</sup>

Conclusion : ce risque a été pris en compte à la construction des bâtiments.

#### 5.1.3.2. Foudre

##### Effets redoutés

La foudre est une source d'ignition potentielle d'incendie soit par apport de l'énergie d'activation d'une combustion soit par génération à l'endroit où elle s'abat d'une température locale qui pourrait être supérieure à la température d'auto-inflammation des produits présents.

Le tableau suivant présente de façon simplifiée les principaux effets d'un coup de foudre sur une installation.

Effets directs du coup de foudre	Phénomènes physiques	Conséquences / Risques potentiels
Effets thermiques	Effets de fusion liés à la quantité de charges électriques au point d'impact Effets de dégagement de chaleur par effet Joule	Echauffement suite au passage de l'énergie de la foudre : - perçage de capacité - incendie - allumage d'une atmosphère explosive
Effets d'amorçage	Impédances différentes (canalisations, bâtiments, ...) = différence de potentiel pouvant créer des étincelles ou des arcs électriques Coupure de tension Surtension	Mise en œuvre de paratonnerres Création de différences de potentiels Onde de chocs sur les circuits électriques et électroniques Champs électriques ou magnétiques rayonnés Risque d'allumage d'une atmosphère suroxygénée ou explosible Destruction de sources d'énergie Risque d'arrêt de certaines fonctions de sécurité Risque de destruction du matériel sensible et de commande du process par surtension due à l'onde de choc ou à des IEMF (Impulsions Electromagnétiques de Foudre) Mauvais fonctionnement de l'informatique / automatisme Mauvais fonctionnement de la gestion des sécurités
Effets électrodynamiques	Apparition de forces	Passages de courants importants, risques de déformation ou rupture d'éléments - descente paratonnerre - canalisations - câbles électriques

### **Mesures prises**

Tous les équipements bénéficient de mises à la terre : il s'agit principalement des bâtiments, moteurs et équipements de manutention.

La valeur de résistance de la mise à la terre des équipements motorisés ainsi que des charpentes est inférieure à la valeur réglementaire de 10 ohms et fait l'objet d'un rapport d'expertise annuel par un organisme de contrôle agréé.

Les modifications des installations en vue de l'augmentation de production sont intérieures aux bâtiments existants et ne sont pas de nature à nécessiter une modification des installations de protection contre la foudre.

Le site de Strasbourg a fait l'objet d'une étude foudre (analyse préalable du risque foudre et étude technique). Les conclusions de cette étude ont été suivies sur le site. Les installations de protection foudre font l'objet d'une vérification périodique.

Conclusion : ce risque est pris en compte sur le site.

## 5.2. Risques liés aux voies de communication

### 5.2.1. Voies routières

#### Voies de circulation internes

##### Effets redoutés

Le risque redouté est de type collision, avec ou suivie d'un incendie, voire d'un épanchement massif.

##### Prise en compte sur le site

La circulation sur le site concerne :

- les voitures du personnel, des entreprises extérieures et des clients du site
- les camions de livraison et d'expédition du grain

Le site dispose d'un plan de circulation et la vitesse est limitée à 20 km/h. Les véhicules légers des employés stationnent sur un parking spécifique dissocié du flux camions.

Conclusion : ce risque n'est pas pris en compte.

#### Voies routières extérieures au site

##### Importance du trafic

Les axes de communications proches sont la rue du Port du Rhin, qui permet l'accès au site, et la rue de la Minoterie. La rue du port du Rhin compte un trafic d'environ 10 000 véhicules/jour, et la rue de la Minoterie présente un trafic relativement faible (uniquement accès des véhicules aux entreprises de la zone).

Les bâtiments sont relativement éloignés par rapport aux axes proches et séparés côté rue de la Minoterie par un mur. Les bâtiments sont par ailleurs de conception robuste, pouvant résister à un choc de véhicule. Les effets les plus graves attendus en cas de choc routier sont un effondrement de bâtiment. Les effets liés à un effondrement de silo sont étudiés en partie modélisation des scénarios d'accident.

Les distances séparant les bâtiments des voies de communications (hors bâtiments administratifs et atelier) sont les suivantes :

Bâtiments	Distance / rue du Port du Rhin (m)	Distance / rue de la Minoterie (m)
Boisseaux silo A	25	35
Silo A	35	10
Tourailles M2	30	90
M1	55	25
Germination M2	90	55
Silo C	100	90
Boisseaux silo C	110	125
Silo B	160	30

##### Prise en compte sur le site

Les installations du site sont distantes par rapport aux axes routiers proches et séparées de ces axes par des murs par endroits. La vitesse est limitée à 50 km/h, la zone étant plane (pas de phénomène de pertes de freinage à redouter). Le risque de choc grave sur un bâtiment est difficile à envisager.

Conclusion : ce risque n'est pas pris en compte.

### 5.2.2. Voies ferrées

Le port dispose d'un important réseau ferroviaire (150 km de voies), directement relié à la voie ferrée Strasbourg - Kehl (France - Allemagne). Cette voie passe à environ 250 m au Sud-Est du site. Un embranchement ferré borde le site à l'Ouest.

Conclusion : ce risque n'est pas pris en compte. Les effets les plus graves attendus en cas de choc lié à un train sont un déraillement suivi d'un effondrement de bâtiment. Ces effets sont extrêmement peu probables. Les effets liés à un effondrement de silo sont étudiés en partie modélisation des scénarios d'accident.

### 5.2.3. Voies aériennes

D'après la sécurité civile, les risques de chute d'un aéronef les plus importants se situent au moment du décollage et de l'atterrissage. La zone, admise comme la plus exposée du point de vue probabiliste, est celle qui se trouve à l'intérieur d'un rectangle délimité par :

- Une distance de 3 km de part et d'autre du bout de piste
- Une distance de 1 km de part et d'autre de la largeur de la piste

Les aérodromes les plus proches sont Strasbourg-Neuhof et Strasbourg-Entzheim, situés à environ 2 km au Sud et 11,5 km au Sud-Ouest. Compte tenu de la distance, le site n'est pas concerné par les risques spécifiques aux manœuvres de décollage et d'atterrissage pour l'aérodrome d'Entzheim. En revanche, il est concerné par ces risques spécifiques pour l'aérodrome de Neuhof. Il faut cependant remarquer que le site n'est pas situé dans l'axe des pistes et que cet aérodrome est uniquement utilisé pour l'aviation de loisir.

Les probabilités de chute d'avion par an et par m<sup>2</sup> ont été recherchées : dans un article intitulé "L'expérience du CEA en matière de sûreté des installations chimiques" tiré des "Annales des Mines" d'Octobre/Novembre 1986, p 42, on relève les valeurs suivantes :

- Aviation commerciale :  $1 \times 10^{-11}$  impacts/an/m<sup>2</sup>
- Aviation militaire :  $5 \times 10^{-12}$  impacts/an/m<sup>2</sup>
- Aviation générale :  $1 \times 10^{-10}$  impacts/an/m<sup>2</sup>.

En considérant la surface du site (~ 37 000 m<sup>2</sup>) la probabilité de chute d'aéronefs (aviation générale) serait de l'ordre de  $4,2 \cdot 10^{-6}$  impacts/an, soit un risque très improbable.

Conclusion : conformément à la circulaire du 10 mai 2010, ce risque n'est pas pris en compte, d'autant que les conséquences majeures seraient principalement liées à l'impact de l'avion lui-même qu'aux effets dominos possibles sur les installations.

### 5.3. Risques liés à l'environnement industriel et humain

#### 5.3.1. Environnement industriel

Les risques liés aux établissements proches sont repris dans le tableau suivant.

Etablissement	Activité	Distance au site	Risque en cas d'accident majeur	Effets attendus pour le site étudié
Cogénération	Installation de combustion	En limite Est	Incendie explosion	-
Chaufferie	Installation de combustion	~ 60 m au Nord	Incendie explosion	-
Port autonome de Strasbourg	Terminal conteneurs Nord	~ 100 m à l'Ouest (de l'autre côté du bassin du Commerce)	Incendie	-
UNIBETON	Centrale à béton prêt à l'emploi	~ 100 m au Nord	Incendie	-
ARMBRUSTER	Séchage - stockage - négoce de céréales, de semences, d'engrais et de produits agropharmaceutiques	~ 150 m à l'Est	Explosion de poussières	-
ESCAL	Escargots préparés et produits de la mer surgelés	~ 120 m au Nord-Est	Incendie	-
BMW	Import - distribution pièces de rechange et accessoires autos et motos	~ 200 m au Nord-Est	Incendie	-

Les installations voisines ne sont pas à l'origine de risques susceptibles d'être à l'origine d'effets dominos pour le site **Soufflet Malt**. Conclusion : ce risque n'est pas spécifiquement pris en compte.

#### 5.3.2. Risques liés aux actes de malveillance

La malveillance peut aussi porter atteinte à l'intégrité des équipements.

Les risques redoutés liés à la malveillance peuvent être de plusieurs types :

- Vol (produits, matériels divers...)
- Exposition au feu de stockage de produits
- Fermeture de l'arrivée de gaz du site
- Dégradation du matériel d'extinction incendie
- Tirs avec une arme à feu depuis l'extérieur

La nature et l'importance des agressions possibles sont difficilement prévisibles. Néanmoins, des dispositions de différentes natures concourent à assurer la protection du site contre la malveillance :

- Le site est entièrement clôturé et équipé de portails
- Du personnel est présent sur le site 24h/24, à l'exception de quelques jours de fermetures dans l'année.
- Les bâtiments sont fermés à clefs pendant et en dehors des heures de journée
- Un réseau de caméras a été mis en place permettant de surveiller les accès

Conclusion : en application de la circulaire du 10 mai 2010, les actes de malveillances ne seront pas étudiés plus précisément dans la suite de l'étude de dangers.

## 6. ANALYSE DES RISQUES INTERNES

### 6.1. Analyse des risques liés aux produits mis en œuvre

#### 6.1.1. Grain

##### 6.1.1.1. Nature et caractéristiques générales

Le site reçoit uniquement de l'orge et stocke de l'orge ou du blé, du malt et des sous-produits de grain (radicelles, poussières, granulés, orgettes). Le grain est stocké sec (taux d'humidité inférieur à 15,5 % pour l'orge et inférieur à 4,5% pour le malt). L'orge provenant d'autres silos de stockage, elle est déjà stabilisée en température, le malt est stocké à une température inférieure à 35°C (obtenue par refroidissement pendant 1 h 15 en fin de touraillage). Le malt vert en cours de production n'est pas stocké.

Les principales caractéristiques des grains et coproduits sont reprises dans le tableau suivant.

Produit	Taux humi.	Densité	Tonnage transitant par an actuel et futur	Capacités	Taux de rotation théorique actuel et futur
Orge	< 15,5 %	0,65 à 0,75	111 300 t 154 000 t	~ 9 000 à 21 000 t (avec ou sans silo C)	~ 5 ~ 7
Malt vert	~ 45 %	0,85	~ 120 000 t ~ 165 000 t	Trempe et germeoirs	~ 65 ~ 91
Malt non dégermé	~ 4 à 5 %	~ 0,6	~ 100 000 t ~ 140 000 t	2 x 150 t M1 2 x 120 t M2	~ 180 ~ 250
Malt sec dégermé	~ 4 à 5 %	0,5	93 500 t 130 000 t	~ 5 400 à 15 000 t (avec ou sans silo C)	~ 6 ~ 9
Granulés	< 10 %	0,5	3 900 t 5 500 t	6 x 25 t	~ 25 ~ 35
Issues et radicelles	~ 5 à 15 %	~ 0,2	~ 3 900 t ~ 5 500 t	~ 4 x 10 t	~ 100 ~ 140
Orgettes	~ 15 %	0,65 à 0,75	0 à 2 000 t (variable) 0 à 3 000 t	4 x 160 t	0 à 3 0 à 5

Il s'agit de matière organique non toxique, non inflammable et biodégradable.

##### 6.1.1.2. Particularité du grain humide et chaud

Le grain sec (< 15 % humidité) et froid (< 15 °C) est parfaitement stable. Plus il est sec et froid, plus il peut être conservé longtemps. En revanche, en présence de chaleur et d'humidité, le grain "respire" : l'amidon des réserves en présence d'oxygène se transforme en eau et en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), cette réaction étant exothermique.

A l'inverse, l'accumulation, sans apport suffisant d'oxygène dans le grain humide pourrait être à l'origine de fermentations anaérobies.

Plus le grain est chaud, plus il respire et plus il produit de la chaleur, le processus s'auto accélérant : quand la température du grain augmente de 5 °C, l'intensité respiratoire est multipliée par 2 (source : ITCF : source ITCF : Institut Technique des Céréales et des Fourrages).

Plus le grain est humide, plus il respire : du grain à 30 % d'humidité a une intensité respiratoire 400 fois plus importante que du grain à 15 % d'humidité.

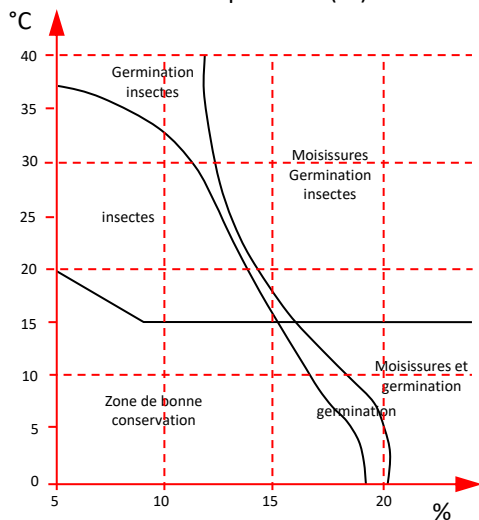
Le grain humide et chaud risque des pertes de poids et de qualité (brunissement, détérioration de la valeur alimentaire, baisse du pouvoir germinatif, acidification des matières grasses, développement d'insectes, de moisissures...) très rapides : un maïs en attente de séchage perd 2 à 3 % de son poids par jour si la température du grain monte à 50 °C.

Le risque pour l'environnement est la présence potentielle, en mélange avec le CO<sub>2</sub>, de CO, gaz toxique et inflammable (LIE élevée : 12,5 %, LSE : 74 %, à 20 °C 1 atm). Ce produit peut être présent sous forme de traces, l'activité biologique liée au grain étant avant tout à l'origine de rejets de CO<sub>2</sub>.

Le grain chaud ensilé est le grain venant d'être récolté, la température du grain étant liée à la température de l'air extérieur. Le grain venant d'être récolté ne peut refroidir facilement, la masse de grain conduisant mal la chaleur. Il doit alors suivre tout un cycle de ventilation pendant plusieurs mois. Sur site, les autres produits stockés proviennent d'autres sites collecteurs et sont stables en température (produit dit "sain loyal et marchand").

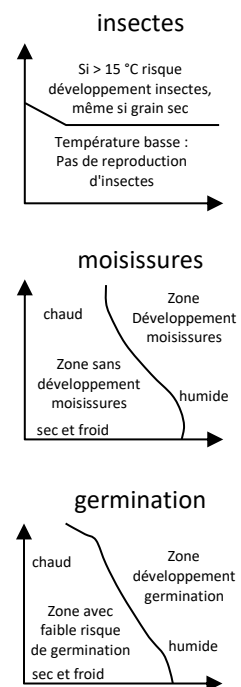
Les conditions de température et d'humidité pour une bonne conservation sont indiquées ci-dessous (source ITCF).

Diagramme de conservation des céréales  
 En fonction de la température (°C) et de l'humidité (%)



Décomposition en 3 courbes

En superposant ces 3 courbes, on trouve 5 secteurs dangereux



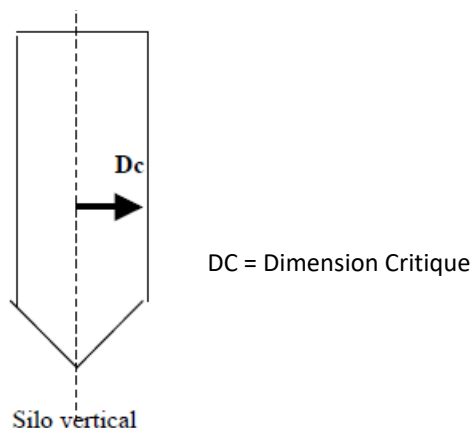
### 6.1.1.3. Risque de transition auto échauffement – auto-inflammation

Les conclusions d'une étude (Essais de fermentation de grains de blé et de tournesol bruts. INERIS 12 décembre 2001), reprises dans le guide Etat de l'art sur les silos, indiquent que le stockage de grain humide et chaud peut conduire à une élévation naturelle de température.

Ce phénomène d'auto-échauffement provoque une montée en température de l'ordre de 60 à 70 °C maximum. Dans ces conditions et si la taille du stockage dépasse une taille critique, l'auto-échauffement peut conduire à l'auto-inflammation des grains.

La dimension critique (D<sub>c</sub>, équivaut à la demi arrête d'une cellule cubique, au rayon d'une cellule cylindrique, à la demi hauteur d'un stockage à plat) est reprise dans le tableau suivant (source : guide de l'état de l'art silos).

Produit	Taille critique à une température de 30° C	Taille critique à une température de 70° C
Oléagineux (tournesol...)	15 m	3 m
Céréales (blé, orge, maïs...)	100 m	20 m



**Dimension à prendre en compte dans le cas d'un silo vertical**  
(source : guide état de l'art sur le silos, version 3, 2008)

Les dimensions maximales du stockage des cellules sont reprises dans le tableau suivant.

Stockage	Produits stockés	Dimension maximale cellules de stockage les plus vastes (largeur/2, diamètre/2)
Silo A	Malt	Cellules de forme parallélépipédique : $L/2 = 2,25$ m
Silo B	Orge et malt	$L/2 = 2,3$ m
Silo C	Orge et malt	$\varnothing/2 = 3,75$ m As de carreaux : $L_{\text{maxi}}/2 \sim 2,75$ m

La dimension critique n'est pas atteinte dans les cellules du site.

La température du grain est surveillée dans les cellules orge et en sortie de touraillage avant ensilage du malt. Les cellules malt ne sont pas équipées de thermométrie du fait des taux de rotation importants.

Les conditions d'humidité théoriques considérées pour un auto-échauffement sont particulièrement pénalisantes et ne reflètent pas le mode de stockage dans les cellules (grain < 15 % d'humidité).

Conformément à l'article 14 de l'arrêté silos du 29/03/04 modifié, une procédure en cas d'auto échauffement a été réalisée par **Soufflet Malt**.

Étant donnée la cinétique lente d'un tel phénomène, toute réaction du personnel même au bout de plusieurs jours serait possible.

Condition d'ensilage de l'orge :

- Mesure de qualité des grains (humidité, température, ...)
- Réception des grains à un taux d'humidité supérieur à 15,5%

Conditions d'ensilage du malt :

- Contrôle du taux d'humidité en sortie de touraillage
- Température des grains assurée par refroidissement de 1 h 15 avant ensilage.

#### 6.1.1.4. Combustibilité du grain sec

Le grain sec est combustible. Ce n'est pas un bon combustible. Le grain en vrac forme une masse importante à travers laquelle l'oxygène pénètre difficilement. Ce type d'incendie est rare. Au cours des accidents déjà survenus, le feu s'est propagé sans flammes importantes, par combustion lente, sous forme de braises. Un tel type d'incendie est peu spectaculaire car sans flammes ni rayonnement, mais nécessite d'être asphyxié (mousse, azote, CO<sub>2</sub>) dans le stockage ou extrait en extérieur s'il peut être pelleté.

Les effets d'un feu de grain sont généralement peu importants. Dans les cellules où ce type d'accident est survenu, sauf cas d'accidents particuliers (feu impliquant de bons combustibles avec présence de bois par exemple) les structures métalliques ne se sont pas effondrées, le revêtement en peinture n'a pas été endommagé, signe objectif d'un rayonnement peu intense. Dans les rares cas où le feu de grain n'a pu être maîtrisé et a progressé engageant des dommages importants aux matériaux de construction (béton, acier) le rayonnement a été peu important et absorbé en grande partie par les voiles des cellules, sans transmission du fait du rayonnement aux cellules voisines. Les effets liés à un feu de grain ne seront donc pas quantifiés dans la suite de l'étude.

#### 6.1.1.5. Explosibilité des poussières

##### Généralités

Les poussières sèches générées par le grain lors de son transport peuvent être susceptibles d'explosions dans des conditions bien précises. Il s'agit de particules finement divisées émises dans l'air lors de mouvements. Elles se repoussent en fonction de phénomènes ioniques ce qui les empêche de s'agglomérer et de sédimenter.

Plus les poussières sont fines, plus elles restent longtemps en suspension dans l'air. Pour des poussières sphériques de densité 1, en régime laminaire (non turbulent), la vitesse de sédimentation dans l'air des poussières peut être évaluée par la loi de Stokes. Le tableau ci-dessous indique à titre indicatif des vitesses à température ambiante (source : INERIS).

Dimension des poussières (µm)	Vitesse de chute selon loi de Stokes (mm/s)
1	0,03 (soit 10,8 cm/h)
10	3 (soit 10,8 m/h)
100	300 (soit 108 m/h)

La poussière provient principalement de la manutention du grain. La quantité représentée est difficile à quantifier. Les grains frottant les uns contre les autres ou chutant au cours de leur transport libèrent de fines particules de leur enveloppe. La quantité de poussière est d'autant plus grande que les grains sont cassés et endommagés par des insectes. Elle est d'autre part fonction du type de grain.

Les émissions de poussières sont fortement liées au type de grain stocké. Ainsi on peut distinguer :

- les produits émetteurs de poussières : blé, orge, avoine, pois, maïs
- les produits peu émetteurs de poussières, quel que soit le stade de la manutention : type tournesol, colza. Ces produits sont peu poussiéreux

### Mécanisme de l'explosion

L'explosion est une exothermie violente, caractérisée par une montée en pression.

L'origine du phénomène est une pyrolyse, accompagnée d'émission de gaz combustibles formant autour de chaque particule un mélange gazeux explosif qui s'enflamme.

La flamme se propage dans le nuage. Elle est précédée d'une onde de pression qui est provoquée par l'expansion des gaz chauds formés par la combustion et qui entraîne les poussières du nuage.

D'autres poussières déposées sur les parois de l'enceinte où se déroule l'explosion, peuvent être soulevées et donner lieu à des explosions successives ou explosion secondaires. Une explosion primaire de faible intensité peut donner lieu à des explosions secondaires très violentes.

Une suspension dans l'air de particules solides constitue donc, lorsque la matière en suspension dans l'air est combustible, ce qui est le cas de la poussière de céréales, une association d'un comburant et d'un combustible.

Une telle association a des propriétés explosives si le mélange des constituants est suffisamment intime, c'est à dire si la matière dispersée est en fines particules et si le rapport de la masse du combustible à l'air a une valeur convenable.

Le régime d'explosion est la déflagration : la flamme se propage à une vitesse subsonique et est précédée d'une chasse d'air due à l'expansion des gaz brûlés qui se déplace à vitesse sonique dans les gaz de combustion. Il peut y avoir une transition vers la détonation dans des cas particuliers, si l'explosion se propage dans un volume très allongé par exemple.

### Conditions et caractérisation d'une explosion

Le risque d'explosion est envisageable si 6 conditions sont réunies :

1. Présence de poussières combustibles de fine granulométrie
2. Poussières en suspension dans l'air
3. Confinement (c'est à dire sous bâtiment fermé)
4. Présence d'une source d'inflammation
5. Concentration de poussières suffisante
6. Présence de comburant

Si une seule de ces conditions n'est pas présente, il ne peut y avoir d'explosion. La prévention repose sur la suppression d'une ou plusieurs de ces causes.

La violence d'une explosion varie très fortement en fonction des modalités de présence de ces conditions.

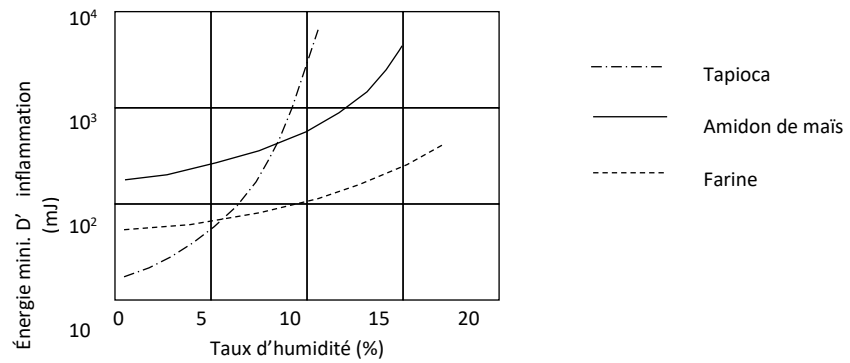
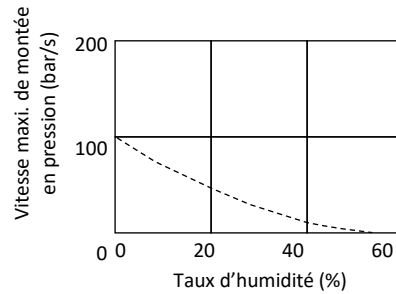
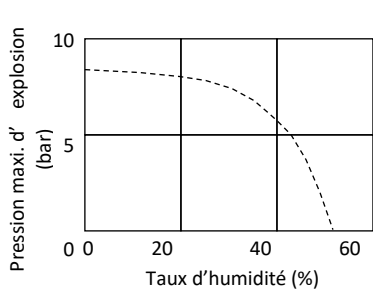
Plus ces conditions sont accentuées, plus l'explosion aura tendance à être violente. Plus la poussière est très fine, forme un nuage turbulent et se situe en présence d'une source d'inflammation importante, plus il y a présence d'oxygène et plus l'explosion sera violente.

La résistance de la capacité considérée (> pression maximale d'explosion) et la concentration en poussières ( $\sim 1 \text{ kg/m}^3$ ), quand elles sont importantes peuvent en revanche permettre de diminuer les effets d'une explosion, voire d'éviter celle-ci.

Les caractéristiques d'explosivité des poussières varient par ailleurs en fonction de la nature des poussières, dans le cas présent en fonction du type de produit stocké.

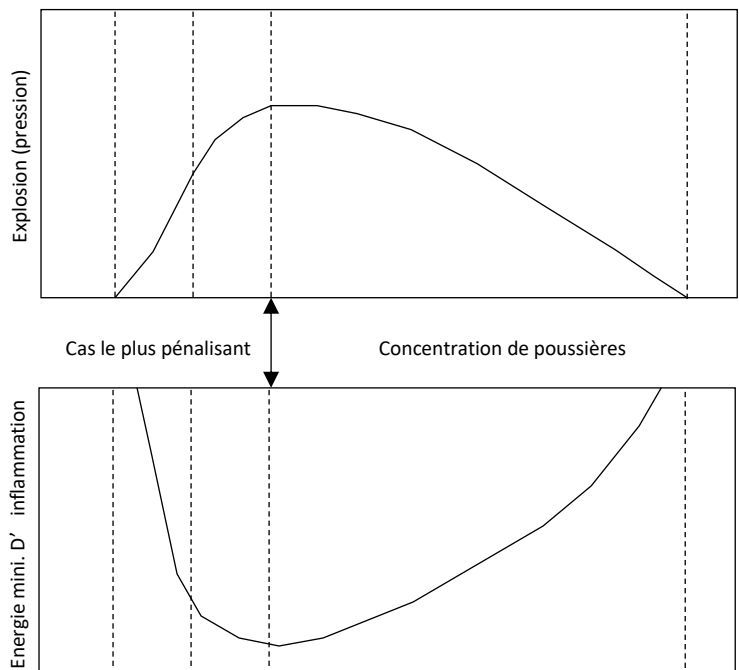
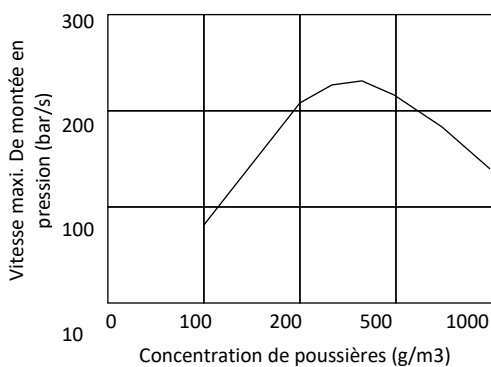
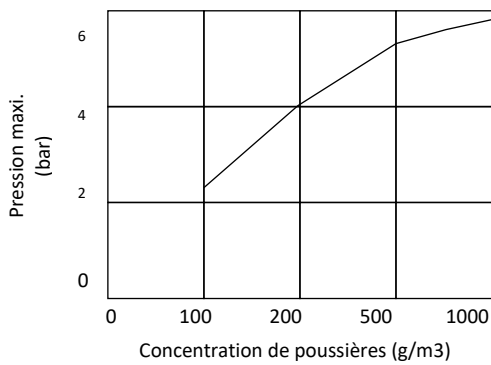
La pression due à une explosion dans une enceinte comporte une courbe ascendante puis descendante représentée sur le schéma ci-après. La violence de l'explosion est caractérisée par la vitesse de montée en pression ( $\Delta P/\Delta t$ ) et par la pression maximale pouvant être atteinte en fonction du produit considéré.

**Influence du taux d'humidité sur le comportement de l'explosion**  
 (cas de la tourbe,  $V = 1 \text{ m}^3$ , énergie d'inflammation : 10 000 J - source : GESTIS Staub Ex – Datenbank, BIA)



**Influence de la concentration de poussières (tube de Hartmann) sur le comportement d'une explosion (cas de l'amidon de maïs à 11 % d'humidité, source : Eckhoff et al., 1985)**

**Illustration de la variation typique de la violence d'explosion et de l'énergie minimale d'inflammation en fonction de la concentration de poussière sur toute la durée d'une explosion**

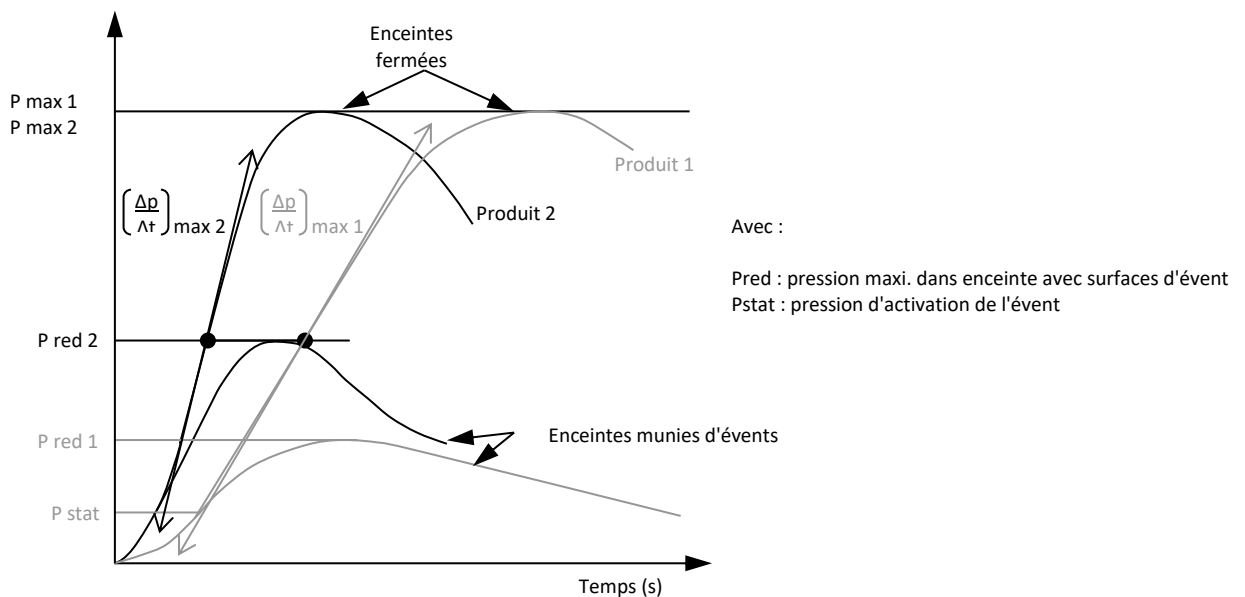


La valeur indiquant la violence d'explosion (Kst) est déduite par la loi cubique en fonction du volume de la chambre d'essai  $((\Delta P/\Delta t)_{\max} \cdot V^{1/3})$ .

Les poussières peuvent être rangées en plusieurs classes (source : norme VDI 3673) :

Classe d'explosion de poussières	Kst	Type d'explosion
St 1	0 à 200	faible
St 2	200 à 300	violente
St 3	> 300	très violente

La montée en pression varie avec la présence de surfaces de matériaux peu résistants permettant l'expansion des gaz chauds en dehors de l'enceinte et la diminution des valeurs de surpression. La présence suffisante, c'est à dire définie par calcul, de surfaces d'une résistance connue correspond à la notion d'événement d'explosion.



Les caractéristiques d'explosibilité des poussières varient selon les types de poussières et les modalités de mesure (taille de la sphère d'essai, nature des échantillons).

Le pouvoir calorifique des poussières varie de 15 à 16 MJ/kg. Les paramètres influençant les propriétés explosives sont en particulier les matières volatiles émises lors du chauffage des céréales, le taux d'humidité ou le taux de cendre soit le résidu minéral après combustion (source : INERIS).

L'annexe A du guide état de l'art sur les silos (avril 2008, page 8) indique les valeurs maximales suivantes pour les produits pouvant se trouver dans les cellules :

Produit	Kst (bar.m/s)	Pmax (bar)
Poussière de malt	170	7,5
Poussière de blé	112	9,3

#### Toxicité des poussières

Les poussières les plus fines peuvent être assimilables à des poussières alvéolaires.

### 6.1.2. Gaz naturel

Le gaz naturel est utilisé au niveau de la chaufferie touraille M2. La canalisation d'approvisionnement transite en souterrain vers la chaufferie.

Le gaz naturel est un produit extrêmement inflammable.

Il s'agit d'un gaz non toxique ne contenant pas de monoxyde de carbone. Il peut cependant causer l'asphyxie à concentration élevée par manque d'oxygène dans l'air respiré. Son "odorisation" à l'aide d'un composé soufré, le THT, le rend détectable à moins de 1 000 ppm dans l'air.

La combustion du gaz naturel libère du CO<sub>2</sub> mais une combustion incomplète peut produire du monoxyde de carbone (CO), un gaz toxique présentant un risque d'intoxication par les fumées.

Les principales caractéristiques du gaz naturel sont reprises dans le tableau suivant





Paramètres	Caractéristiques du gaz naturel
Hydrocarbures (% vol) :	
- Méthane CH <sub>4</sub>	86 à 93
- Ethane C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2 à 7
- Propane C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,5 à 3
- Butane C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,2 à 0,8
- Dioxyde de carbone	0 à 1,5
- Azote	0,5 à 5
Masse volumique : kg/m <sup>3</sup>	0,768
Densité / air	0,64
Pouvoir calorifique inférieur : PCI kWh/Nm <sup>3</sup>	9,7
[LII – LSI] (%)	[5 – 15]
N° CAS	8006-14-2
Etat Physique	Gaz
Point d'ébullition	- 210 °C
Densité gaz / vapeur	0,644
Pression de vapeur	3 900 kPa à 20 °C
Température d'auto-inflammation	410 °C
Limites d'explosivité ou d'inflammabilité (en volume % dans l'air)	limite inférieure : 1,9 % limite supérieure : 15 %

### 6.1.3. Ammoniac

L'ammoniac est présent dans la salle des machines dédiée à cette installation à proximité de la touraille de M2. Il est utilisé pour la production de froid. La quantité maximale présente est de 800 kg, à l'état liquide et gazeux selon la zone de compression liquéfaction.

L'ammoniac est toxique à une concentration pouvant être relativement faible dans l'air. En revanche il est détecté à une concentration beaucoup plus faible (5 ppm), très inférieure aux seuils de toxicité. Il est très corrosif pour la peau, les muqueuses et les yeux. De ce fait on assiste à un retrait réflexe des personnes exposées. Au contact de la peau, l'ammoniac liquéfié provoque des gelures.

Le tableau suivant synthétise les seuils de toxicité aiguë pour l'ammoniac :

Caractéristiques	Symboles de danger	Phrases H
Formule : NH <sub>3</sub> N° CAS : 7664-41-7 Etat Physique : Gaz Masse molaire : 17,03 Point de fusion : -77,7 °C Point d'ébullition : - 33,3 °C Densité : 0,682 à - 33,3 °C (ammoniac liquide) Densité gaz / vapeur : 0,59 Pression de vapeur : 860 kPa à 20 °C Point critique température : 132 °C Température d'auto-inflammation : 651 °C Limites d'explosivité ou d'inflammabilité : (en volume % dans l'air) limite inférieure : 15 % limite supérieure : 28 %	   	H221 Gaz inflammable  H314 Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux  H331 Toxique par inhalation H400 - Très toxique pour les organismes aquatiques

L'ammoniac est inflammable. La température d'auto-inflammation est de 650°C. L'explosion d'ammoniac est théoriquement possible toutefois l'ammoniac gazeux doit être en concentration importante : limites d'inflammabilité dans l'air comprises entre 16 et 25 %, celles d'un solvant classique étant par comparaison de l'ordre de 1 %.




L'ammoniac est classé aussi en dangereux pour l'environnement. Il est très toxique pour les organismes aquatiques. C'est un fluide non impactant pour l'environnement : en cas de fuite, l'ammoniac devient gazeux et suit le cycle de l'azote sans impact pour la couche d'ozone ou l'effet de serre.

L'ammoniac réagit violemment avec certains halogènes, certains acides, certains métaux lourds et avec de nombreux oxydes et peroxydes. En présence d'humidité, l'ammoniac attaque rapidement certains métaux (cuivre et zinc notamment). A température ordinaire, l'ammoniac gazeux est un composé stable. Sa dissociation en hydrogène et en azote ne commence que vers 450 – 500°C. En présence de certains métaux comme le fer, le nickel, l'osmium, le zinc, l'uranium, cette décomposition commence dès la température de 300°C et est presque complète vers 500 à 600°C.

## 6.1.4. Produits divers


### 6.1.4.1. Hypochlorite de sodium (eau de javel)

Pour rappel, l'eau de javel est employée pour le nettoyage des cuves trempage/germination. Il s'agit d'eau de javel à 47/50° chlorométrique soit une solution à 10 % d'eau de javel, ce qui équivaut au dosage des berlingots en utilisation domestique. Le stockage sur site est réalisé en bidons de 20 l sur rétention, le stockage maximal étant de 1 m3 soit 50 bidons.

Caractéristiques à 100° (Solution aqueuse à 25% NaOCl)	Symboles de danger	Phrases H
liquide ininflammable jaune vert à odeur de chlore, fortement alcalin Point de fusion : 6 °C Point d'ébullition : 100 °C Densité : 1,3 Solubilité : totalement soluble dans l'eau à 20°C, non soluble dans les solvants Toxicité poissons : CL 50 - 96 h : ~ 0,14 mg/l Produits de décomposition thermique : chlore, chlorate de sodium Stockage entre 15 et 25 °C	  	H314 : Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux  H400 : Très toxique pour les organismes aquatiques  EUH 031 : Au contact d'un acide, dégage un gaz toxique

### 6.1.4.2. Soufre

Le soufre est destiné à ajuster le pH du malt en touraille et à limiter la formation de nitrosamines dans le malt. Le soufre peut être employé sous forme de granulés introduits dans des fours spécifiques. Le soufre est enflammé après sa mise en place. L'air de combustion est introduit dans le grain en cours de touraillage. Il est stocké en sacs de 25 kg (stockage maxi : 25 t). A l'état pulvérulent, le soufre est explosible. Le grain de soufre stocké n'est pas de la fleur de soufre. Les caractéristiques d'inflammabilité et d'explosion des poussières de soufre (source : INRS et FDS) sont les suivantes :

Paramètres	Caractéristiques du soufre
Température d'inflammation en couche	220 °C
Température d'inflammation en nuage	190 °C
Énergie minimale d'inflammation (nuages)	15 mJ
Concentration minimale : maximale d'explosion (nuages)	35 g/m <sup>3</sup> , 1 400 g/m <sup>3</sup>
Pressions maximales d'explosion	5,5 bar
Vitesse maximale de montée en pression	350 bar/s
Indice de sensibilité	20
Indice de sévérité	1,2
Symbole de danger	


Il est étiqueté irritant. Sa fusion est à l'origine de rejets d'H<sub>2</sub>S. En cas d'incendie, il est à l'origine de dégagements de SO<sub>2</sub> et en moindre proportions, de SO<sub>3</sub>.

### 6.1.4.3. Insecticide

Il s'agit d'insecticide stocké dans des bidons de 25 l sous le silo B, le stockage maximal étant de 150 litres soit 6 bidons.

Ce produit peut être nébulisé sur le grain à très faible dose (4 cl par tonne de grain) à la demande du client (très rare). Il est également vaporisé en cellules et sur certains points à risques de prolifération d'insectes 2 fois par an.


Les principales données des insecticides utilisés sur le site étudié sont reprises dans le tableau suivant (source : fiche de données de sécurité).

Paramètres	Caractéristiques
Marque, produit	Sojam Diserve
Point éclair	44 °C
Etiquetage	H226 Liquide et vapeurs inflammables (Flam. Liq. 3). H302+H332 Nocif en cas d'ingestion ou d'inhalation (Acute Tox. 4). H304 Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires (Asp. Tox. 1). H318 Provoque de graves lésions des yeux (Eye Dam. 1). H335 Peut irriter les voies respiratoires (STOT SE 3). H336 Peut provoquer somnolence ou vertiges (STOT SE 3). H400 Très toxique pour les organismes aquatiques (Aquatic Acute 1). H410 Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme (Aquatic Chronic 1).
Symboles de danger	
Matières actives	Pipéronyl butoxyde, deltaméthrine

### 6.1.4.4. Acide gibbérellique

Ce produit est destiné à réguler la germination.

Le volume maximal est de 150 l répartis en bidons de 20 l sur rétention au niveau de M1 à proximité des bureaux.

Paramètres	Caractéristiques
Marque, produit	Caldic, Sarjibel
Etat	liquide
Point éclair	12 °C
Etiquetage	H225 Liquide et vapeurs très inflammables H319 Provoque une sévère irritation des yeux
Symboles de danger	
LIE/LSE	2 % - 15 %

#### 6.1.4.5. Produits stockés en atelier maintenance

Il s'agit de produits principalement métalliques (outillage, tuyaux, tôles, pièces de rechange diverses). On ne trouve pas de produits bons combustibles, sauf exceptionnellement et en très faibles quantités (emballages produits reçus, huiles neuves).

Le site peut contenir des quantités d'huile et de graisse pour les besoins en appoint représentant des volumes limités :

- Graisse noire : 100 kg maximum
- Huile mécanique : 160 l maximum
- Huile hydraulique : 50 l maximum
- Colles et silicone en tube : 30 kg maximum
- Dégrissant et graisses en aérosol : 40 kg maximum

Il s'agit de produits combustibles avec point éclair élevé (~ 200°C). Ces produits sont stockés à l'écart des silos sur rétention et sous bâtiment.

Le GNR (gazole non routier) est stocké sur site en quantité réduite (quantité maxi. : 1 m3) sur rétention.

Les huiles minérales sont des liquides combustibles (point éclair > 200 °C) à pouvoir calorifique élevé (~ 9 à 10 000 kcal/kg). Répandus dans l'environnement, ces produits ont un pouvoir polluant important : ils limitent les échanges air-eau et sont nuisibles pour les êtres vivants. Elles sont stockées sur site en quantité réduite (quantité maxi. : 1 m3) et sur rétention (local maintenance huiles neuves et silo B huiles usagées).

## 6.2. Analyse globale des risques liés aux installations

### 6.2.1. Conception des installations

#### 6.2.1.1. Implantation générale

L'implantation des différentes zones (production M1 M2, silos, bâtiments et locaux annexes) figure sur le plan masse en partie Description des installations, tome I.

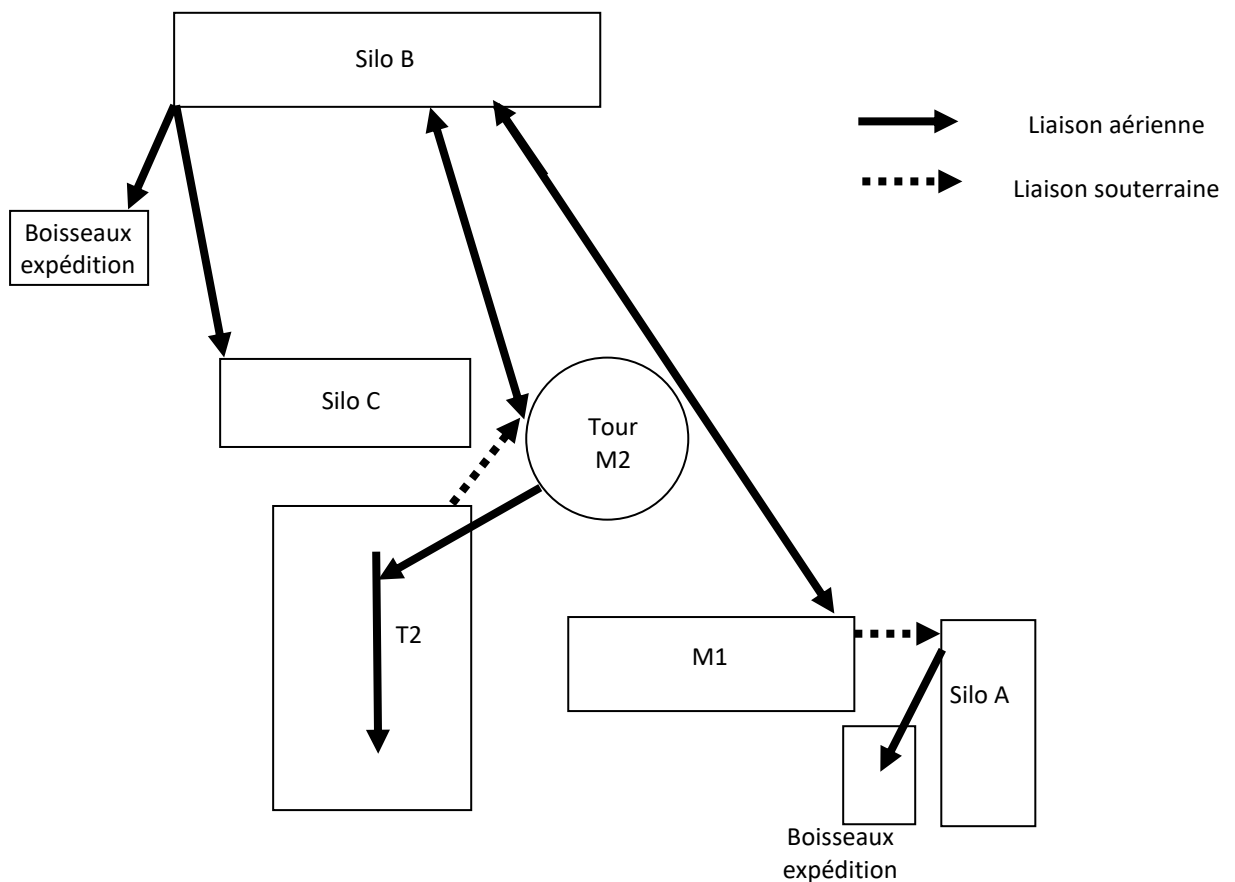
Les bâtiments du site présentent la particularité d'être distincts et éloignés entre eux et reliés par des transporteurs aériens sans bâtiment de liaison comme représenté sur le schéma suivant. Le seul cas de transporteur souterrain est le transporteur à chaîne entre M1 et le silo A. Toutefois la galerie de liaison est de faible longueur (~ 10 m), obturée sans possibilité de passage (mur fermé) et seul le transporteur forme liaison. Ce transporteur à chaîne aboutit par ailleurs au RDC de la tour du silo qui est suffisamment éventée.

La reprise de T2 se fait en souterrain (transporteurs à chaîne) mais aboutit à un élévateur extérieur avant reprise en aérien (transporteur à bande) vers le silo B.

La possibilité de propagation d'un incendie ou d'une explosion par transporteurs à bande en aérien est très réduite.

Les bâtiments sont donc découplés entre eux de fait.

#### Principes de séparation et de liaison des bâtiments entre eux



### 6.2.1.2. Zones fabrication M1 et M2

#### Bilan des activités

Les installations comprennent des produits en cours de fabrication. Un bilan des risques liés aux produits en cours de fabrication est repris dans le tableau suivant.

Phases de fabrication	M1	M2	Bilan des risques
Arrivée orge	Orge nettoyée comprenant peu de poussières Transport dans élévateurs avec faible débit (100 t/j) sous aspiration Stockage en boisseaux tampon de faible capacité	Reprise par élévateur unique sous aspiration	Risque poussières mais installations de manutention peu nombreuses, passage régulier de personnel pouvant prendre en compte toute anomalie
Trempe	Passage dans une vis mouilleuse avant mise en trempe, le produit devient humide (pas de risque d'incendie ou d'explosion), émission de CO2	Mise en trempe directe sous aspersion d'eau, le produit devient humide (pas de risque d'incendie ou d'explosion), émission de CO2	Risque d'anoxie (mais extraction d'air contrôlée), pas de risques pour les biens matériels ou l'environnement
Germination	Produit humide, émission de CO2	Produit humide, émission de CO2	Pas de risques pour les biens matériels ou l'environnement
Touraillage	Le grain arrive humide, est transféré semi humide et sous extraction d'air vers la deuxième phase de séchage : pas d'émission de poussières Refroidissement du malt pendant 1 h 15 avant transfert Séchage indirect produit par de l'air chaud (installations de combustion et PAC) Introduction de soufre : indirect et contrôle température, faibles quantités	Le grain arrive humide et est repris sec : pas d'émission de poussières Refroidissement du malt avant transfert Séchage indirect produit par de l'air chaud	Risques poussières et incendie réduits Risque gaz (incendie ou explosion) mais détection gaz et bâtiment aérés, peu résistant (T2)
Reprise et stockage malt	Stockage tampon faible capacité (analogue boisseaux) dégermage dans tour T2 sous aspiration	Transfert direct vers silo B	-
Autres activités	Granulation des issues sécurisée, nettoyage zones humides avec eau de javel	nettoyage zones humides avec eau de javel	Risques poussières, risque incendie zones issues et granulation, explosion en boisseaux

#### Mesures de prévention

Les zones de fabrication du malt sont distinctes des silos. Le système de chauffage lié au touraillage utilise le réseau de chaleur urbain (RCAU) avec complément lié aux chaudières de la chaufferie de M2 avec chauffage indirect. Le grain qui sort du touraillage est refroidi avant stockage en silos, la température étant surveillée.

De façon générale, l'installation répond aux prescriptions liées à la surveillance octohoraire (détecteurs de gaz dans la chaufferie par exemple).

La pression du gaz arrivant à la chaudière est faible, la détente principale ayant lieu au niveau du poste de détente principal (4 bar/1 bar) qui est éloigné de la chaufferie de M2.

Les conduites passent en souterrain depuis le poste de détente principal jusqu'en chaufferie (voir plan des réseaux au tome II étude d'impact). Les conduites comprennent des vannes de sectionnement automatiques reliées à des pressostats et aux capteurs de gaz avec fermeture en cas de pression anormale ou de fuite de gaz (fuite, arrachement de tuyauterie aérienne...).

Le brûlage du soufre est à l'origine de faibles flammes, sans particules incandescentes. Les points d'introduction en touraille sont éloignés des points de brûlage du soufre. La mise en route de l'équipement nécessite la présence d'une personne (allumage, lancement), le débit de combustion du soufre étant faible.

Pendant le touraillage, le grain arrive humide puis est statique pendant la phase de séchage et non émetteur de poussières. La reprise du grain sec se fait à l'aide d'équipements en nombre réduit, les équipements de reprise étant pleins de grain. Les transporteurs et élévateurs disposent de capteurs de dysfonctionnement de type contrôles de rotation, contrôles de bourrage, contrôles de déport de sangle.

Les paramètres de fonctionnement et de régulation sont contrôlés en continu : température, hygrométrie, marche des ventilateurs, rotation des vis et transporteurs, présence de produit dans les transporteurs... En cas de défaut, il y a report d'alarme via l'automate sur les pupitres de commande du conducteur de malterie et éventuellement arrêt des installations.

Les équipements sont asservis entre eux et sont en particulier asservis à la marche de l'aspiration.

La température maximale de l'air de séchage en tourailles est inférieure à la température d'auto inflammation du grain et au point éclair des huiles minérales utilisées pour les réducteurs des moteurs électriques.

Les tourailles sont accessibles sans difficulté et pourraient être arrosées en cas de sinistre.

La présence de vapeur d'eau provenant du grain dans l'air chaud de ventilation abaisse les caractéristiques d'explosion d'une poussière. La présence d'humidité sous forme de vapeur d'eau diminue l'explosivité de plusieurs manières :

- elle favorise la cohésion des poussières et leur agglomération
- elle diminue la formation des charges d'électricité statique
- elle absorbe de la chaleur

Les appareils sont mis à la terre. Une protection contre la foudre a été mise en place.

L'appareillage électrique est adapté au risque d'intrusion de poussières. Les moteurs sont équipés de disjoncteurs thermiques.

Les systèmes de transport pneumatiques vers M1 (circuit issues) comprennent des produits fins en concentration élevée, la probabilité d'une explosion étant de ce fait faible :

*« Le transport pneumatique des poussières se fait le plus souvent à des concentrations (plusieurs kilos, jusqu'à 50, par mètre cube d'air) trop élevées pour être explosibles et à des pressions ou des dépressions relatives élevées, de l'ordre de 0,5 bar. Les risques d'explosion se présentent lors des démarrages et des arrêts des installations, alors que les concentrations sont, temporairement au moins, explosives. L'électricité statique y constitue une source d'inflammation probable. Il est toujours préférable d'établir le courant d'air de transport avant d'y injecter les poussières et de l'arrêter après qu'elles aient cessé de circuler. »*

*(Source : INRS, les mélanges explosifs)*

Le risque incendie est limité. Il peut concerner néanmoins certaines zones ou installations. Le refroidisseur sous presse de granulation peut être le lieu d'une inflammation (fort débit d'air appliqué sur produit chaud). Cette zone est équipée de sécurités en prévention et en protection (voir liste en partie description des installations).

### Mesures de protection

L'appareillage de production comprend des capotages peu résistants et en partie ouverts (cas des transporteurs à bande).

Au vu du faible nombre d'installations de manutention, le cas de la tour de fabrication M2 n'est pas pris en compte (l'essentiel des volumes se compose de zones dédiées aux zones de trempe et de germination qui sont du grain humide).

Les étages de la tour M1 sont pourvus de châssis / portes de dimensions variables dirigés vers l'extérieur pouvant participer à limiter une montée en pression due à une explosion de poussières.

Les surfaces existantes dans la tour de M1 sont comparées dans le tableau de synthèse suivant avec les surfaces calculées requises sur base des équations de la norme PrEN 14491.

NB : la valeur de  $P_{red}$  est optimisée à son niveau minimum quand la surface d'évent est suffisante ce qui permet d'indiquer le niveau de  $P_{red}$  max pouvant être atteint en cas d'explosion.

Volume de bâtiment	L (m)	D ou D <sub>equ</sub> * (m)	L/D	Volume (m <sup>3</sup> )	P <sub>max</sub> (bar)	P <sub>red</sub> (mbar)	P <sub>stat</sub> (mbar)	K <sub>st</sub> (bar.m/s)	Surface d'évent calculée EN 14491 (m <sup>2</sup> )	Surface fragile existante (m <sup>2</sup> )
+1	-	-	1	1 035	7,5	100	100	170	87,46	67,7 m <sup>2</sup>
+4	-	-	1	356	7,5	100	100	170	42,78	23 m <sup>2</sup>
+5	-	-	1	356	7,5	100	100	170	42,78	23 m <sup>2</sup>
+6	-	-	1	580	7,5	100	100	170	31,7	39,8 m <sup>2</sup>

#### Conclusions :

- Il existe des surfaces fragiles pouvant servir d'évent à chaque étage
- Ces surfaces ne correspondent pas aux surfaces d'évent nécessaires aux étages + 1, + 4 et + 5
- Ces surfaces d'évent ont été calculées par rapport aux volumes existants et ne tiennent pas compte des difficultés techniques de mise en place. Les effets liés à des explosions dans les différents volumes et la criticité de ces scénarios sont donc évalués dans la suite de l'étude.

Par ailleurs les boisseaux granulés et les 2 boisseaux poussières et radicales extérieurs à la tour M1 sont couverts par un platelage en tôle larmée boulonné en périphérie. Ce type de fixation est de résistance inférieure par rapport à un plancher soudé en continu.

Les filtres centralisés sont par ailleurs pourvus de surfaces d'évent.

### 6.2.1.3. Silos de stockage

#### Implantation

Les silos A (1903) et B (1908) du site ont été construits à des dates très antérieures par rapport aux arrêtés silos de 1983, 1998 et 2004 modifié. Le silo C a été construit en 1993 et est conforme aux prescriptions de l'arrêté de 1983.

Afin d'augmenter les distances d'isolement par rapport au voisinage, une bande de terrain de 40 m de largeur environ est louée par **Soufflet Malt** au port de Strasbourg en bordure du silo B côté Nord.

L'article 6 de l'arrêté silo du 29 mars 2004 modifié concernant les silos nouveaux prescrit des distances d'isolement de 25 et 50 m. Un plan des distances d'isolement au droit du site est repris en page suivante.

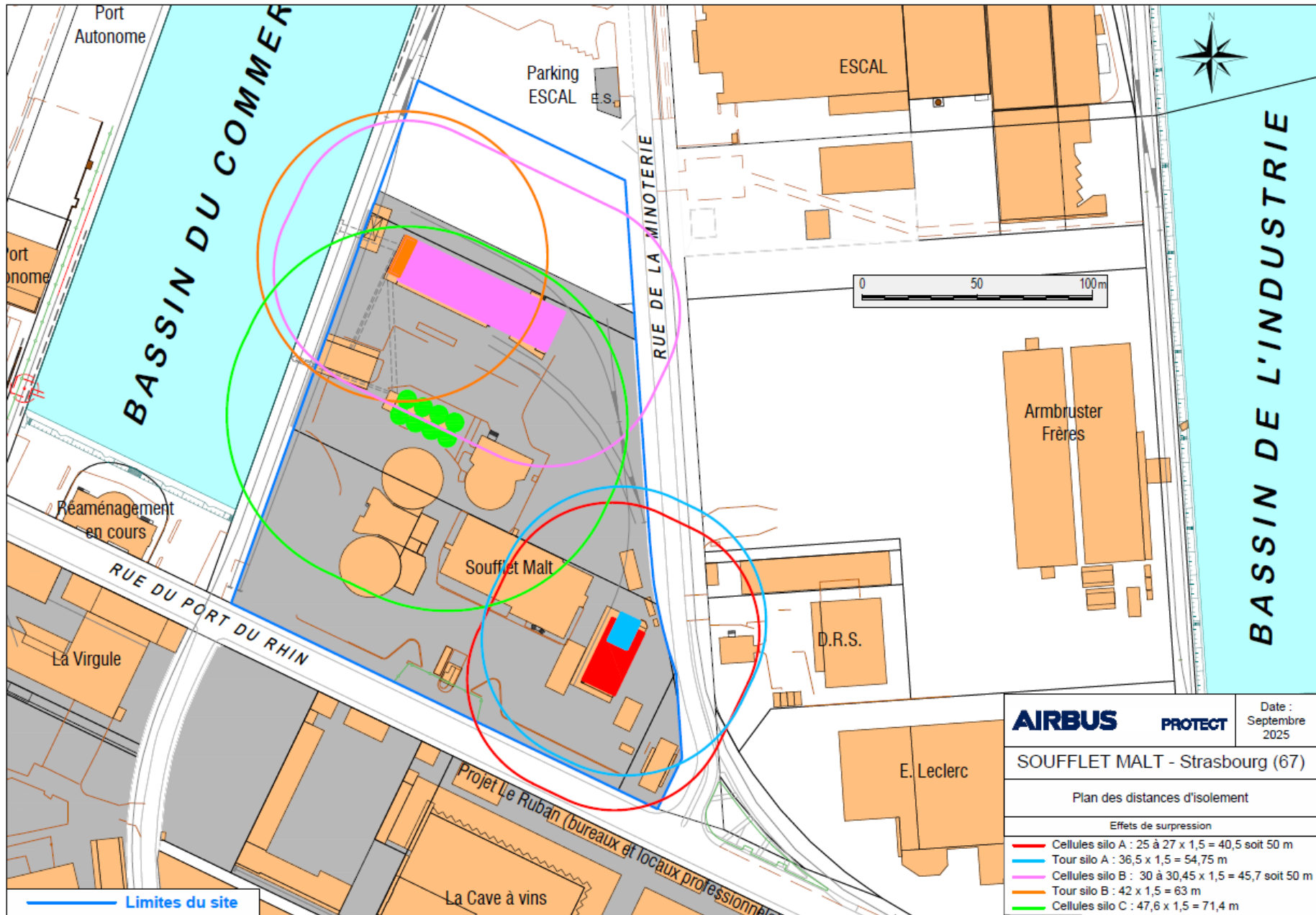
A titre indicatif à l'intérieur de ces surfaces d'isolement il y a :

- 1 voie de communication > 2 000 véhicules/jour (50 m)
- 1 voie de communication < 2 000 véhicules/jour (25 m)

NB : en l'absence de comptage et au vu du type d'axe routier, la rue de la Minoterie a un trafic évalué à moins de 2 000 véhicules/jour.

Articles arrêté 29/03/04	Situation sur site
<p><b>Art. 6 :</b> 25 m / 50 m et 1,5 fois la hauteur par rapport :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aux immeubles occupés par des tiers</li> <li>- Aux immeubles de grande hauteur</li> <li>- Aux ERP</li> <li>- Aux routes avec débit &gt; 2000 véhicules/j</li> <li>- Aux voies ferrées &gt; 30 trains voyageurs/j</li> <li>- Aux zones destinées à l'habitat (doc. d'urbanisme)</li> <li>- 25 m des routes avec débit &lt; 2000 véhicules/j</li> </ul>	<p>A l'intérieur des distances d'isolement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 immeuble occupé par des tiers : entreprise de maçonnerie</li> <li>- Pas d'immeuble de grande hauteur</li> <li>- Pas d'ERP</li> <li>- 1 route de plus de plus de 2 000 véhicules par jour (silo A)</li> <li>- Pas de zones destinées à l'habitat</li> <li>- Pas de voie ferrée voyageurs de plus de 30 trains voyageurs/jour</li> <li>- 1 route de moins de 2 000 véhicules par jour (silo A silo B)</li> </ul>
<p><b>Art. 7 :</b> locaux administratifs à plus de 25 m des silos verticaux (hors local de conduite et vestiaires sanitaires) sauf définition de mesures complémentaires</p>	<p>Pas de local administratif à moins de 25 m</p>

Mesure d'amélioration : l'immeuble d'habitation proche du silo A a été acquis en 2025 en vue d'accroître la maîtrise foncière dans l'environnement proche du site. Il ne sera plus destiné à des tiers et est voué à la démolition.



### **Mesures de prévention**

Les prescriptions de l'arrêté silo du 29 mars 2004 modifié ont été prises en compte (voir comparatif en annexe). Ces prescriptions prennent largement en compte les conditions de sécurité.

Il s'agit en particulier :

- De l'éloignement des postes de personnels non strictement nécessaires au fonctionnement des silos
- Des contrôles de fonctionnement divers sur équipements de manutention : élévateurs, transporteurs, vis (rotation, bourrage, déport de sangle...).
- De la protection contre la foudre
- De la modification des installations électriques par rapport au risque d'explosion de poussières
- De la mise en place d'évents d'explosion sur les filtres
- De la mise en place de sondes thermométriques dans les capacités de stockage orge

Les sangles sont de qualité non propagatrice de feu et antistatiques. Les courroies sont pour la plupart antifeu et antistatiques.

Par ailleurs les équipements sont asservis entre eux et asservis à l'aspiration, la plupart des équipements sont fermés ce qui permet au maximum de limiter les émissions de poussières.

Les cellules sont conçues pour le stockage de grain. L'aspect extérieur des silos ne présente en particulier pas d'anomalies de type épaufrures importantes ou ferrailles apparentes.

Des magnétiques permettant de récupérer les produits ferreux pouvant être à l'origine d'étincelles ou de dégâts aux installations sont en place à différents niveaux (voir description des installations).

### **Mesures de protection**

#### Surfaces d'évent

L'appareillage de manutention comprend des capotages peu résistants et en partie ouverts (cas des transporteurs à bande). Les filtres sont par ailleurs pourvus de surfaces d'évent.

Les étages des silos sont pourvus de châssis / portes de dimensions variables dirigés vers l'extérieur pouvant participer à limiter une montée en pression due à une explosion de poussières.

Les surfaces existantes sont comparées dans le tableau de synthèse ci-après avec les surfaces calculées requises sur base des équations de la norme EN 14491.

NB : la valeur de Pred est calculée au vu de la surface d'évent ce qui permet d'indiquer le niveau de Pred max pouvant être atteint en cas d'explosion.

## - Silo A (malt)

Volume de bâtiment	L (m)	D ou D equ* (m)	L/D	Volume (m³)	Pmax (bar)	Pred (mbar)	Pstat (mbar)	Kst (bar.m/s)	Surface d'évent calculée EN 14491 (m²)	Surface fragile existante (m²)
Tour RDC	-	-	1	163	7,5	100	100	170	7,15	17,35
Salle sous cellules	-	-	1	2 493	7,5	100	100	170	55,72	64,94
Tour + 1	-	-	1	116	7,5	100	100	170	5,53	9,47
Tour + 2	-	-	1	116	7,5	100	100	170	5,53	14,4
Tour + 3	-	-	1	116	7,5	100	100	170	5,53	14,4
Tour + 4	-	-	1	116	7,5	100	100	170	5,53	7,8
Tour + 5	-	-	1	116	7,5	100	100	170	5,53	14,4
Tour + 6	-	-	1	159	7,5	100	100	170	7,01	10,8
sur cellules 1	-	-	1	293	7,5	140*	140	170	9,3	9,3
sur cellules 2	-	-	1	237	7,5	120*	100	170	8,6	8,6
sur cellules 3	-	-	1	200	7,5	130*	100	170	7,2	7,2
Tour + 7	-	-	1	486	7,5	100	100	170	30,96	30,96
Cellule	20	5,08	3,94	400	7,5	150	150	170	51,06	< 1
Cellule	20,5	3,5	5,86	200	7,5	150	150	170	36,61	< 1

\* Pred max calculée, le descriptif des cloisons de découplage indiquant une tenue à 300 mbar.

## - Silo B (malt et orge)

Volume de bâtiment	L (m)	D ou D equ* (m)	L/D	Volume (m³)	Pmax (bar)	Pred (mbar)	Pstat (mbar)	Kst (bar.m/s)	Surface d'évent calculée EN 14491 (m²)	Surface fragile existante (m²)
Fosse élévateurs	16	4,9	3,27	296	7,5	300	100	170	15,5	15,5
Salle sous cellules bloc Est	-	-	1	1 180	7,5	180	100	170	23	23
Tour RDC	-	-	1	648	7,5	100	100	170	20,2	21
Salle < cellules et tour + 1	-	-	1	4 890	7,5	100	100	170	92,4	120,4
Tour + 2	-	-	1	403	7,5	160	100	170	11	11
Tour + 3	-	-	1	400	7,5	150	100	170	14,05	21,5
Tour + 4	-	-	1	429	7,5	150	100	170	14,81	23
Tour + 5 et sur cellules	-	-	1	2 350	7,5	150	100	170	53,23	650
Cellule orge 400 m³	19	5,19	3,66	400	9,3	150	150	112	42,09	< 1
Cellule malt 400 m³	19	5,19	3,66	400	7,5	150	150	170	49,08	< 1
Cellule orge 200 m³	19	3,59	5,29	200	9,3	150	150	112	29,99	< 1
Cellule malt 200 m³	17	4,51	3,77	200	7,5	150	150	170	29,6	< 1
Cellule orge bloc Est	27	3,39	7,96	220	9,3	150	150	112	38,21	< 1
Cellule malt bloc Est	27	3,39	7,96	220	7,5	150	150	170	44,56	< 1

## - Silo C (orge et malt)

Volume de bâtiment	L (m)	D ou D equ* (m)	L/D	Volume (m³)	Pmax (bar)	Pred (mbar)	Pstat (mbar)	Kst (bar.m/s)	Surface d'évent calculée EN 14491 (m²)	Surface fragile existante (m²)
Fosse élévateurs	7,8	5,7	1,37	138	7,5	130	100	170	8,7	8,7
As de carreau	40	4	10	480	7,5	300	200	170	55,22	< 1

\* diamètre équivalent avec :  $2 \cdot \sqrt{\frac{A^*}{\pi}}$  avec A\* = surface considérée

- Cas des surfaces servant d'évent sur les cellules cylindriques du silo C :
  - o Détermination de la contrainte de traction maximale admissible

En considérant un béton de résistance à la compression de 25 MPa, la résistance à la traction est de 2,1 MPa. Les parois de ces cellules ont un diamètre intérieur de 7,5 m et une épaisseur de 20 cm. La contrainte de traction s'exprime de la façon suivante :

$$\sigma = \frac{P \times R}{e}$$

avec  $\sigma$  : contrainte de traction  
 P : Pression dans la cellule  
 R : rayon de la cellule  
 e : épaisseur de la paroi béton

La contrainte de traction doit être inférieure à la contrainte correspondant au béton et donc :

$$P = \frac{\sigma \times e}{R}$$

Soit  $P_{\text{resist}} = 1\,112$  mbar

La pression maximale admissible en cellule sera supposée comme étant de 1 112 mbar dans la suite de cette étude.

- o Calcul de la pression résiduelle maximale dans la cellule en cas d'explosion

Données de calcul :

- L équ. cellule : 40,5 ou 43,8 m selon cellule
- D cellule : 7,5 m
- Volume cellule : 1 700 ou 1900 m<sup>3</sup>
- Kst malt : 170 bar.m/s
- Pmax : 7,5 bar
- Pred : 1 112 mbar
- Pstat : 300 mbar

NB : particules fines en concentration explosible dans tout le volume.

La surface d'évent en place sur les cellules est de ~ 40 m<sup>2</sup>. Cette surface correspond à la surface de la cellule moins la surface de poutres.

Résultats :

La surface de décharge de l'explosion est égale à la surface de prédalles en place.

Compte tenu du type de couverture (prédalles béton), la pression de déclenchement est prise comme étant de 300 mbar.

La pression résiduelle dans la cellule en cas d'explosion est calculée à l'aide de WinVent 4.0 :

Zone	L (m)	D (m)	L/D	Volume (m <sup>3</sup> )	Pmax (bar)	Kst (bar.m/s)	A (m <sup>2</sup> )	Pstat (mbar)	Predmax (mbar)
Cellules malt 1 700 m <sup>3</sup>	40,5	7,5	5,4	1 700	7,5	170	40	300	1 000
Cellules malt 1 900 m <sup>3</sup>	43,8	7,5	5,84	1 900	7,5	170	40	300	1 080

La pression maximale admissible en cellule de 1 112 mbar n'est pas atteinte. Le fût résiste à une explosion en cellule.

Conclusions :

- Il existe des surfaces fragiles pouvant servir d'évent à chaque étage des silos. Pour les volumes ne disposant pas de suffisamment de surfaces d'évent, les modélisations des effets en cas d'accidents calculés aux pages suivantes prennent en compte une pression d'explosion égale à deux fois la pression maximale admissible. Pour les volumes disposant de surfaces d'évent suffisantes, la pression d'explosion prise en compte est égale à la pression maximale atteinte avec ces surfaces d'évent
- Ces surfaces d'évent ont été calculées par rapport aux volumes existants et ne tiennent pas compte des difficultés techniques de mise en place. Les effets liés à des explosions dans les différents volumes des silos et la criticité de ces scénarios sont donc évalués dans la suite de l'étude.

#### Découplages

Voir photos des silos description des installations.

Silo A :

- Les étages sont séparés entre eux et sans surface ouvertes, l'escalier d'accès aux étages étant dans un volume séparé
- La tour est découplée par rapport aux volumes sur et sous cellules
- Le découplage sur cellules comprend 3 découplages successifs conçus pour résister à 300 mbar (source : rapport de réalisation des découplages)
- Le découplage sur cellules a été accompagné de la réalisation de surfaces d'évent complémentaires de façon à ne pas dépasser 300 mbar en cas d'explosion dans chaque volume découplé
- Les trappes sur cellules en bois ont été déposées et remplacées par des trappes métalliques résistantes
- Les boisseaux de chargement sont séparés et donc découplés de fait par rapport au silo A

Silo B

- Les étages sont séparés entre eux et avec peu de surfaces ouvertes (trappes de montage), l'escalier d'accès aux étages étant dans un volume séparé
- La tour est ouverte sur les volumes sous et sur cellules, le volume sur cellules étant couvert par une toiture peu résistante (briques creuses recouvertes de tuiles)
- Les boisseaux de chargement sont séparés et donc découplés de fait par rapport au silo B

Silo C

- Il n'y a pas de tour ni de volume de bâtiment (salle ou galerie) sur cellules mais un bâtiment bas peu résistant (bacs et bardages) abritant les bas d'élévateurs
- La fosse d'élévateurs est découplée de la salle sous cellules, les ouvertures résiduelles autour des transporteurs et tuyaux de grain ayant été comblées et une surface d'évent complémentaire ouverte dans la dalle supérieure de la fosse d'élévateurs limitant ainsi toute surpression à 100 mbar maximum
- Les boisseaux de chargement sont séparés et donc découplés de fait par rapport au silo C

### 6.2.2. Risques liés à l'exploitation des installations

Une mesure essentielle concernant l'exploitation du silo en sécurité est le nettoyage régulier et soigneux des locaux. Des consignes de nettoyage et un plan dûment adapté en fonction des conditions d'empoussièrement sont en place.

Une amélioration importante a été réalisée avec la mise en place de 3 centrales de nettoyage centralisées avec réseau fixe de colonnes et branchement par flexibles. Elles permettent un nettoyage plus aisé, plus fréquent. Seul le silo A est équipé d'un aspirateur mobile.

Le temps de séjour des produits dans les cellules de stockage est court (voir taux de rotation au § 4.1.1). Toute dégradation due à un stockage prolongé est évitée. Le grain arrive sur site déjà stabilisé.

Pendant toute l'année, le site fonctionne à un rythme régulier et réduit. Il n'y a pas de période de pointe importante de type période de récolte.

L'humidité du grain et le taux d'impuretés ainsi que la présence d'insectes sont analysés systématiquement à l'entrée sur site. Il y a également une surveillance de la qualité des produits finis en cours et en fin de fabrication. L'échauffement du grain en cellule est détecté par la surveillance de la température dans les cellules. Si cette température est trop élevée, des mesures en conséquence sont adoptées (transilage). La température du grain en cellules orge est affichée avec alarme 2 seuils en salle de commande.

Le personnel dispose de documents sécurité environnement, consignes, procédures et modes opératoires accessibles sur intranet de **Soufflet Malt** (Qualigest).

Conformément à la directive concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosibles, différents types de zones à risques ont été définis sur le site et sont repris dans le tableau ci-après (cas des bâtiments, un autre zonage existe appareil par appareil).

Définition du type de zone	Zone du site Soufflet Malt
Zone 20 : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuages de poussières combustibles est présente dans l'air en permanence ou pendant de longues périodes ou fréquemment	M1 : Intérieur cellules orge pellets poussières radicelles Silo A : cellules et boisseaux malt Silo B : cellules et boisseaux malt Silo C : cellules orge malt
Zone 21 : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuages de poussières combustibles peut occasionnellement se former dans l'air en fonctionnement normal	Grande fosse vrac silo B
Zone 22 : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuages de poussières combustibles n'est pas susceptible de se former dans l'air en fonctionnement normal ou bien, si une telle formation se produit néanmoins, n'est que de courte durée	Petite fosse vrac silo B
Hors zones	M1 M2 silo A, silo C

Les prescriptions de l'arrêté silo du 29 mars 2004 modifié ont été prises en compte (voir comparatif en annexe). Conformément à cet arrêté, un rapport réalisé par un organisme spécialisé est réalisé. Il spécifie en particulier l'adéquation du type de matériel électrique au classement de zones ci-dessus.

Le personnel du site est toujours présent durant le fonctionnement des installations, soit 24 h sur 24 et 7 j sur 7 sauf quelques jours de fermeture dans l'année. Le personnel pilote les installations depuis les salles de commande de M1 de M2 et des silos (silo B).

### 6.2.3. Risques liés aux utilités

L'arrêt brutal de l'alimentation en électricité et gaz naturel n'entraînent aucun risque pour l'environnement extérieur, les installations de combustion (chaudière) étant automatiquement arrêtées, ainsi que les équipements de M1 M2 et des silos.

Les arrêts sont signalés sur les silos par des alarmes visuelles aux postes de commande. Ils nécessitent un acquittement et un redémarrage manuel.

En cas de panne d'électricité, les contrôleurs de fonctionnement (rotation, bourrage, déport sangle/bande...) s'arrêtent en même temps que les transporteurs. Seul l'éclairage de secours reste en service.

Sans air comprimé, les filtres se mettent en sécurité et s'arrêtent faute de possibilité de décolmatage, ainsi que toutes les installations des silos qui sont asservies.

En cas de défaut d'arrivée de gaz naturel ou de pression anormale, les vannes de sectionnement se ferment automatiquement.

Le cas d'une panne prolongée ne présente pas de risque particulier, comme évoqué dans les cas suivants :

Evénement	Conséquence	Mesure palliative
Silothermométrie à l'arrêt	Impossibilité de surveiller les points chauds éventuels dans l'orge	Surveillance accrue des cellules, le grain étant par ailleurs sec et stable
Panne d'électricité prolongée	Dégradation du grain en cours de germination et fermentation sans risque d'échauffement	Possibilité de dépanner ou de groupe électrogène

Les équipements doivent être redémarrés comme dans le cas d'une mise en route, certains transporteurs en charge pouvant faire l'objet d'une attention spécifique (tonnage augmenté progressivement).

### 6.2.4. Risques liés à la maintenance

Les équipements électriques et mécaniques seront vérifiés et entretenus de façon périodique et systématique avec un entretien de type préventif organisé sur GMAO et un entretien de type curatif. Les opérations d'entretien les plus lourdes sont réalisées par le personnel entretien de l'atelier du site et par des sociétés extérieures pendant les périodes d'arrêt, sous le contrôle du responsable entretien.

Une inspection thermographique infrarouge est réalisée une fois par an sur tous les équipements électriques (armoires, transporteurs, contacteurs, borniers...) par un organisme extérieur spécialisé.

Les opérations de nettoyage des locaux ont lieu régulièrement, par aspiration. L'emploi du balai se fait en application d'une consigne spécifique demandant en particulier une autorisation écrite du responsable.

Lors des opérations nécessitant des travaux avec points chauds, des permis de feu sont délivrés par le responsable présent. Ils sont nécessaires pour tous travaux avec points chauds dans les silos ou encore dans les tourailles. Les opérations de soudure ou de meulage sont réduites au minimum (démontage et réparation en atelier par exemple, boulonnages systématiquement utilisés de préférence à la soudure).

Le contrôle des filtres est intégré dans le cadre des EIPS (capteurs de différence de pression) avec un contrôle régulier selon le standard groupe. Les manches sont changées selon un planning défini.

Afin de tenir compte de la disponibilité du matériel ainsi que des capacités d'entretien du fait de l'augmentation de production et de l'accélération sur les outils de travail (passage en 5 x 8), les horaires des personnes affectées à la maintenance sont répartis sur 2 postes de 8 heures après extension. Cette organisation permet de garantir un niveau de sécurité accru.

## 6.3. Analyse détaillée des risques

### 6.3.1. Rappel sur les conditions d'une explosion de poussières, d'un incendie

#### 6.3.1.1. Conditions générales

3 conditions doivent être présentes pour le développement d'un incendie :

- combustible
- comburant
- source d'inflammation

3 conditions supplémentaires doivent être présentes pour le développement d'une explosion de poussières :

- mise en suspension dans l'air
- concentration suffisante de poussières fines
- confinement

Chacune des 6 conditions peut être explicitée de la façon suivante :

- 1 Présence de poussières combustibles de fine granulométrie : seule la fraction organique des poussières est combustible. Elles peuvent contenir une proportion de terre non négligeable (cas des pois par exemple). On considère que le risque est présent lorsque la granulométrie des particules est inférieure à 500  $\mu\text{m}$  (source : INERIS). Les poussières de fine granulométrie se séparent et restent en suspension plus longtemps par rapport aux poussières grossières dont la décantation est plus rapide. Les poussières fines se situent dans les équipements de manutention, dans les capacités en cours de remplissage. Elles se situent également à proximité des équipements non étanches. La parfaite propreté de l'intérieur des installations et le fonctionnement des aspirations constituent une base de sécurité fondamentale et un paramètre important pour la sécurité dans les silos.
- 2 Poussières en suspension dans l'air : c'est principalement le cas au niveau des ruptures de charge dans le transport du grain : transporteurs/élévateurs, ensilage en capacité. Les organes fermés en bon état et sous aspiration ne sont pas ou très peu à l'origine d'émissions de poussières vers l'extérieur.
- 3 Confinement : il est à l'origine de la montée en pression. Une explosion en milieu libre produit un flash avec présence de flammes où la surpression est faible (conditions pratiquement adiabatiques). La forme et l'encombrement des volumes sont à prendre en compte. Ils peuvent perturber l'écoulement des fronts de flammes avec possibilités de transition déflagration/détonation (cas des volumes très allongés avec  $L/D > 20$ ). Des volumes susceptibles de connaître une détonation ne peuvent être protégés par des événements d'explosion.
- 4 Présence d'une source d'inflammation : flammes, étincelle, décharge électrostatique, surfaces chaudes, réaction exothermique (voir détail au § suivant).
- 5 Concentration de poussières suffisante (ou  $C_{mi}$ ) : la concentration explosive minimale est de 50  $\text{g}/\text{m}^3$  (voir essais sur produits du site). Une concentration de poussières de l'ordre de 50  $\text{g}/\text{m}^3$  correspond à une atmosphère où l'on peut voir une lampe de 25 W à 2 m (source : Eckhoff). En présence d'une trop forte concentration, l'explosion ne peut plus se produire. Les concentrations présentes doivent être importantes ( $< 2 \text{ kg}/\text{m}^3$ ). La concentration de poussières dans les filtres au décolmatage peut être importante.
- 6 Présence de comburant : tout produit ayant des caractéristiques comburantes et en particulier l'oxygène de l'air. En dessous d'une proportion de 12% d' $\text{O}_2$ , il ne peut y avoir d'explosion. Les conditions d'un bon inertage sont un appareillage clos, une bonne répartition du balayage (volumes morts à prendre en compte) et un contrôle de la teneur en  $\text{O}_2$ .

### 6.3.1.2. Source d'inflammation

#### Énergie minimale d'inflammation (Emi)

Ordres de grandeur énergétiques :

- 0,28 mJ : inflammation du méthane
- 2 mJ : énergie juste ressentie par l'homme
- 10 mJ : énergie clairement ressentie
- 50 mJ : inflammation de poussières
- 250 mJ : choc grave
- 10 000 mJ : mort

L'énergie minimale dépend des produits mis en œuvre. Si des vapeurs de solvants sont mêlées aux poussières, l'énergie d'inflammation sera plus faible.

L'insecticide utilisé pour la sanitation ne représente pas de risque significatif, la LIE ne pouvant être atteinte car :

- la dose d'insecticide et le débit de l'asperseur sont très faibles et localisés
- il y a un volume d'air très important dans les zones d'utilisation
- l'insecticide est en partie adsorbé sur le produit

#### Température minimale d'inflammation en nuage (Tmi)

L'ordre de grandeur est de quelques centaines de degrés Celsius. Les températures d'auto-inflammation sont plus faibles dans les couches (~ 200 °C) que dans les nuages (~ 500 °C) en particulier du fait du mode d'évacuation différent de la chaleur.

#### Typologie des sources d'inflammation

Les sources d'inflammation possibles dans le cas des silos sont les suivantes :

- surfaces chaudes
- étincelle, décharge électrostatique
- flamme
- réaction exothermique (fermentation)

#### *Frottement mécanique (surface chaude, étincelles)*

Ce risque est présent au niveau des transporteurs et élévateurs ainsi qu'au niveau de l'aspiration (pales/aubes de ventilateurs) en situation accidentelle (déport de sangle/bande, intrusion de corps étranger, rupture de roulement...) par dissipation de l'énergie mécanique.

Le frottement sur une pièce (de type coffre de TC ou d'élévateur par exemple) n'est pas à l'origine de températures importantes (< Tmi) si la vitesse du mobile est faible (< 2 m/s). Il peut cependant engager l'inflammation et/ou la destruction d'une bande/sangle.

Il est en grande partie évité au moyen des contrôleurs de fonctionnement (rotation, déport sangle/bande).

Les vitesses atteintes par les mobiles peuvent être très importantes sur certains équipements tels que les ventilateurs/aspirateurs, au niveau des arbres.

#### Cigarettes, insouciance

Le règlement interdit de fumer dans les installations. Les personnes étrangères au service n'ont pas accès à l'intérieur des silos et doivent se présenter au niveau des locaux de commande.

#### Introduction de corps étrangers (surfaces chaudes, étincelles)

Il faut veiller en particulier à éviter l'introduction de corps étrangers dans le grain. Les grilles des fosses ont une largeur de maille de 40 mm environ.

Les corps étrangers (cailloux, objets métalliques...) peuvent être à l'origine de frottements ou d'étincelles. Ils sont éliminés des circuits grain au niveau du nettoyage, de l'épierrage, de la séparation des corps ferreux.

Les outils en bronze anti-étincelants produisent quand même des étincelles, mais moins énergétiques que dans le cas des outils en acier. Le frottement de l'aluminium sur l'acier rouillé peut provoquer la réaction aluminothermique.

#### Matériel électrique (surfaces chaudes, étincelles, flammes)

Les installations électriques sont entretenues par le personnel d'entretien de l'atelier du site comprenant des électriciens qualifiés ayant une habilitation électricité. Elles sont contrôlées annuellement par un organisme agréé.

En fonctionnement normal, elles peuvent à l'origine de surfaces chaudes. En fonctionnement dégradé, elles peuvent être à l'origine de court circuits ou d'incendie (cas des armoires électriques en particulier).

Les moteurs sont équipés de disjoncteurs et de sondes thermiques. L'éclairage est sous blocs étanches. L'ensemble a un IP adapté (5 au minimum).

#### Électricité statique (étincelles, décharge électrostatique)

Les machines tournantes ou avec transport de produit produisent de l'électricité statique. L'ordre de grandeur du kV, très facilement atteint en électricité statique, suffit à produire des étincelles de l'ordre du mJ.

Toutes les pièces métalliques doivent être interconnectées par des liaisons équipotentielles. La mise à la terre de l'ensemble (valeur de résistance < 10  $\Omega$ ) assure la protection des installations en fonctionnement normal. En fonctionnement dégradé, la corrosion peut isoler 2 pièces métalliques.

Les installations (bâtiments, ventilation, appareils et installations électriques) sont raccordées à des prises de terre. Ces mises à la terre seront vérifiées annuellement par un organisme agréé.

Les charges d'électricité statique s'évacuent mal dans les matériaux non conducteurs. Les bandes et sangles des transporteurs sont antistatiques ainsi que la plupart des courroies.

#### Foudre (surfaces chaudes)

Une étude du risque de foudroiement du site a été réalisée. Les installations font l'objet d'une vérification périodique.

Travaux de maintenance (surfaces chaudes, flammes, étincelles)

Les opérations de maintenance avec points chauds se font équipements à l'arrêt. Elles sont impérativement l'objet d'une procédure de permis de feu dans les zones à risque d'explosion de poussières de type silos. Le permis de feu est délivré par le responsable technique du site (responsable site ou les responsables de production ou le responsable maintenance) signalant le type, le lieu, la durée de l'intervention, les précautions (balisages de zone, zone non exempte de poussières et installations des silos à l'arrêt) et personnes à prévenir à prendre avant et après l'intervention.

Les tuyaux percés sont l'objet de colmatages rapides sur site sans points chauds (sangles, résine...) avant dépannage par le service entretien de la société ou de sociétés extérieures.

Les opérations nécessitant l'intervention d'entreprises extérieures ou pour des travaux dangereux, les opérations de réparation et de maintenance sont l'objet d'un plan de prévention.

Chauffage (surfaces chaudes)

Dans le touraillage la température est inférieure à la température d'auto-inflammation des produits travaillés.

Surchauffe (point chaud)

La température du grain est mesurée par des sondes thermométriques dans chacune des cellules orge, ainsi que lors du touraillage.

Incompatibilités chimiques (réaction exothermique)

Les produits stockés dans les silos et sur le site ne sont pas incompatibles entre eux.

Malveillance (points chauds, flammes)

Le périmètre du site est entièrement clos.

Les bâtiments sont fermés à clé de jour comme de nuit.

Incendie, échauffement dans le grain (point chaud, réaction exothermique)

Il est possible de limiter l'extension d'un incendie de grain en vidant ou en arrosant les capacités voisines.

Les matériaux de construction (béton et acier) sont incombustibles. La propagation d'un incendie de céréales serait lente, sous forme de feu couvant, étant donné le peu d'oxygène pénétrant dans le produit.

### 6.3.2. Accidents possibles par type d'appareil

Sigles :

- CDS : contrôle déport de sangle
- CDB : contrôle déport de bande
- CB : contrôle de bourrage
- CR : contrôle de rotation
- CTP : contrôle température palier
- PTC : sonde thermométrique (moteur)

#### Moteur

Constituants	Types accidents	Conséquences	Mesure palliative
Rotor, stator (750, 1000, 1500 ou 3000 t/mn) Bobinages recouverts vernis Arbre, roulements Réducteur ou motoréducteur	Surchauffe, fusion vernis, modification angle de déphasage, défaut lubrification réducteur	Surfaces chaudes, moteur disjoncté, court circuit,	Surveillance systématique au moins annuelle (paliers, arbre, état bobinage et vernis, propreté, lubrification réducteur...)  Puissance adaptée à l'effort, éviter les surcharges (CB, débit de transport adapté)  Eviter les réarmements successifs après que le moteur a disjoncté plusieurs fois  Veiller au bon refroidissement du moteur (éviter accumulations poussières, intrusions d'huile...)  Disjoncteur thermique, IP adapté (5X à 6X), sonde PTC

Problèmes les plus fréquents : disjonction, surchauffe et arrêt moteur

NB : la partie moteur/roulements décrite en détails vaut pour tous les équipements présentés aux pages suivantes. Elle n'est pas reprise dans la présentation de ces équipements.

**Palier, roulement**

Constituants	Types accidents	Conséquences	Mesure palliative
Roulements (sphériques ou rouleaux), graisse, paliers, flasques (enveloppes)	Usure Grippage Cassure	Frottements, surfaces chaudes Défaut de parallélisme de l'axe et de la transmission Moteur disjoncté et/ou équipements faiblement à gravement endommagés (flasque, arbre et tout l'équipement)	Surveillance systématique et remplacement en temps voulu Eviter la surcharge de l'équipement (CB, utiliser au débit nominal prévu) Qualité et quantité adaptée de la graisse Parallélisme parfait de l'axe au montage CTP sur axes à vitesse importante (aspirateurs/ventilateurs)

Problèmes les plus fréquents : usure donnant lieu à un bruit caractéristique.

**Elévateur**

Constituants	Types accidents	Conséquences	Mesure palliative
Tambours, axes, roulements paliers	Déport, roulement grippé cassé	Frottement	Surveillance approfondie au moins annuelle état et propreté (tambour par exemple)
Courroies/chaînes transmission	Usure, cassure	Frottements, arrêt tambour	Surveillance au moins annuelle
Coffre	Usure, corps étranger, bourrage	Fuite poussière Frottements, étincelles	Surveillance et changement des tôles d'usure, CB
Sangle	Déport	Frottement, échauffement	CDS CR contrôle approfondi au moins annuel état et attache de la sangle
Godets	Cassure, détérioration	Frottements, étincelles	Surveillance approfondie au moins annuelle
Tambour pied Axe, roulement	Bourrage Roulement grippé/cassé Mauvais équilibrage axe	Frottement, déport sangle	Equilibrage axe, entretien (visite au moins annuelle)

Problèmes les plus fréquents : bourrages, endommagement godets, moteur disjoncté. En cas d'explosion, le capotage céderait en tout ou partie, limitant ainsi toute surpression.

#### Transporteur à chaîne

Constituants	Types accidents	Conséquences	Mesure palliative
Coffre	Usure du fond, perte étanchéité, bourrage	Libération de grain et de poussières dans l'environnement du TC	Vérification de l'état du TC + réparation sommaire et signalement accident Reboulonner impérativement les tôles démontées CB
Chaîne	Cassure goupille ou maillon	Enroulement chaîne sur tourteau de commande, frottements, destruction du TC, Déformation pale racleuse	CB, CR (peu efficace si cassure sur brin inférieur) Surveillance au moins annuelle
Rouleau de pied, arbre	Usure	Enroulement de la chaîne irrégulier	Surveillance au moins annuelle
Tourteau de commande, arbre	Usure	Enroulement de la chaîne irrégulier	Surveillance au moins annuelle
Chaîne transmission	Empoussièremement, corps étranger, cassure	Frottements, arrêt du transporteur	Surveillance au moins annuelle (état et graissage)

Problèmes les plus fréquents : bourrages, pales racleuses tordues, moteur disjoncté. En cas d'explosion, le capotage des équipements céderait en tout ou partie, limitant ainsi toute surpression.

#### Transporteur à bande

Constituants	Types accidents	Conséquences	Mesure palliative
Tambour de tête, de pied, axe	Usure, mauvais équilibrage	Frottement, déport de bande	CDB, équilibrage de l'axe surveillance
Entraînement (courroie)	Usure, cassure, déport	Frottement, arrêt du TB	CR, CDB surveillance
Châssis acier	Corrosion, déformation	Déport bande, défaut continuité électrique	Surveillance au moins annuelle
Bande	Cassure, déchirure, échauffement	Frottement, échauffement	CDB, bande antistatique auto-extinguible, surveillance
Contrepoids	Cassure attache	Arrêt TB	Surveillance au moins annuelle

Problèmes les plus fréquents : usure, moteur disjoncté, déport de bande. Equipement ouvert ou capoté par un matériau léger : le cas d'une explosion est donc très difficilement envisageable.

#### Circuit d'aspiration (gaines filtres), circuit pneumatique

Constituants	Types accidents	Conséquences	Mesure palliative
Gaine, tuyau	Percement, corps étranger, bouchages	Emission de poussières, étincelles, défaut d'aspiration, de continuité électrique	Surveillance régulière et réparation rapide en attendant changement du tuyau
Ventilateur, surpresseur (aube, axe, paliers)	Rupture, cassure, usure, détérioration aube ou pale, corps étranger	Frottement, déséquilibre	CTP Surveillance régulière

Constituants	Types accidents	Conséquences	Mesure palliative
Manches de filtres	Corps étranger, déchirures, encrassement	Etincelles, rejet de poussières, échauffement surpresseur (filtre air propre avant surpresseur)	Contrôle pression intérieur et extérieur manches Events d'explosion Surveillance régulière
Ecluse rotative	Frottement, corps étranger	échauffement	Surveillance régulière
Vis reprise	Usure, frottements, corps étranger	échauffement	Surveillance régulière

Problèmes les plus fréquents : bouchages, usure de manches. En cas d'explosion, protection du filtre par l'existence d'évents.

#### Equipements chaudière

Constituants	Types accidents	Conséquences	Mesure palliative
Alimentation gaz	Cassure, défaut, corrosion	Fuite de gaz	Vannes automatiques redondantes asservies à pressostats, détecteurs gaz
Brûleur	Corps étranger, flamme insuffisante ou absente	Défaut de flamme et fuite de gaz	Contrôle de flamme
Production vapeur	Pression ou température anormale, défaut d'alimentation en eau ou fuite d'eau	Pression trop haute (éclatement) ou faible, surchauffe	Contrôle pression température, niveau d'eau, soupapes

Problèmes les plus fréquents : arrêts intempestifs du fait de la redondance des sécurités. Le cas d'un incendie au niveau de la chaufferie est possible (cas d'un incendie de produits stockés momentanément à proximité, d'un acte de malveillance...). Du fait de la redondance des sécurités et de l'éloignement de la chaufferie, il aurait pour conséquences la mise en sécurité et l'arrêt de l'installation.

### 6.3.3. Accidents possibles par type de bâtiment

Ce chapitre fait le récapitulatif des conditions d'une explosion de poussières dans les différents volumes considérés et des probabilités d'occurrence d'une inflammation poussières.

#### Cas d'une explosion en cellule de stockage à l'ensilage ou au désilage

Conditions nécessaires	Mesures de prévention, protection
Fine granulométrie des poussières	granulométrie fine des poussières issues du grain
Mise en suspension dans l'air	oui, en cas d'ensilage surtout (peu de mouvements au désilage) fond de cellule nettoyé après désilage
Confinement	Oui, toitures résistante (dalles béton)
Présence d'une source d'ignition	peu probable (peu de matériel électrique en cellules) électricité statique : mises à la terre. Protection foudre sondes thermométriques cellules orge et contrôles de niveau protégés et faible voltage
Concentration de poussières suffisante	possible au moins dans une portion du volume présent
Présence de comburant	oui : volume d'air important

Les capacités les plus exposées sont celles contenant des matériaux fins (issues de grain et radicles). Les conditions d'une explosion sont peu probables du fait de la présence peu probable d'une source d'inflammation. Si toutefois une explosion devait se produire, elle pourrait avoir des effets importants, ces cas étant étudiés aux pages suivantes.

#### Cas d'une explosion dans une tour

Conditions nécessaires	Mesures de prévention, protection
Fine granulométrie des poussières	granulométrie fine des poussières de grain
Mise en suspension dans l'air	oui, dans les équipements en fonctionnement (élévateurs, transporteurs, nettoyeurs, gaines transports pneumatiques filtres...). Non dans les étages, sauf en cas de fuites sur équipements ou de pertes d'aspiration
Confinement	oui mais parois fragiles sur les équipements (capotages), parois résistantes au niveau des bâtiments
Présence d'une source d'ignition	Probable (beaucoup de matériel électrique) Electricité statique : mises à la terre, éclairage et câblage adéquats. Les équipements sont protégés (contrôles défauts...). Protection foudre
Concentration de poussières suffisante	Equipements sous aspiration : peu probable même en cas de percement de tuyaux car équipements totalement clos, en dépression sauf cas extrêmes (jetées, aspiration localement sous dimensionnée...) Circuits pneumatiques : concentration supérieure à la concentration explosive sauf en début et fin de cycle
Présence de comburant	oui : volume d'air important

Les conditions d'une explosion sont peu probables. Si toutefois une explosion devait se produire, elle serait limitée dans ses effets du fait de l'absence de poussières et de surfaces d'évent réparties dans les étages des tours.

#### Cas d'une explosion dans une salle sur cellules

Conditions nécessaires	Mesures de prévention, protection
Fine granulométrie des poussières	Granulométrie fine des poussières de grain
Mise en suspension dans l'air	Absence de poussières (TC), sauf en cas de tuyaux / liaisons percés ou sous les transporteurs à bande Nettoyage des locaux réalisé selon un mode régulier (< 50 g/m <sup>2</sup> )
Confinement	Silo A : surfaces d'évent Silo B : surfaces d'évent, toiture peu résistante
Présence d'une source d'ignition	Electricité statique : mises à la terre, éclairage et câblage adéquats Les équipements sont protégés (contrôles défauts...) Protection foudre
Concentration de poussières suffisante	Peu probable même en cas de percement de tuyaux sur équipements, aspiration
Présence de comburant	Oui : volume d'air important

Les conditions d'une explosion sont peu probables. Si toutefois une explosion importante devait se produire, elle pourrait être limitée dans ses effets du fait de la présence d'éléments de bâtiment légers et de surfaces d'évent.

#### Cas d'une explosion dans un volume sous cellule

Conditions nécessaires	Mesures de prévention, protection
Fine granulométrie des poussières	Granulométrie fine des poussières de grain
Mise en suspension dans l'air	Non, absence de poussières, sauf en cas de tuyaux/liaisons percés Nettoyage des locaux réalisé selon un mode régulier (< 50 g/m <sup>2</sup> )
Confinement	Oui, volumes résistants
Présence d'une source d'ignition	Electricité statique : mises à la terre, éclairage et câblage adéquats Les équipements sont protégés (contrôles défauts...)
Concentration de poussières suffisante	Peu probable même en cas de percement de tuyaux car équipements clos sauf transporteurs à bande, sous aspiration
Présence de comburant	Oui : volume d'air important

Les conditions d'une explosion sont peu probables. Si toutefois une explosion devait se produire, elle serait limitée dans ses effets du fait de l'absence de poussières dans les salles sous cellules, la présence de parois résistantes pouvant engendrer des surpressions importantes limitées par la présence de fenêtres et d'ouvertures.

#### 6.3.4. Généralités sur la méthode d'analyse des risques

Les principaux types d'accidents potentiels ont été identifiés. Dans le cas des installations du site, il s'agit de cas d'explosion ou d'épanchements accidentels de grain.

Le but de cette méthode est d'évaluer la probabilité et la gravité de l'accident.

##### 6.3.4.1. Constitution d'un groupe d'expert

Ce groupe est formé afin de permettre une cotation des probabilités de survenue de situations dangereuses au sein des silos.

Il permet également un échange d'expériences et d'avis concrets sur les cas d'accidents possibles au sein des silos étudiés. La réunion d'analyse de risques de la précédente étude de dangers a été reprise, les installations étant inchangées (pas de nouveau bâtiments liés à l'extension de production).

Il est constitué :

- de représentants du bureau d'études dont le rôle est d'animer les réunions du groupe et de synthétiser les résultats obtenus,
- de représentants du site et de la société ayant une bonne connaissance du site et des matériels employés.

##### 6.3.4.2. L'analyse préliminaire des risques

L'Analyse Préliminaire des Risques permet de constituer une liste exhaustive qui fait correspondre une entité dangereuse à une situation dangereuse.

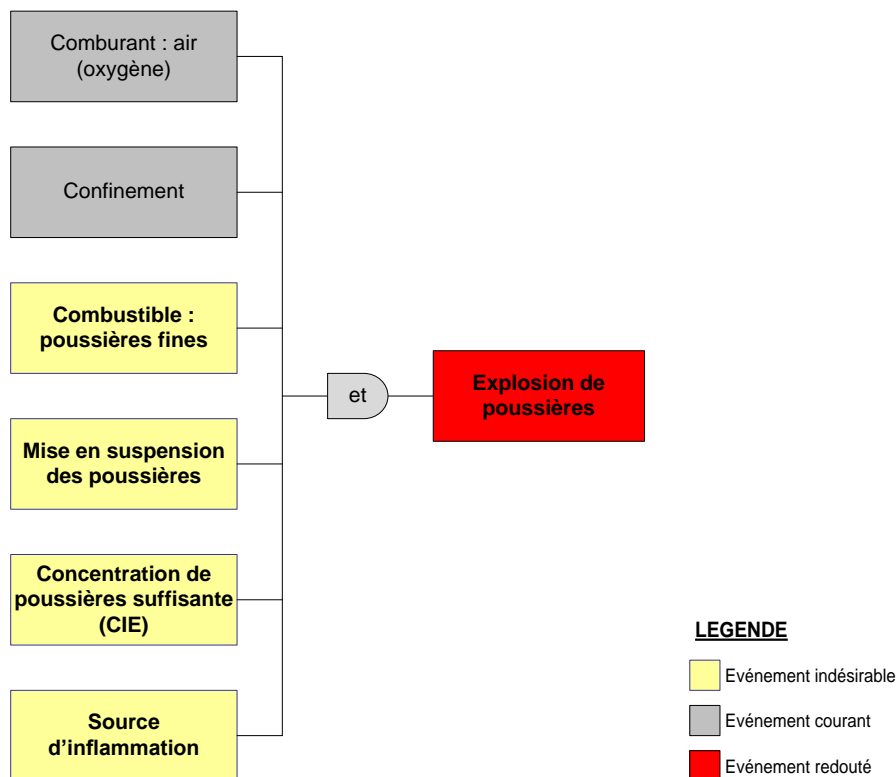
Les entités dangereuses sont ici constituées des différents volumes (étages, cellules...) et appareils (élévateurs, transporteurs...) appartenant à un système (silo).

Pour rappel, une explosion de poussières peut avoir lieu si 6 conditions sont réunies :

- 1 Poussières combustibles de fine granulométrie
- 2 Poussières en suspension dans l'air
- 3 Poussières en concentration suffisante
- 4 Présence d'une source d'inflammation suffisante
- 5 Confinement (c'est-à-dire sous bâtiment fermé)
- 6 Présence de comburant (oxygène de l'air)

L'arbre des causes en page suivante récapitule les conditions nécessaires à l'explosion de poussières.

## Explosion de poussières



Les situations dangereuses identifiées plus spécifiquement dans la présente analyse comptent parmi les 4 dernières causes relatives à :

- la présence de poussière (3 causes)
- la présence d'une source d'inflammation suffisante (1 cause)

Les autres causes, présence d'oxygène et confinement, sont habituellement toujours présentes, sauf dans des cas très particuliers (exemple : fosse de réception vrac situées en partie en extérieur) qui peuvent alors être distingués comme tels.

### 6.3.4.3. La grille de criticité

Il s'agit d'un système de quantification du risque en fonction de la gravité et de la probabilité des événements étudiés.

La grille de criticité permet de définir des catégories de risques dans lesquelles seront classés les événements étudiés.

Les événements identifiés seront positionnés dans la grille suivante issue de la circulaire du 10 mai 2010.

			Probabilité				
			E	D	C	B	A
			Événement possible mais extrêmement peu probable	Événement très improbable	Événement improbable	Événement probable	Événement courant
Gravité			$P < 10^{-5}$	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$	$10^{-2} < P$
5	Désastreux	SEIs > 10p SEL > 100p SEI > 1000p					
4	Catastrophique	$1p < SEIs \leq 10p$ $10p < SEL \leq 100p$ $100p < SEI \leq 1000p$					
3	Important	$SEIs \leq 1p$ $1p < SEL \leq 10p$ $10p < SEI \leq 100p$					
2	Sérieux	SEIs sur site $SEL \leq 1p$ $1p < SEI \leq 10p$					
1	Modéré	SEIs sur site SEL sur site $SEI \leq 1p$					
0	Non Classé	<i>Pas d'effet en dehors du site</i>					

Les tableaux d'analyse des risques comportant une/des case(s) apparaissant en rouge correspondent à une situation de la grille de criticité devant faire l'objet d'une amélioration afin de réduire la probabilité ou la gravité de survenue d'un accident. La probabilité résiduelle est ensuite à nouveau calculée.

Les événements situés dans des cases orange nécessitent une mesure d'amélioration.

Les événements figurant dans les cases vertes correspondent à des événements acceptables.

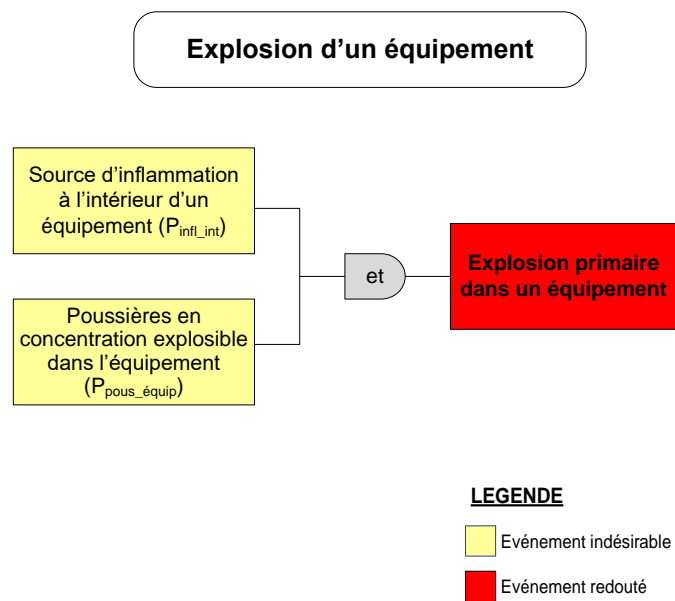
La gravité des évènements représente une estimation de leur conséquence sur les tiers situés à l'extérieur du site (seuil des effets létaux significatifs, seuil des effets létaux, seuil des effets irréversibles). Le choix de l'échelle de gravité affectée à un événement dépendra du risque que l'on est à même d'appréhender ou d'étudier : on détermine ainsi la gravité majorante appliquée à l'événement.

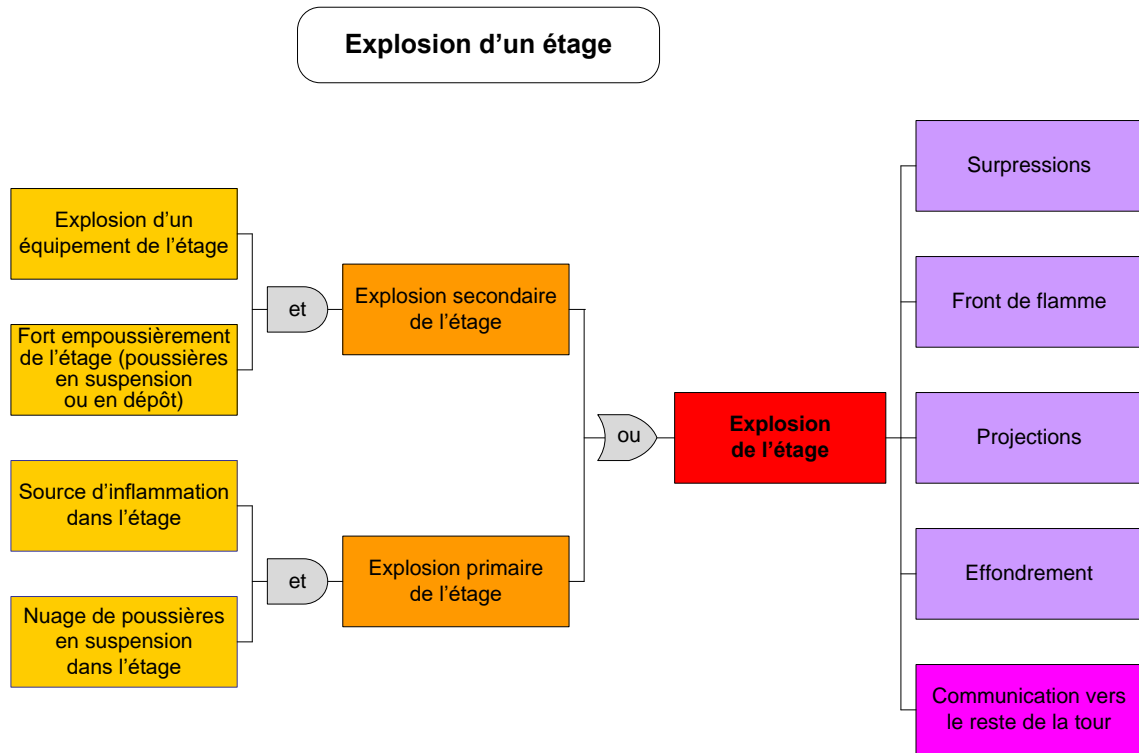
#### 6.3.4.4. Les tableaux d'analyse de risques

Il s'agit pour le groupe d'experts d'estimer la cotation en termes de probabilité des situations dangereuses pour chaque entité dans le système étudié.

La détermination de la gravité est faite après obtention des probabilités finales d'accident majeur. Elle est cotée en fonction des zones de communication, de l'éloignement et de la connaissance de la configuration des volumes.

Les arbres des causes suivants récapitulent les causes d'explosion d'un équipement et d'un étage.





**LEGENDE**

- Cause de l'événement initiateur
- Événement initiateur
- Événement redouté
- Événement redouté secondaire
- Phénomène dangereux

Seules les sources d'inflammation suffisantes sont prises en compte avec pour points de repère des valeurs telles que :

- ~ 500 °C pour l'inflammation d'un nuage de poussières
- ~ 200 °C pour l'inflammation de poussière en couche
- ~ 50 MJ dans le cas d'une décharge d'électricité statique

Dès lors, des surfaces chaudes, frottements ou échauffement liés par exemple au passage du grain ou encore en fond de transporteur à chaîne en fonctionnement ne sont pas pris en compte car dans tous les cas inférieurs à 50 °C.

Les différentes sources d'inflammation répertoriées dans les silos sont détaillées dans le tableau suivant :

Origine de la cause	Surface chaude	Flammes	Etincelles	Arc électrique
Appareil électrique	Echauffement moteur Appareil électrique	Incendie d'un appareil	-	Court-circuit
Maintenance	Travaux (par point chaud)	Travaux (avec flammes)	Travaux (de type meulage)	Travaux
Procédé	Procédé (chauffage, auto-échauffement, ...)	Procédé (procédé avec flamme)	Procédé (procédé avec flamme) Inflammation amont ou aval Particule provenant des séchoirs	-
Appareil en mouvement	Frottement mécanique	Incendie d'un appareil	Frottement, présence de corps étranger	-
Intervention humaine	Non respect des consignes (utilisation d'équipement non conforme à la zone)	Non respect des consignes (cigarettes, utilisation de feux nus)	Non respect des consignes (utilisation d'équipement non conforme à la zone)	Electricité statique Non respect des consignes (utilisation d'équipement non conforme à la zone)
Causes extérieure	-	Malveillance	-	Foudre

#### Retour d'expérience national

L'ordre de grandeur est le suivant : si l'on compte environ 1 cas d'accident grave tous les 10 ans en France, pour 1 000 sites soumis à autorisation (pouvant contenir plusieurs silos), la fréquence repère est comprise entre : 1/10 000 ans et 1/100 000 ans par site.

#### 6.3.4.5. Les arbres de défaillances

##### Principe

Pour les situations dangereuses dont les effets sortent des limites de propriété du site, on élabore un arbre de défaillances à l'aide des tableaux d'analyse des risques, ce qui correspond à la représentation schématique des combinaisons des événements conduisant à l'évènement grave redouté.

On arrête les arbres en définissant les événements de base. Ce sont les causes des accidents qui occupent une place centrale dans l'arbre. Les effets découlant de cet accident se situent à l'opposé par rapport aux événements de base. L'ensemble forme un arbre de type « papillon ».

Un arbre est construit au moins pour un élément dont les effets sortent des limites de propriété du site (les scénarios d'accidents sont réalisés pour tous les volumes dont les effets sont potentiellement importants). Différents types d'accident analogues peuvent être repris dans un seul arbre. L'arbre de défaillances est l'outil de synthèse des différents tableaux qui permet de boucler l'analyse des défaillances.

##### Représentation graphique

Pour cette représentation, nous utilisons le formalisme habituel suivant :



Cas (a) : P se produit si et seulement si les causes A et B se produisent simultanément.

Cas (b) : P se produit si et seulement si au moins une des deux causes (A, B) se produit.

#### 6.3.4.6. Estimation des conséquences des phénomènes dangereux

Il s'agit de la quantification des phases accidentelles majeures retenues.

Ces scénarios sont calculés quand bien même des situations inacceptables ne sont pas mises en évidence afin de justifier les niveaux de gravité choisis dans l'analyse de risques.

Les différents effets par une explosion de poussières sont principalement :

- Des niveaux de surpression
- Des projections de débris
- Le recouvrement de surfaces au sol du fait de l'effondrement de structures

Ces effets sont estimés à l'aide de codes de calcul adaptés.

### 6.3.5. Application au site de Strasbourg

#### 6.3.5.1. Tableaux d'analyse préliminaire de risques (A.P.R.)

Le site est décomposé en 1 sous système :

- Système silos verticaux

Les zones de fabrication ne sont pas considérées en dehors de la tour M1 qui est assimilable à une tour de silo.

Ce système comprend des entités potentiellement dangereuses visées dans des cas de situations dangereuses conduisant à l'explosion de poussières.

Les tableaux d'analyse de risques figurent en pages suivantes.

## Entité silo vertical

Élément	Défaillance	Causes possibles	Conséquences possibles	Moyens de maîtrise existants	G	P
Camions	Collision, choc	Vitesse excessive, état freins, erreur humaine, trafic de différents véhicules, conditions météo (glace)	Tôle froissée, renversement au sol, fuite, risques de pollution et d'incendie	<p><u>Prévention</u> : Vitesse limitée, entretien véhicules, temps limité de conduite des chauffeurs, plan de circulation, moteur à l'avant loin du grain au déchargement sur fosses vrac</p> <p><u>Protection</u> : possibilité de répandre de l'absorbant, extincteurs dans véhicules</p>	<1	A
	Incendie	Freins, défaut matériel, fuite	Extinction, accident signalé, source d'ignition pour un incendie dans un silo et/ou pour amorcer une explosion de poussière si poussière en suspension	<p><u>Prévention</u> : moteur à l'avant et loin du grain, passage au pont bascule avant (fumée/odeur détectée), présence nécessaire d'un chauffeur si camion en fonctionnement</p> <p><u>Protection</u> : extincteurs dans véhicules</p>	1	B
	Fuite d'hydrocarbure	Mauvais entretien, vieillissement, défaut matériel, choc	Fuite au sol et risque d'inflammation	<p><u>Prévention</u> : surveillance, entretien des véhicules, personnel présent pendant les opérations de chargement et déchargement</p> <p><u>Protection</u> : possibilité de répandre de l'absorbant, de pelleter et stocker les résidus à part</p>	<1	A
	Mégot, insouciance	Erreur humaine	Extinction du mégot dans la masse de grain ou inflammation d'un nuage de poussière en suspension	<p><u>Prévention</u> : interdiction de fumer sur le site (panneau d'affichage), formation du personnel et sensibilisation conducteurs</p> <p><u>Protection</u> : extincteurs dans véhicules et sur site</p>	<1	A

Elément	Défaillance	Causes possibles	Conséquences possibles	Moyens de maîtrise existants	G	P
Elévateurs	Problème électrique (court-circuit, échauffement moteur...)	Usure, choc, rongeurs, réarmement plusieurs fois, mauvais refroidissement moteur	Panne moteur, début d'incendie	<u>Prévention</u> : contrôle entretien maintenance, moteur à l'écart du grain, présence de personnel, rondes, disjoncteurs thermiques, contrôle ampérage, contrôle thermographique  <u>Protection</u> : présence d'extincteurs, arrêts d'urgence	<1	A
	Problème mécanique (frottement, point chaud...)	Déport de sangle, déport de tambour, corps étranger, surcharge, échauffement courroie ou transmission	Bruit anormal, risque d'échauffement, risque d'explosion, de propagation à un niveau sur ou sous cellules (silo B uniquement)	<u>Prévention</u> : contrôle entretien maintenance, moteur à l'écart du grain, présence permanente d'une personne au déchargement/chargement, rondes, contrôles rotation et déport de sangle NB : tour M1 avec élévateurs non équipés  <u>Protection</u> : présence d'extincteurs, arrêts d'urgence	1	A
	Point chaud lié à une erreur humaine	Précipitation, non respect des consignes, travaux (soudure meulage), shuntage sécurité	Risque d'incendie, d'explosion. Risque de propagation de propagation à un niveau sur ou sous cellules (silo B uniquement)	<u>Prévention</u> : Permis de feu, plan de prévention, formation risque explosion  <u>Protection</u> : présence d'extincteurs, arrêts d'urgence	1	A
	Explosion	Point chaud d'origine mécanique ou électrique ou lié à une erreur humaine élévateur en marche, en présence de poussières	Rupture élévateur, surpressions, explosion vers la zone de stockage (silo B uniquement)	<u>Prévention</u> : présence de personnel, entretien, maintenance, consignes de fonctionnement (cas de bourrage, surcharge et shuntage à éviter)  <u>Protection</u> : élévateur peu résistant, surfaces d'événements dans les volumes traversés, élévateur dans un volume bardé séparé	2	C

Élément	Défaillance	Causes possibles	Conséquences possibles	Moyens de maîtrise existants	G	P
Transporteurs à chaîne	Problème électrique (court-circuit...)	Usure, choc, rongeurs, réarmement plusieurs fois, mauvais refroidissement moteur	Panne moteur, début d'incendie en extérieur du transporteur	<u>Prévention</u> : contrôle et entretien, moteur à l'écart du grain, disjoncteurs thermiques, contrôle de l'ampérage, présence de personnel  <u>Protection</u> : présence d'extincteurs, arrêts d'urgence	<1	A
	Problème mécanique (frottement...)	Choc, usure	Arrêt, bourrage, risque d'incendie	<u>Prévention</u> : contrôle de rotation, de bourrage, disjoncteurs thermiques, contrôle de l'ampérage, présence de personnel  <u>Protection</u> : présence d'extincteurs, arrêts d'urgence	<1	A
	Point chaud lié à une erreur humaine	Travaux (soudure meulage)	Risque d'incendie, d'explosion. Risque de propagation au stockage	<u>Prévention</u> : Permis de feu, plan de prévention, formation risque explosion  <u>Protection</u> : présence d'extincteurs	<1	A
	Explosion	Point chaud en présence de poussières	Risque de propagation au volume de bâtiment (en présence de poussières)	<u>Prévention</u> : permis de feu plan de prévention, nettoyage des silos  <u>Protection</u> : transporteurs peu résistant, volume de détente > 10 x le volume du transporteur	1	B

Élément	Défaillance	Causes possibles	Conséquences possibles	Moyens de maîtrise existants	G	P
Transporteur à bande	Problème électrique (court-circuit...)	Usure, choc, rongeurs, mauvais refroidissement moteur	Panne moteur, début d'échauffement en surface du moteur	<u>Prévention</u> : contrôle et entretien, moteur nettoyé, disjoncteurs thermiques, contrôle ampérage, présence de personnel  <u>Protection</u> : présence d'extincteurs, arrêts d'urgence	1	A
	Problème mécanique (frottement...)	Choc, usure, frottement bande, problème chariot, usure rouleau de centrage	Arrêt, risque d'incendie	<u>Prévention</u> : présence de personnel, contrôles de rotation, de déport de bande NB : transporteurs silos B non équipés  <u>Protection</u> : présence d'extincteurs, arrêts d'urgence	1	A
	Point chaud lié à une erreur humaine	Travaux (soudure meulage)	Risque d'incendie, d'explosion. Risque de propagation dans le volume de stockage, sur cellules	<u>Prévention</u> : Permis de feu, plan de prévention, formation risque explosion  <u>Protection</u> : présence d'extincteur à prévoir à proximité, arrêts d'urgence	1	A
	Explosion	Point chaud en présence de poussières	Risque de propagation au volume de bâtiment (silo B uniquement)	<u>Prévention</u> : permis de feu plan de prévention, nettoyage  <u>Protection</u> : surfaces servant d'évent : toiture et façades du silo B	1	B

Élément	Défaillance	Causes possibles	Conséquences possibles	Moyens de maîtrise existants	G	P
Grain (orge ou malt)	Source d'inflammation dans le grain ou à proximité	Erreur humaine, travaux, malveillance, point chaud amont	Risque d'incendie voire d'explosion	<p><u>Prévention</u> : Surveillance qualité du grain, travaux avec point chaud encadrés par permis de feu et plan de prévention, grilles sur fosses de réception</p> <p><u>Protection</u> : possibilité d'éteindre le point chaud</p>	1	B
	Accumulation de poussière	Ensilage et transfert du grain, dépôt important sur les surfaces à proximité, fuite	Formation d'un nuage explosible en cas d'envol de poussières	<p><u>Prévention</u> : surveillance, nettoyage régulier</p> <p><u>Protection</u> : bâtiments découpés formant barrière à l'empoussièrement (peu probable d'avoir 2 étages empoussiérés en même temps), ouvertures ou matériaux peu résistants permettant de limiter le confinement et faisant office d'évent d'explosion</p>	1	B
	Feu de grain	Fuite d'eau, humidité de l'air, insectes, grain humide	Incendie de grain, source d'ignition possible pour amorcer une explosion de poussière si poussière en suspension	<p><u>Prévention</u> : surveillance du grain, sondes de thermométrie orge, surveillance température malt en fabrication et avant ensilage</p> <p><u>Protection</u> : possibilité de transiler</p>	1	C

Élément	Défaillance	Causes possibles	Conséquences possibles	Moyens de maîtrise existants	G	P
Capacités de stockage (cellules)	Ouverture/effondrement d'un voile béton	Vieillessement des structures, défaut de construction, usure	Epanchement de grain et ensevelissement de la surface au sol au voisinage direct de la cellule concernée	<u>Prévention</u> : surveillance, vérification visuelle de l'état des cellules  <u>Protection</u> : Appel à des moyens de manutention et de reprise du grain au sol	<1	C
	Sur remplissage	Sonde niveau plein défaillante	Débordement au sol	<u>Prévention</u> : surveillance, présence de personnel, sondes de niveau vérifiées	<1	B
	Incendie d'une capacité de stockage	Erreur humaine, travaux, auto échauffement	Dégagement de fumée, odeur, source d'ignition possible pour amorcer une explosion de poussière si poussière en suspension	<u>Prévention</u> : surveillance du grain, entretien des installations, permis de feu, plan de prévention, présence de personnel, parcours des silos régulier par le personnel  <u>Protection</u> : possibilité d'intervention sur cellules	1	C
	Explosion de poussières	Introduction de point chaud amont en présence d'un soulèvement de poussière avec concentration importante de poussières (au remplissage)	Surpressions, projections	<u>Prévention</u> : surveillance, présence de personnel, nettoyage et manutention sous aspiration  <u>Protection</u> : découplage silo A, pas de volumes sur cellules silo C	2	C

Le principal accident à l'issue de cette analyse de risque est l'explosion de poussière. L'incendie d'une cellule de stockage est à l'origine d'accidents dont la gravité est inférieure mais qui sont de longue durée et nécessitent un traitement particulier.

Des arbres de défaillance réalisés sous forme de nœuds papillon concernant ces phénomènes dangereux figurent aux paragraphes suivants.

#### 6.3.5.2. Explosion dans une cellule de stockage

L'arbre de défaillance de l'explosion de poussière dans une cellule de stockage figure en page suivante.

La probabilité d'une explosion dans les capacités de stockage du site est de D.

Compte tenu du nombre d'équipements de manutention relativement faible et de la séparation des cellules par rapport aux élévateurs (cas des silos A et C), la probabilité d'explosion d'une cellule de stockage du site peut être légèrement plus faible que le retour d'expérience nationale car il y a moins de risque de présence d'une source d'inflammation au contact d'un nuage de poussières explosible.

Les modélisations d'explosions de poussière dans les différentes capacités de stockage sont étudiées aux pages suivantes.

#### 6.3.5.3. Explosion de poussières dans une tour

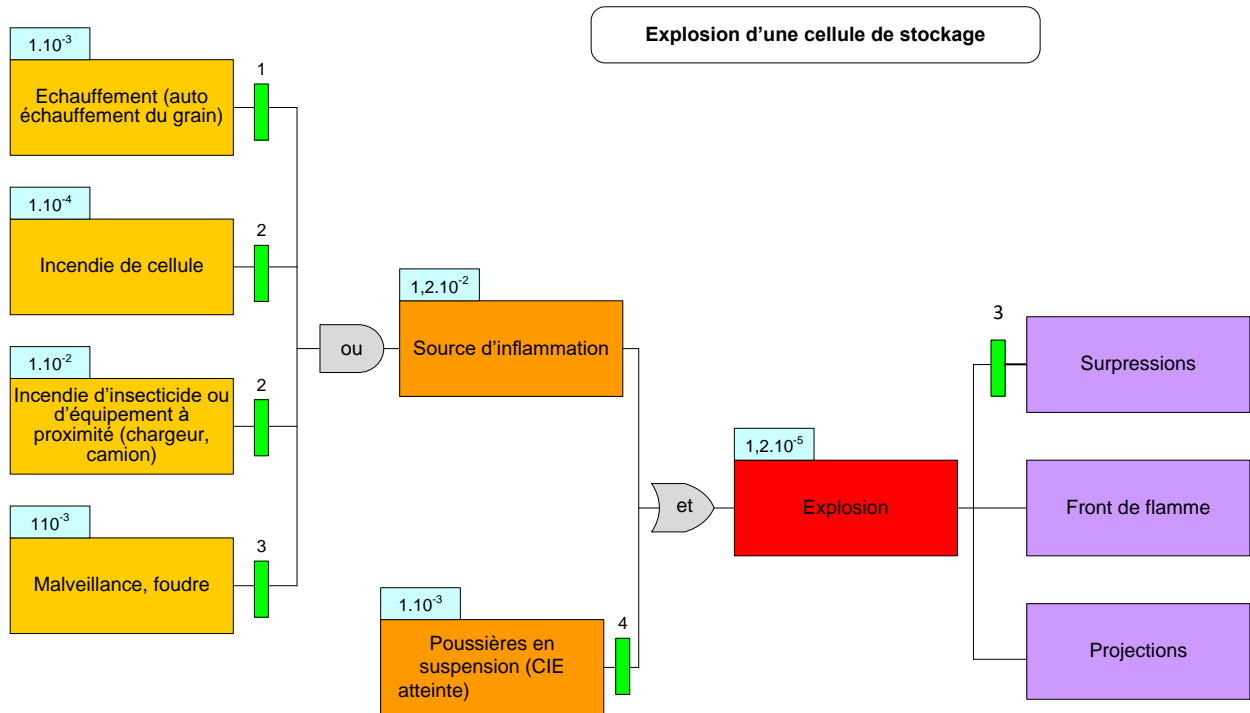
Ce cas est plus probable que celui d'une explosion dans une capacité de stockage car les tours regroupent la quasi-totalité des matériels de manutention dont les élévateurs où l'accidentologie recense différents cas d'accidents.

D'après les données Aria du BARPI, sur 10 explosions de poussières recensées en 19 ans (1982-2001) 7 se sont produites dans une tour

La probabilité d'avoir une explosion dans une tour est donc de l'ordre de :

$$P = 1/7000 \times 7/10 = 1.10^{-4} / \text{an/silo}$$

On peut donc considérer de façon globale que la probabilité d'avoir une explosion dans un étage de tour est peu probable, ce qui correspond à une probabilité C ( $10^{-4}$  à  $10^{-3}$  an) sur la grille de criticité.



- Barrières :**
1. Surveillance, rondes silo
  2. Permis de feu et plan de prévention lors de travaux avec point chaud  
Présence permanente de personnel pendant les opérations de manutention  
Surveillance, maintenance, contrôle électrique, extincteurs
  3. Mise à la terre, protection foudre, bâtiments fermés, site clôturé
  4. Nettoyage des installations

#### 6.3.5.4. Cas d'accidents graves n'aboutissant pas à une explosion

##### **Incendie en cellule**

L'incendie en cellule ou en touraille n'est pas étudié spécifiquement au niveau des tableaux d'analyse de risque mais la probabilité d'inflammation d'une cellule revient à effectuer la somme des probabilités d'inflammation intérieure données dans les tableaux d'analyse de risques.

Le Guide de l'état de l'art sur les silos mentionne que « le retour d'expérience sur des feux dans des installations de stockage de produits agroalimentaires montre que les conséquences en terme de flux thermique radiatif restent a priori limitées. En revanche, la dégradation des structures suite au dégagement de chaleur excessif est possible. »

Compte tenu du faible rayonnement lié à un feu de grain (avec quasi absence de flammes), la gravité d'un incendie de cellule serait limitée. Elle est évaluée à une situation hors grille de criticité. Le risque se situe donc en zone d'acceptabilité de la grille de criticité quelle que soit sa probabilité.

##### **Effondrement de silo**

Un tel accident sur le site de **Soufflet Malt** engendrerait au maximum des dégâts matériels et humains sur le site même (voir calcul des distances d'effondrement aux pages suivantes).

Le risque se situe donc en zone d'acceptabilité de la grille de criticité quelle que soit sa probabilité.

##### **Explosion de gaz**

Ce type de phénomène dangereux est coté en probabilité directement dans le calcul du scénario d'accident aux pages suivantes.

## 7. ETUDE DES CONSEQUENCES D'ACCIDENTS

### 7.1. Récapitulatif des scénarios d'accidents retenus

N° Phd	Zone concernée	Intitulé du scénario	Effets potentiels
1	Salle sous cellules silo A	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
2	Tour silo A RDC	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
3	Tour silo A +1	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
4	Tour silo A +2	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
5	Tour silo A +3	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
6	Tour silo A +4	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
7	Tour silo A +5	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
8	Tour silo A +6	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
9	Silo A Salle sur cellules +6 (vol. découpé 1)	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
10	Silo A Salle sur cellules +6 (vol. découpé 2)	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
11	Silo A Salle sur cellules +6 (vol. découpé 3)	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
12	Cellule silo A	Explosion primaire, volume non éventé	Surpressions effondrement
13	Tour silo A +7	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
14	Boisseau extérieur silo A	Explosion primaire, volume non éventé	Surpressions
15	Fosse élévateurs tour silo B	Explosion primaire, volume non éventé	Surpressions
16	Salle sous cellules bloc Est	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
17	Tour silo B RDC	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
18	Salle sous cellules et + 1 silo B	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
19	Tour silo B +2	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
20	Tour silo B +3	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
21	Tour silo B +4	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
22	Salle B +5 sur cellules Silo B	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
23	Cellule silo B Bloc Ouest 400 m <sup>3</sup>	Explosion primaire, volume non éventé	Surpressions effondrement
24	Cellule silo B Bloc Est 220 m <sup>3</sup>	Explosion primaire, volume non éventé	Surpressions effondrement
25	Boisseau extérieur silo B	Explosion primaire, volume non éventé	Surpressions
26	Fosse élévateurs silo C	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
27	RDC local bardé	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
28	Salle < cellules silo C	Explosion primaire, volume non éventé	Surpressions
29	Cellule silo C 1 900 m <sup>3</sup>	Explosion primaire, volume non éventé	Surpressions effondrement
30	Cellule silo C 1 700 m <sup>3</sup>	Explosion primaire, volume non éventé	Surpressions effondrement
31	As silo C	Explosion primaire, volume non éventé	Surpressions
32	Tour M1 étage 1	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
33	Tour M1 étage 4	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
34	Tour M1 étage 5	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
35	Tour M1 étage 6	Explosion primaire, volume éventé	Surpressions
36	Salle des machines ammoniac	Fuite d'ammoniac	Toxicité
37	Chaufferie M2	Explosion	Surpressions
38	Poste de détente gaz	Explosion	Surpressions rayonnement

## 7.2. Surpressions

### 7.2.1. Méthode d'évaluation

La décroissance des surpressions extérieures est calculée sur base des indications du Guide de l'état de l'art sur les silos - version 3 (avril 2008).

La méthode utilisée dans la présente étude consiste à associer un calcul de Brode pour l'énergie et un indice multi-énergie pour les effets de pression.

Cette méthode repose :

- sur l'équation de Brode pour déterminer l'énergie disponible d'explosion,
- sur la méthode multi-énergie pour évaluer l'atténuation des effets de pression.

Cette démarche a l'avantage de définir l'énergie « disponible » par rapport aux spécificités du contenant (pression de rupture et volume).

La détermination de l'énergie de l'explosion s'effectue à partir de l'équation de Brode :

$$E = 3 \times V \times P_{\text{explosion}}$$

Avec :

- E : Energie de l'explosion de poussières en joules
- V : Volume de l'enceinte considérée en m<sup>3</sup>
- P<sub>explosion</sub> : Pression relative maximale de l'explosion

La détermination des distances des effets de surpression s'effectue en appliquant la méthode multi-énergie.

Cette méthode développée par le TNO Prins Maurits Laboratory (Van Den Berg, 1984) repose sur des principes de base directement inspirés des mécanismes qui gouvernent la génération des ondes de surpression lors des explosions de gaz. En fait, le "concept Multi-Energie" diffère des méthodes classiques, notamment l'équivalent TNT, en ce sens qu'une explosion de gaz n'est plus considérée comme une entité mais éventuellement comme un ensemble "d'explosions élémentaires" se déroulant chacune dans diverses zones qui composent le nuage explosible.

Dans le cadre de l'application de la méthode Multi-Energie, la "violence" de chaque explosion élémentaire peut ensuite être caractérisée par un indice compris entre 1 et 10. L'indice 10 correspond à une détonation, les indices intermédiaires correspondant à des déflagrations à vitesses de flamme d'autant plus rapide que l'indice est élevé. Il est aussi possible de dire que ces indices caractérisent la puissance avec laquelle l'énergie est consommée pour engendrer des surpressions aériennes.

Le tableau ci-dessous rappelle la correspondance entre les surpressions maximales et les indices.

Indice de la méthode	Surpression maximale correspondante	
	(kPa)	(mbar)
1	1	10
2	2	20
3	5	50
4	10	100
5	20	200
6	50	500
7	100	1000
8	200	2000
9	500	5000
10	Entre 1 000 et 2 000	Entre 10 000 et 20 000

*Tableau : correspondance entre les surpressions et les indices d'explosion*

Le choix de l'indice est la phase délicate de la méthode « Multi-Energie » pour laquelle il n'existe pas aujourd'hui de méthode consensuelle. Différentes recommandations ont été proposées pour les choix d'indice. Les plus fréquemment utilisées sont celles proposées :

- par l'auteur de la méthode (Van Den Berg, 1984),
- par Kinsella (Kinsella, 1993),
- par le TNO (TNO, 1997),
- dans les articles résultant du projet GAMES<sup>1</sup>.

L'INERIS (INERIS, 1999) consacre un chapitre à la discussion de ces différentes recommandations. La préconisation réalisée par le TNO est directement applicable contrairement à celle du projet GAMES qui nécessite de collecter un nombre de données important. Selon le TNO, les recommandations conduisent à une estimation majorante des surpressions.

Ainsi, le TNO propose de choisir l'indice de l'explosion élémentaire sur la base des recommandations suivantes :

- retenir l'indice 10 pour tous les volumes correspondant à des zones encombrées d'obstacle,
- retenir l'indice 1 pour tous les volumes ne correspondant pas à des zones encombrées et lorsque les conditions d'accident sont telles que le nuage inflammable susceptible d'envahir ces zones peut être considéré au repos sur le plan dynamique (nuage formé suite à l'évaporation d'une flaque par exemple),
- retenir l'indice 3 pour tous les volumes ne correspondant pas à des zones encombrées et lorsque les conditions d'accident sont telles que le nuage inflammable susceptible d'envahir ces zones est caractérisé par une agitation turbulente importante (nuage formé consécutivement à un rejet de gaz combustible sous plusieurs bars de pression par exemple).

---

<sup>1</sup> Acronyme tiré de l'anglais "Guidance for Application of the Multi-Energie method" le "S" signifiant juste "second phase".

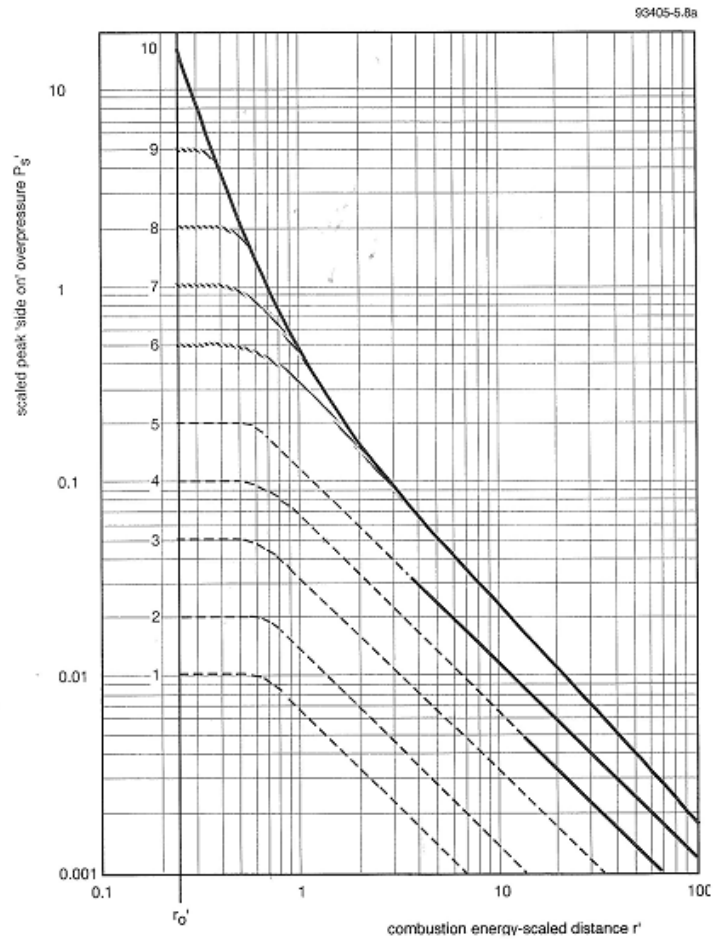


Figure 5.8A Multi-Energy method blast chart: peak side-on overpressure

Le choix de l'indice est, comme vu précédemment, fonction du degré de confinement.

Pour les volumes fortement confinés l'indice 10 semble adapté puisqu'on a à faire à un phénomène d'éclatement et de propagation d'onde de choc. Ce choix d'indice a de plus le mérite d'être conservatoire du point de vue des effets de surpressions attendus. Il est également important de noter que les courbes d'effets des indices 7, 8, 9 et 10 sont les mêmes pour l'estimation des distances d'effet des pressions résiduelles de 300, 200, 140 et 50 mbar.

Cette formule, respectant la physique du phénomène, donne les surpressions d'une onde de choc résultant d'un éclatement.

Ce choix est confirmé dans le guide silo de 2008 qui recommande de retenir un indice 10 afin de tenir compte du fort degré de confinement.

Les seuils d'effets de surpression à déterminés sont présentés au chapitre suivant. L'arrêté du 29 septembre 2005 fixe 5 seuils : 300 mbar, 200 mbar, 140 mbar, 50 mbar, 20 mbar.

- $D_{300 \text{ mbar}} = 0,028 E^{1/3}$
- $D_{200 \text{ mbar}} = 0,032 E^{1/3}$
- $D_{140 \text{ mbar}} = 0,05 E^{1/3}$
- $D_{50 \text{ mbar}} = 0,11 E^{1/3}$

Avec :

- E : Energie de l'explosion de poussières en joules
- $D_{XX \text{ mbar}}$  : Distance atteinte pour les surpressions de XX mbar en mètres

La distance correspondant au seuil à 20 mbar est prise comme le double de la distance à 50 mbar.  
La hauteur de départ de l'explosion (c'est-à-dire la hauteur de bâtiment) est prise en compte si les murs du bâtiment sont résistants.

La hauteur de départ de l'explosion (c'est-à-dire la hauteur de bâtiment) est prise en compte si les murs du bâtiment sont résistants.

### 7.2.2. Valeurs relatives aux seuils des effets de surpressions

La « surpression aérienne » considérée est la conséquence d'une explosion qui se manifeste par la propagation depuis la zone de l'explosion d'une onde de pression à travers l'atmosphère à une vitesse de l'ordre de celle des ondes acoustiques (300 à 400 m/s). Lorsqu'on mesure, en un point fixe de l'espace, les caractéristiques d'une telle onde, on observe une impulsion positive de pression dont la durée se mesure en général en millisecondes, suivie d'une phase de dépression.

Si l'explosion a pour origine la détonation d'une substance explosive, l'impulsion positive se caractérise par une très brusque montée (quasi-instantanée) jusqu'au maximum de pression suivie d'une décroissance quasi-linéaire. La phase négative est peu marquée.

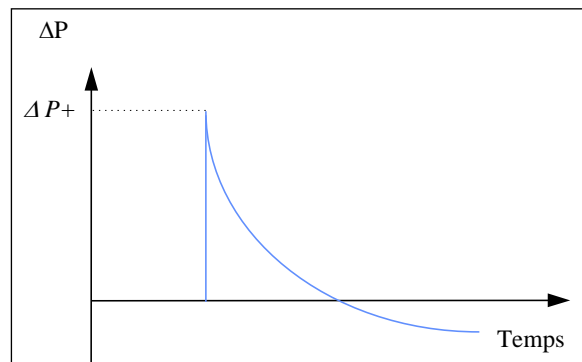


Figure relative à l'onde de pression dite « onde de choc »

En revanche, si l'explosion est une déflagration d'un nuage explosif de violence modérée (vitesse de flamme plus petite que 120 m/s), les taux de croissance et de décroissance de la surpression de l'impulsion positive sont du même ordre. La phase négative est presque une homothétie inversée de la phase positive (Lannoy, 1984).

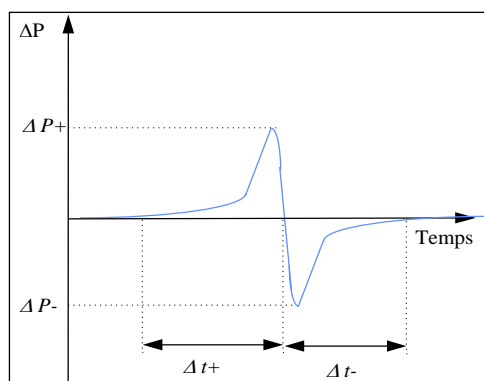


Figure relative à Onde de pression engendrée au droit d'une déflagration à vitesse de flamme modérée

La pression est une force par unité de surface susceptible d'induire des efforts de flexion ou de cisaillement dans les structures, éventuellement de compression pour le corps humain.

#### Remarques sur les seuils d'effets sur l'homme :

D'une façon générale, il est admis que le risque de blessures est susceptible de se matérialiser lorsque les individus sont frappés par des fragments de vitres, de bois, des objets de décoration légers. Ce risque ne devrait pas être fatal tant que les structures plus lourdes comme les murs porteurs ne sont pas atteintes. Le niveau de surpression correspondant pour la détonation d'un explosif condensé est de l'ordre de 50 mbar (Clancey). Il faut cependant garder à l'esprit que les dégâts aux biens peuvent apparaître pour des niveaux de surpression plus petits (20 mbar).

Dès que le risque d'effondrement apparaît, le risque léthal est présent, par effet d'écrasement ou de chocs de fragments massifs. On peut estimer que les dommages aux structures peuvent alors devenir suffisamment importants pour que les moyens de production industriels soient lourdement affectés, notamment les moyens de contrôle. On peut situer le début de ce risque vers 140 mbar (Baker, 1983 ; murs de briques, béton non renforcé) pour la détonation d'un explosif condensé. Ce seuil peut être considéré comme le seuil des premiers effets mortels (1%) dans la population.

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, donne les seuils d'effets sur les hommes à retenir. Il s'agit de :

- 200 mbar défini comme le seuil des effets létaux significatifs délimitant la zone des dangers très graves pour la vie humaine,
- 140 mbar défini comme le seuil des premiers effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine,
- 50 mbar défini comme le seuil des effets irréversibles délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine,
- 20 mbar défini comme le seuil des effets irréversibles délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme. L'arrêté du 29 septembre 2005 précise que compte tenu des dispersions de modélisation pour les faibles surpressions, il peut être adopté pour la surpression de 20 mbar, une distance d'effet égale à 2 fois la distance d'effet obtenue pour une surpression de 50 mbar.

Les seuils d'effets sur les structures correspondent quant à eux aux seuils de :

- 300 mbar comme limite de la zone des dégâts très graves aux structures,
- 200 mbar comme limite des effets domino,
- 140 mbar comme limite de la zone des dégâts graves aux structures,
- 50 mbar comme limite de la zone des dégâts légers aux structures,
- 20 mbar comme limite de la zone des destructions significatives des vitres.

### 7.2.3. Résultats

\* : surface pouvant servir d'événement importante, prise en compte des niveaux de pression atteints en fonction de la surface calculée au § 4.2.1.2 et 4.2.1.3

\*\* : surface pouvant servir d'événement insuffisante, valeur de pression prise en compte égale à 2 fois la pression statique de rupture de l'enceinte

Abréviation NA : non atteint

N° phénomène dangereux	Bâtiment	Volume explosible, hauteur explosion/sol	Type explosion	Pression relative de l'explosion	Pressions atteintes au sol (mbar, joules)	Zone concernée (effets supérieurs aux effets irréversibles)
1	Salle sous cellules silo A	2 493 m <sup>3</sup> 0 m	Explosion primaire, volume événementé	100 mbar* 7,48E+07	300 à 140 mbar NA 50 mbar à 46 m  20 mbar à 92 m	- Site étudié, rue Minoterie rue du Port du Rhin et société DRS
2	Tour silo A RDC	163 m <sup>3</sup> 0 m	Explosion primaire, volume événementé	100 mbar* 4,89E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 19 m 20 mbar à 38 m	- - - Site étudié, rue Minoterie
3	Tour silo A +1	116 m <sup>3</sup> 5 m	Explosion primaire, volume événementé	100 mbar* 3,48E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 16 m 20 mbar à 32 m	- - - Site étudié, rue Minoterie
4	Tour silo A +2	116 m <sup>3</sup> 9 m	Explosion primaire, volume événementé	100 mbar* 3,48E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 14 m 20 mbar à 28 m	- - - Site étudié, rue Minoterie
5	Tour silo A +3	116 m <sup>3</sup> 13 m	Explosion primaire, volume événementé	100 mbar* 3,48E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 10 m 20 mbar à 20 m	- - - Site étudié, rue Minoterie
6	Tour silo A +4	116 m <sup>3</sup> 18 m	Explosion primaire, volume événementé	100 mbar* 3,48E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar NA 20 mbar à 28 m	- - - -
7	Tour silo A +5	116 m <sup>3</sup> 22 m	Explosion primaire, volume événementé	100 mbar* 3,48E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar NA 20 mbar à 25 m	- - - -
8	Tour silo A +6	159 m <sup>3</sup> 27 m	Explosion primaire, volume événementé	100 mbar* 4,77E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar NA 20 mbar à 25 m	- - - -
9	Silo A Salle sur cellules +6 (volume découpé 1)	293 m <sup>3</sup> 27 m	Explosion primaire, volume événementé	140 mbar* 1,23E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar NA 20 mbar à 43 m	- - - -
10	Silo A Salle sur cellules +6 (volume découpé 2)	237 m <sup>3</sup> 27 m	Explosion primaire, volume événementé	120 mbar* 8,53E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar NA 20 mbar à 36 m	- - - -
11	Silo A Salle sur cellules +6 (volume découpé 3)	200 m <sup>3</sup> 27 m	Explosion primaire, volume événementé	130 mbar* 7,80E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar NA 20 mbar à 34 m	- - - -

N° phénomène dangereux	Bâtiment	Volume explosible, hauteur explosion/sol	Type explosion	Pression relative de l'explosion	Pressions atteintes au sol (mbar, joules)	Zone concernée (effets supérieurs aux effets irréversibles)
12 A	Cellule silo A	400 m <sup>3</sup> 7 m	Explosion primaire, volume non éventé	500 mbar** 6,00E+07	300 mbar à 8 m 200 mbar à 10 m 140 mbar à 18 m 50 mbar à 42 m 20 mbar à 84 m	Site étudié + Rue Minoterie  + société DRS, Rue du Port du Rhin
13	Tour silo A +7	486 m <sup>3</sup> 31 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar* 1,46E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar NA 20 mbar à 44 m	- - - -
14	Boisseau extérieur silo A	60 m <sup>3</sup> 15 m	Explosion primaire, volume non éventé	200 mbar* 3,60E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 8 m 20 mbar à 16 m	- - - Site étudié
15	Fosse élévateurs tour silo B	460 m <sup>3</sup> 0 m	Explosion primaire, volume non éventé	300 mbar* 1,93E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 30 m 20 mbar à 60 m	- - - Site étudié, réserve foncière, voie ferrée desservant le site
16	Salle sous cellules bloc Est	1180 m <sup>3</sup> 0 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar* 3,54E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 36 m  20 mbar à 72 m	- - - Site étudié, réserve foncière, rue de la Minoterie (trottoir)
17	Tour silo B RDC	648 m <sup>3</sup> 0 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar* 1,94E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 30 m  20 mbar à 60 m	- - - Site étudié, voie ferrée, darse, réserve foncière
18	Salle sous cellules et + 1 silo B	4 890 m <sup>3</sup> 5 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar* 1,47E+08	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 58 m  20 mbar à 116 m	- Site étudié, voie ferrée, darse, rue Minoterie, réserve foncière
19	Tour silo B +2	403 m <sup>3</sup> 11 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar* 1,21E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 23 m  20 mbar à 46 m	- - - Site étudié, voie ferrée site, darse, emprise foncière
20	Tour silo B +3	400 m <sup>3</sup> 17 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar* 1,20E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 19 m  20 mbar à 38 m	- - - Site étudié, voie ferrée, emprise foncière
21	Tour silo B +4	429 m <sup>3</sup> 24 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar* 1,29E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 9 m 20 mbar à 18 m	- - - Site étudié
22	Salle sur cellules silo B +5	2 350 m <sup>3</sup> 30 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar 7,05E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 34 m  20 mbar à 68 m	- - - Site étudié, voie ferrée site, darse, emprise foncière, rue de la Minoterie

N° phénomène dangereux	Bâtiment	Volume explosible, hauteur explosion/sol	Type explosion	Pression relative de l'explosion	Pressions atteintes au sol (mbar, joules)	Zone concernée (effets supérieurs aux effets irréversibles)
23	Cellule silo B Bloc Ouest 400 m <sup>3</sup>	400 m <sup>3</sup> 12 m	Explosion primaire, volume non éventé	500 mbar** 6,00E+07	300 mbar NA 200 mbar à 4 m 140 mbar à 15 m 50 mbar à 41 m 20 mbar à 82 m	- Site étudié + réserve foncière + voie ferrée, darse
24	Cellule silo B Bloc Est 220 m <sup>3</sup>	220 m <sup>3</sup> 0 m	Explosion primaire, volume non éventé	500 mbar** 3,30E+07	300 mbar à 9 m 200 mbar à 10 m 140 mbar à 16 m 50 mbar à 35 m 20 mbar à 70 m	Site étudié + réserve foncière + rue de la Minoterie
25	Boisseau extérieur silo B	145 m <sup>3</sup> 6,5 m	Explosion primaire, volume non éventé	500 mbar** 2,18E+07	300 mbar à 4 m 200 mbar à 6 m 140 mbar à 12 m 50 mbar à 30 m 20 mbar à 60 m	Site étudié, voie ferrée + darse
26	Fosse élévateurs silo C	138 m <sup>3</sup> 0 m	Explosion primaire, volume éventé	130 mbar* 6,21E+06	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 13 m 20 mbar à 26 m	- - - Site étudié
27	RDC local bardé	850 m <sup>3</sup> 0 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar* 2,55E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 32 m 20 mbar à 64 m	- - - Site étudié
28	Salle < cellules silo C	1 560 m <sup>3</sup> 0 m	Explosion primaire, volume non éventé	2 000 mbar** 9,36E+08	300 mbar à 27 m 200 mbar à 31 m 140 mbar à 49 m 50 mbar à 108 m 20 mbar à 216 m	Site étudié +voie ferrée + rue Minoterie, darse, rue P. du Rhin, parking ancienne poste
29	Cellule silo C 1 900 m <sup>3</sup>	1 900 m <sup>3</sup> 5 m	Explosion primaire, volume non éventé	1 080 mbar* 6,16E+08	300 mbar à 23 m 200 mbar à 27 m 140 mbar à 42 m 50 mbar à 93 m 20 mbar à 186 m	Site étudié + rue Minoterie, voie ferrée, darse
30	Cellule silo C 1 700 m <sup>3</sup>	1 700 m <sup>3</sup> 8 m	Explosion primaire, volume non éventé	1 000 mbar* 5,10E+08	300 mbar à 22 m 200 mbar à 25 m 140 mbar à 40 m 50 mbar à 88 m 20 mbar à 176 m	Site étudié + voie ferrée, darse
31	As silo C	480 m <sup>3</sup> 5 m	Explosion primaire, volume non éventé	600 mbar** 1,01E+08	300 mbar à 11 m 200 mbar à 13 m 140 mbar à 22 m 50 mbar à 48 m 20 mbar à 96 m	Site étudié + voie ferrée
32	Tour M1 étage 1	1 035 m <sup>3</sup> 5 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar 3,11E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 34 m 20 mbar à 68 m	- - - Site étudié
33	Tour M1 étage 4	356 m <sup>3</sup> 12,5 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar 1,07E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar à NA m 50 mbar à 21 m 20 mbar à 42 m	- - - Site étudié
34	Tour M1 étage 5	356 m <sup>3</sup> 16,5 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar 1,07E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 18 m 20 mbar à 36 m	- - - Site étudié

N° phénomène dangereux	Bâtiment	Volume explosible, hauteur explosion/sol	Type explosion	Pression relative de l'explosion	Pressions atteintes au sol (mbar, joules)	Zone concernée (effets supérieurs aux effets irréversibles)
35	Tour M1 étage 6	580 m <sup>3</sup> 20 m	Explosion primaire, volume éventé	100 mbar 1,74E+07	300 mbar NA 200 mbar NA 140 mbar NA 50 mbar à 20 m 20 mbar à 40 m	- - - Site étudié

### 7.3. Projections

Conformément à la circulaire du 24/07/2007 relative à la prise en compte des effets de projection dans les études de dangers, les effets de projections ne sont usuellement pas pris en compte dans la détermination de l'aléa dans le cadre des PPRT notamment par manque de données fiables dans la plupart des secteurs d'activité.

Ainsi, les effets de projections ne seront pas pris en compte dans la détermination des gravités d'accidents et il est important de rappeler que d'après l'accidentologie relative aux silos de stockage de céréales, les projections les plus importantes se situent principalement à l'intérieur des rayons d'isolement du site.

Les plus grandes distances atteintes par la projection d'éléments légers de type bardage métallique ou bacs fibrociment sont de l'ordre d'environ 25 à 30 mètres. Les distances atteintes par des blocs de béton peuvent être de l'ordre d'une cinquantaine de mètres. Ces distances varient en fonction de la pression relative de l'explosion et de la hauteur de départ du projectile.

## 7.4. Effondrement

### 7.4.1. Méthode d'évaluation

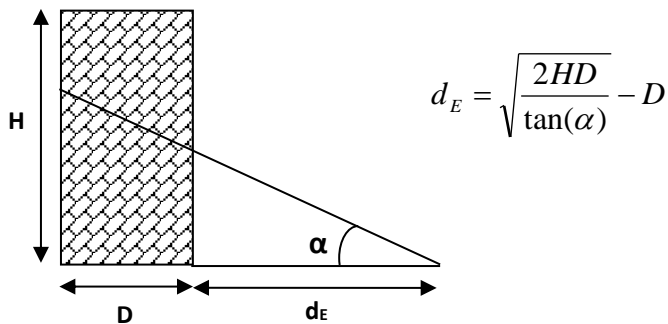
La méthode utilisée est celle décrite dans le guide de l'état de l'art sur les silos.

Dans la mesure où l'on ne peut pas a priori déterminer les modalités d'éventration d'une cellule, seul un calcul permettant d'accéder à un ordre de grandeur de cette distance peut être envisagé.

Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- Le problème posé est mono-directionnel, c'est-à-dire que l'on considère uniquement la rupture de la paroi extérieure,
- Les cellules sont supposées pleines de grain,
- Les quantités de grain que l'explosion pourrait éparpiller dans l'atmosphère sont négligées (tout le grain contenu dans la cellule est supposé disponible pour ensevelir personnes et biens au voisinage immédiat du silo).

Dans ces conditions, il y a lieu de tenir compte de l'angle de talutage naturel du grain, et le problème se ramène à calculer la distance ( $d_E$ ) qui est le pied d'un triangle rectangle dont la section est égale à celle du maître-couple de la cellule, conformément au schéma suivant (cas des silos verticaux avec  $H > D$ ) :



#### 7.4.2. Résultats

Cellule	Arrête ou Ø cellule (m)	H cellule (H grain) (m)	Distance avec blé* (m)	Distance avec orge* (m)	Distance avec malt* (m)
Silo A 400 m3	4,5	21	-	-	14
Silo B 400 m3	4,6	20	17	14	13
Silo B 200 m3	3	30	18	16	15
Silo C 1 900 m3	7,5	46,1	34	29	27
Silo C 1 700 m3	7,5	42,6	32	28	26

\* depuis le bord de la cellule, angle de talutage : 22° pour le blé, 27° pour l'orge et 30° pour le malt.

L'effondrement de cellule n'atteint que des zones situées sur le site et la réserve foncière du site dans le cas du silo B.

Les rayons de dangers relatifs à ces scénarios figurent en annexe de l'étude de dangers.

## 7.6. Fuites d'ammoniac

### 7.6.1. Méthodologie

#### Logiciel

La dispersion atmosphérique d'un polluant est réalisée à l'aide du logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools) version 6.53 de DNV Risk Management Software.

Ce logiciel est aujourd'hui le logiciel commercial le plus fréquemment utilisé dans les modélisations des études des dangers. Les résultats de différentes simulations de scénarios accidentels réalisées par l'INERIS, montrent que les modèles implémentés dans le logiciel PHAST sont adaptés à la modélisation de la dispersion atmosphérique de gaz dans l'environnement.

Le terme source de la dispersion (débit à la brèche, fraction flashée, fraction rejetée sous forme d'aérosol ou liquide s'écoulant sur le sol et susceptible de se revaporiser,...) peut être soit calculé par un module spécifique du logiciel à partir des conditions de stockage et de la définition d'un scénario de fuite (à travers un orifice, une conduite ...), soit fourni directement par l'utilisateur au logiciel : user defined source.

Les calculs de dispersion atmosphérique enchaînent plusieurs modèles différents, en fonction des caractéristiques thermocinétiques du terme source, de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques du mélange air/produit :

- Tout d'abord le logiciel utilise un modèle intégral de type « jet libre turbulent » (horizontal, vertical ou incliné). Ce modèle permet de décrire la dispersion atmosphérique dans la zone proche du rejet lorsque son énergie cinétique et sa densité sont encore importantes. Le gradient de vitesse entre l'air ambiant et le jet induit une turbulence importante (formation de vortex) localisée principalement en bordure de nuage. Ceci provoque l'entraînement d'air atmosphérique à l'intérieur du jet. Ce phénomène a pour conséquence d'une part un ralentissement du jet par échange de quantité de mouvement, et d'autre part la diminution de la densité du panache. Lorsque la densité du jet tend vers la densité de l'air ambiant et la vitesse du jet vers la vitesse du vent, le gaz peut être considéré comme un gaz passif ;
- Le logiciel utilise ensuite soit :
  - o un modèle de type « gaz lourd », qui permet de gérer la dispersion de gaz de type gaz lourd, notamment en prenant en compte l'interaction panache sol ;
  - o un modèle de panache gaussien de type « gaz passif ».

#### Seuils des effets toxiques recherchés

Nous présentons ci-après les différents effets recherchés, ainsi que les seuils qui leur sont associés. D'une manière générale, en accord avec 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 et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations soumises à autorisation, il sera recherché les zones d'effets suivantes :

- la zone des effets irréversibles pour les individus exposés qui délimite la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine »
- la zone des premiers effets létaux, correspondant au décès potentiel de 1% des individus exposés qui délimite la « zone des dangers graves pour la vie humaine »
- la zone des effets létaux significatifs, correspondant au décès potentiel de 5% des individus exposés qui délimite la « zone des dangers très graves pour la vie humaine »

### Valeurs relatives aux seuils des effets toxiques

Dans le cas d'établissements stockant, employant ou produisant des substances toxiques et à partir des scénarios d'accidents retenus dans les études de dangers, l'exploitant définit des zones d'effets toxiques potentiels correspondant aux effets létaux significatifs (significativité fixée à 5%), aux effets létaux i.e., premiers décès (CL 1%) et aux premières atteintes irréversibles sur l'homme.

Les seuils des effets létaux significatifs (SELS), des premiers effets létaux (SEL) et des effets irréversibles (SEI) développés dans le cadre de la méthodologie française (Seuils de toxicité aiguë – Méthodologie de détermination des seuils des effets létaux, des effets irréversibles, des effets réversibles et de perception. MEDD – novembre 2003), sont les valeurs de référence pour le calcul des zones d'effets d'une émission accidentelle de substance dangereuse dans les études de dangers des installations classées. Ces valeurs expriment la toxicité aiguë pour une période d'exposition de 1, 3, 10, 20, 30, et 60 minutes. Pour des durées d'exposition inférieures à la minute, les seuils définis pour 1 minute d'exposition sont utilisés par défaut.

Les seuils des effets réversibles (SER) et les seuils de perception (SP) ne sont pas des valeurs utilisées pour la détermination des zones d'effets d'une émission accidentelle de substance dangereuse. Ces deux types de valeurs peuvent être pris en compte, dans le cadre de situation d'urgence, pour déclencher des actions d'alerte ou de secours par les industriels et les pouvoirs publics.

L'arrêté du 29 septembre 2005 précise les notions de seuil des premiers effets létaux (SEL) et seuil des effets létaux significatifs (SELS).

Ainsi, la délimitation des zones d'effets significatifs sur la vie humaine, les seuils de référence sont :

- le seuil des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à une CL 5% pour la « zone des dangers très graves pour la vie humaine » ;
- le seuil des premiers effets létaux (SPEL ou SEL) correspondant à une CL 1% pour la « zone des dangers graves pour la vie humaine » ;
- le seuil des effets irréversibles (SEI) pour la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine ».

Les valeurs de seuils SPEL et SEI de toxicité aiguë à considérer sont celles définies par l'INERIS et le MEDD (ancien MEDAD) : Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de toxicité aiguë (INERIS – septembre 2003).

Dans le cadre de la mise en place de la loi du 30 juillet 2003 relative au développement de PPRT (Plans de Prévention des Risques Technologiques) pour les installations classées, ces valeurs ont été complétées pour certaines substances dangereuses par celles du SELS correspondant à une CL 5% (Détermination des Seuils d'Effets Létaux 5% (SELO5) dans le cadre de la mise en place des PPRT. Rapport n°05DR040.INERIS – avril 2005).

Il faut noter qu'à ce jour les valeurs des seuils SELS ne sont pas disponibles pour le CO et le CO2.

### Cas des mélanges

Les seuils d'effets développés au niveau français le sont pour des substances pures. Dans certaines conditions accidentelles, des mélanges de substances toxiques peuvent être émis dans l'atmosphère.

On peut distinguer quatre types d'interactions entre des substances en mélange :

- aucune interaction
- antagonisme
- synergie
- additivité

Compte tenu de l'insuffisance des connaissances scientifiques sur la toxicité des mélanges, une règle d'additivité suivante doit être appliquée, par défaut, pour évaluer la toxicité de ces derniers lorsque les composés en mélange présentent les mêmes types d'effets toxiques (par exemple effets irritants sur les voies aériennes supérieures). L'application de cette méthode est donc spécifique et son utilisation doit être fondée et justifiée.

La méthode proposée est issue du document ISO/DIS 13344 intitulé « Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents » de 1996.

Dans le cas de produits dilués ou comportant plusieurs substances toxiques (fumées d'incendie par exemple), le seuil à retenir pour caractériser la toxicité du mélange n'est donc plus propre à un gaz pur mais à un mélange de gaz. Dans ce cas, si le mélange est composé de n gaz polluants ayant respectivement une concentration  $X_i$  et un seuil  $Seuil_i$ , un seuil « équivalent »  $Seuil_{eq}$  peut être estimé au moyen de la relation suivante :

$$\frac{100}{Seuil_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{Seuil_i}$$

Cette expression permet de manière simplifiée, d'une part de prendre en compte la toxicité spécifique à chaque gaz polluant, et d'autre part de « sommer » leurs toxicités respectives (principe d'additivité des effets retenu dans les normes de toxicité les plus récentes).

Le seuil « équivalent » ainsi déterminé n'est valable que pour une durée d'exposition donnée. Ce calcul est à effectuer pour plusieurs durées d'exposition pour définir une nouvelle loi de type  $C^n \cdot t = E$  (avec C = concentration et E = Exposition), en calculant notamment un nouvel exposant n pour le mélange si la courbe LogC-Logt est une droite.

Dans le cas contraire, il est nécessaire de calculer le seuil équivalent pour les durées d'exposition considérées (distances d'effets déterminées par rapport à un seuil équivalent de toxicité et non par rapport à une dose toxique). Il est clair qu'une telle approche d'additivité des toxicités retenue faute de mieux, ne permet pas de prendre en compte tout effet de synergie ou d'antagonisme éventuel induit par la présence simultanée des différents polluants.

Nous considérons qu'un panache de fumées d'incendie se dispersant dans l'atmosphère est uniquement susceptible d'engendrer une zone d'effets irréversibles et pas de zone létale. Ceci n'est évidemment pas valide lorsque l'on s'intéresse aux effets d'un incendie à l'intérieur d'un bâtiment. En effet, dans cette situation, il est avéré que la grande majorité des décès sont dus aux effets toxiques des fumées.

#### Conditions atmosphériques

Les calculs sont effectués généralement pour plusieurs conditions météorologiques :

- diffusion normale (D, 5, 20) : atmosphère thermiquement neutre (classe D de Pasquill) et vent moyen (5 m/s). Cette situation est la plus fréquente, de jour comme de nuit. Elle représente des conditions moyennes du point de vue de la dispersion atmosphérique de gaz. Les températures (ambiante et au sol) sont prises égales à 20°C
- diffusion faible (F, 3, 15) : atmosphère très stable (classe F de Pasquill) et vent faible (3 m/s). Cette situation peu fréquente n'est rencontrée que de nuit ou au petit matin. Elle est très pénalisante du point de vue de la dispersion atmosphérique de gaz. Les températures (ambiante et au sol) sont prises égales à 15°C
- diffusion normale (D, 10, 20) : atmosphère thermiquement neutre (classe D de Pasquill) et vent fort (10 m/s). Cette situation est peu fréquente et peut être rencontrée de jour comme de nuit. Elle est pénalisante en cas de panache issu d'un incendie en favorisant le rabattement des vents. Les températures (ambiante et au sol) sont prises égales à 20°C

Les conditions atmosphériques F3 et D5, préconisées notamment par le Ministère, permettent de couvrir les conditions respectivement défavorables et moyennes vis-à-vis de la dispersion atmosphérique.

Dans les cas de dispersion de fumées toxiques issues d'incendie, une condition météorologique pénalisante sera utilisée : D10 (vent de 10m/s, atmosphère neutre).

L'humidité relative est prise égale à 70% ce qui est représentatif de la plupart des régions en France métropolitaine.

Pour mémoire, l'approche de Pasquill hiérarchise les conditions de stabilité de l'atmosphère en six classes :

- Classe A : très instable
- Classe B : instable
- Classe C : légèrement instable
- Classe D : neutre
- Classe E : stable
- Classe F : très stable

Le tableau ci-dessous issu de la documentation du logiciel PHAST, permet de lier les conditions de stabilité atmosphérique à des paramètres météorologiques macroscopiques.

Vitesse du vent à une hauteur de 10 m	De jour avec un ensoleillement			De nuit avec une couverture nuageuse		Jour ou nuit
	Fort	Modéré	Léger	Faible < 40%	Modérée	
(m/s)						Fortement couvert > 80%
< 2	A	A-B	B	F	F	D
2 - 3	A-B	B	C	E	F	D
3 - 5	B	B-C	C	D	E	D
5 - 6	C	C-D	D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D	D

## 7.6.2. Modélisations de fuites d'ammoniac

### Critères de toxicité de l'ammoniac

Seuil	SEI	SEI	SPEL	SPEL	SEls	SEls
Durée (mn)	ppm	mg/m3	ppm	mg/m3	ppm	mg/m3
1	1500	1050	25300	17710	28033	19623
10	866	606	8200	5740	8833	6183
20	612	428	5833	4083	6267	4387
30	500	350	4767	3337	5133	3593
60	354	248	3400	2380	3633	2543

Source	INERIS aout04	INERIS aout04	INERIS aout04	INERIS aout04	INERIS aout04	INERIS aout04

### Données d'entrée

Quantité totale d'ammoniac	400 kg
Volume du local	600 m3
Hauteur du local	6,65 m
Hauteur de rejet	21,8 m

### Résultats

Cas envisagés	Rupture d'une tuyauterie à l'intérieur du local sans ventilation	Rejet par une soupape
Débit moyen d'ammoniac fuyant hors de l'installation (débit maxi en kg/s)	10	1,91
Durée de la fuite (s)	~ 80 (1)	209
Quantité d'ammoniac correspondante (kg)	400	400
Débit moyen rejeté à l'extérieur du local (air + ammoniac) (kg/s)	1,65	1,91
Durée du rejet (s)	3 600 (2)	209
Hauteur du rejet/sol (m)	21,8	21,8
Direction	Verticale	Verticale

- (1) De façon majorante, il est supposé que la totalité de l'ammoniac est vaporisée (soit directement au débouché de la fuite, soit après formation d'une flaqué sur le sol se vaporisant rapidement). La totalité est supposée être libérée et vaporisée en 80 s au total
- (2) ~100 % de l'ammoniac est rejeté dans un délai de 3 600 s. Compte tenu de la vaporisation et de la quantité d'air contribuant à vaporiser et à réchauffer l'ammoniac, la température moyenne du rejet est de ~5°C

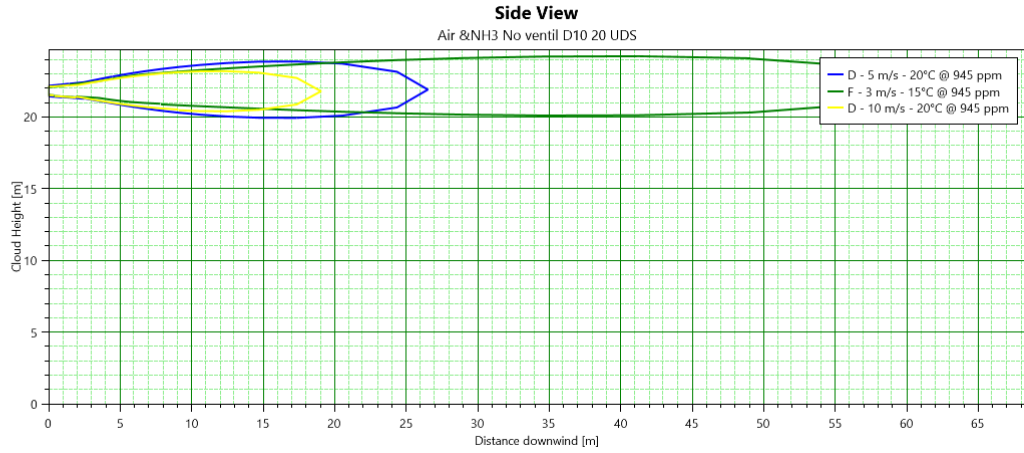
- Fuite à l'intérieur du bâtiment sans extraction

Seuils considérés	Valeur du seuil (ppm)	Effets au sol à 1,5 m	Effets en hauteur
SEI	945	NA	60 m
SPEL	9076	NA	20 m
SELS	9698	NA	20 m

Durée : 3 600 s

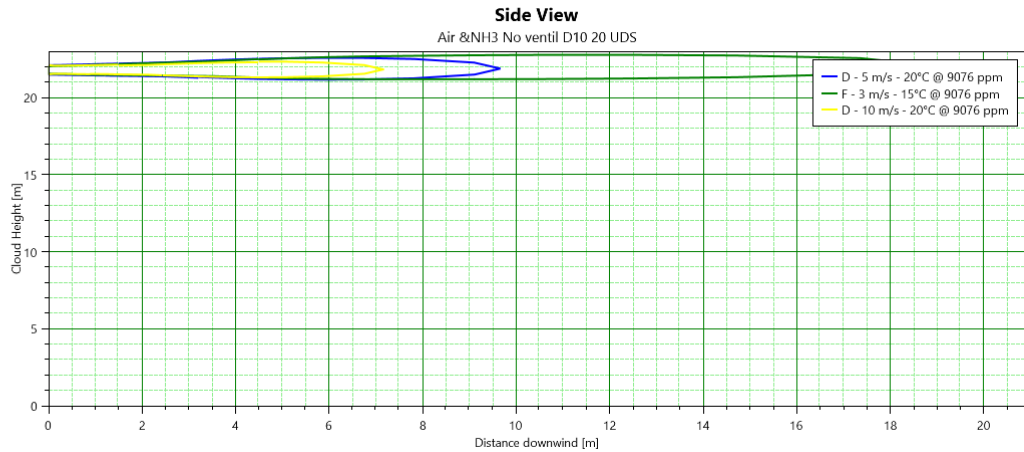
Les graphes suivants donnent l'allure des panaches pour les différents cas.

Audit Number	91132
Averaging time	User-defined (3600 s)
Equipment	Air &NH3 No ventil 400 kg
Material	Air &NH3 no ventil 400
Offset Distance	0 m
Program	Phast 7,21
Scenario	Air &NH3 No ventil D10 20 UDS
Time (D - 5 m/s - 20°C)	4,357 s
Time (F - 3 m/s - 15°C)	13,11 s
Time (D - 10 m/s - 20°C)	1,603 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	Dispé NH3 groupe frigo



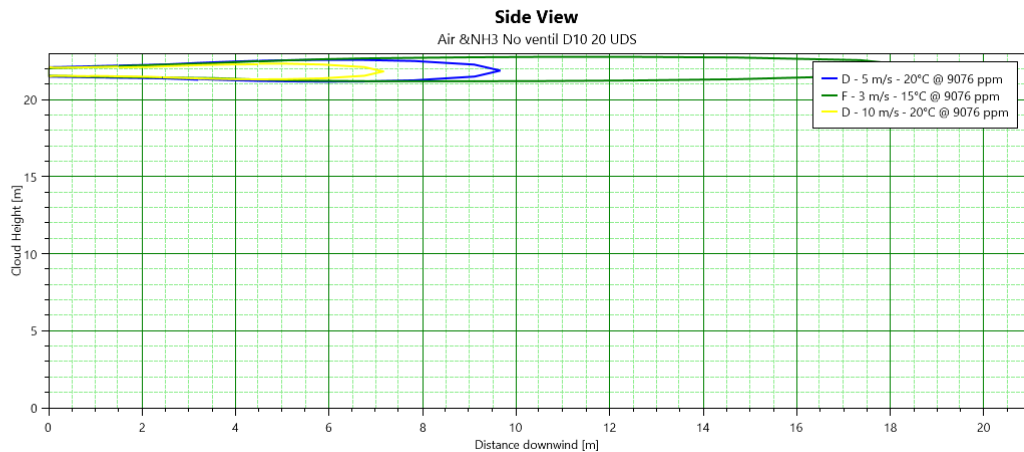
Distances atteintes pour le seuil des effets irréversibles (SEI)

Audit Number	91419
Averaging time	User-defined (3600 s)
Equipment	Air &NH3 No ventil 400 kg
Material	Air &NH3 no ventil 400
Offset Distance	0 m
Program	Phast 7,21
Scenario	Air &NH3 No ventil D10 20 UDS
Time (D - 5 m/s - 20°C)	1,645 s
Time (F - 3 m/s - 15°C)	4,069 s
Time (D - 10 m/s - 20°C)	0,6463 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	Dispé NH3 groupe frigo



Distances atteintes pour le seuil des létaux (SEL)

Audit Number	91419
Averaging time	User-defined (3600 s)
Equipment	Air &NH3 No ventil 400 kg
Material	Air &NH3 no ventil 400
Offset Distance	0 m
Program	Phast 7,21
Scenario	Air &NH3 No ventil D10 20 UDS
Time (D - 5 m/s - 20°C)	1,645 s
Time (F - 3 m/s - 15°C)	4,069 s
Time (D - 10 m/s - 20°C)	0,6463 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	Dispé NH3 groupe frigo



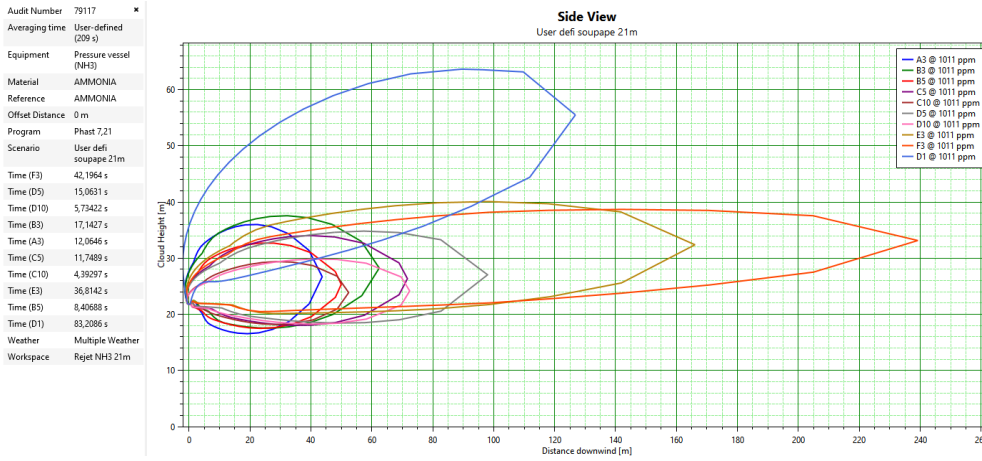
Distances atteintes pour le seuil des létaux significatifs (SELS)

- Fuite de soupape

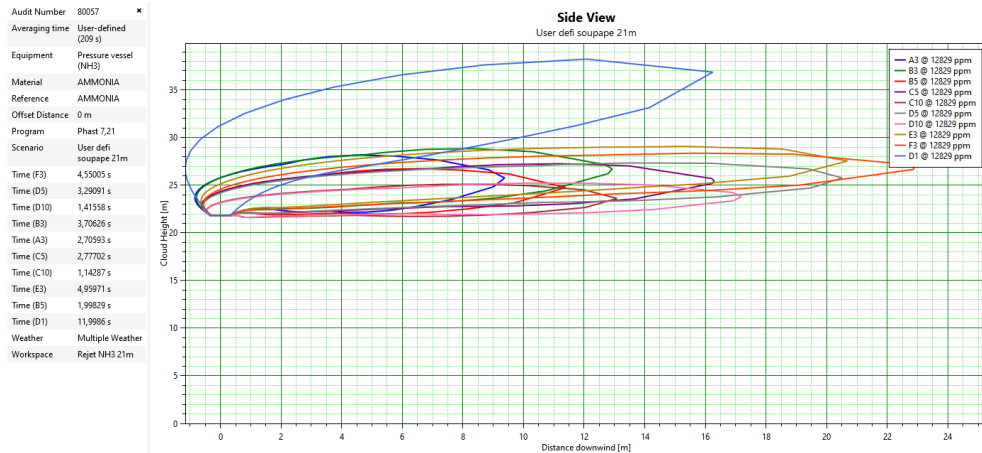
Seuils considérés	Valeur du seuil (ppm)	Effets au sol à 1,5 m	Effets en hauteur
SEI	1 011	NA	240 m
SPEL	12 829	NA	24 m
SELS	14 009	NA	20 m

Durée : 3 600 s

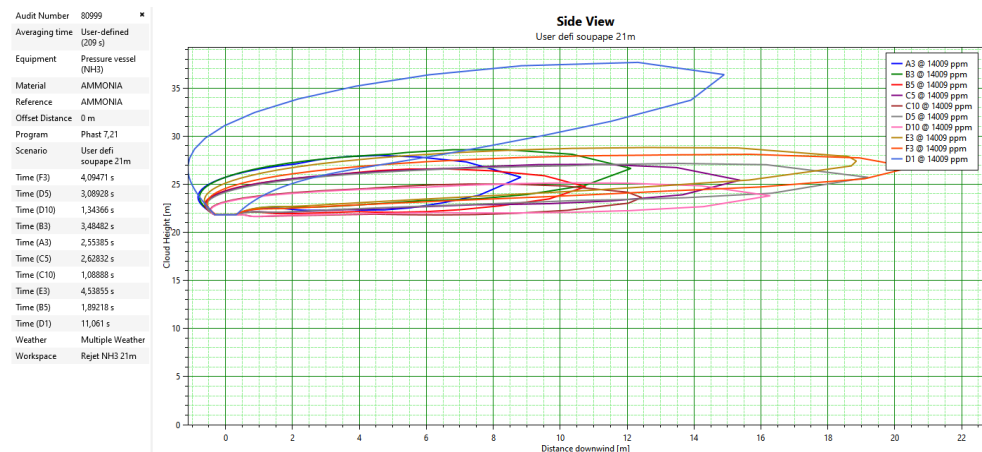
Les graphes suivants donnent l'allure des panaches pour les différents cas.



Distances atteintes pour le seuil des effets irréversibles (SEI)



Distances atteintes pour le seuil des létaux (SEL)



Distances atteintes pour le seuil des létaux significatifs (SELS)

- Probabilités

Le nombre d'installations soumises à autorisation en France au titre de la rubrique 4735 est de 87 (source : site de l'inspection des installations classées), soit environ 1 par département. Le nombre d'installations soumises à déclaration n'est pas connu mais estimé à 30 par départements soit environ 3 000.

La probabilité d'avoir une fuite a fait l'étude d'une étude (retour d'expérience, l'ammoniac et la réfrigération, ministère de l'environnement voir aux pages précédentes), 43 cas de fuites dans l'air ayant été dénombrés sur 35 ans

On peut donc considérer en première approche que la probabilité d'avoir une fuite par an est la suivante :

$$P = 43/35/3\ 000 = 4,1 \cdot 10^{-4}/\text{an}$$

On peut considérer que la probabilité d'avoir une fuite avec rejet conséquent dans l'atmosphère correspond à une probabilité de 1 fois sur 10, soit une probabilité D ( $10^{-5}$  à  $10^{-4}$  an) sur la grille de criticité.

## 7.7. Inflammation de gaz

### 7.7.1. Hypothèses et données de calcul

#### Inflammation en extérieur

Les calculs des débits de fuite sont évalués à l'aide du logiciel EFFECTS développé par le TNO.

Il est tenu compte des remarques de l'UIC : "Explosion de gaz en milieu non confiné – Cahier de sécurité n° 10".

Les phénomènes d'explosion sont estimés à l'aide de la méthode Multi-Énergie par le logiciel EFFECTS développé par le TNO. La méthode Multi-Énergie a été développée par le TNO. Les principes de base sur lesquels repose cette méthode sont directement inspirés des mécanismes qui gouvernent le déroulement des explosions de gaz.

En milieu non confiné, une fuite de gaz suivie d'un allumage du nuage ne peut engendrer une surpression notable.

On considère que la canalisation a été agressée mécaniquement dans sa partie aérienne en extérieur, provoquant une fuite en phase gazeuse (rupture guillotine de la conduite).

Les phénomènes d'UVCE sont modélisés suivant la méthode 'Multi-énergie' développé par le TNO.

De façon à bien prendre en compte toutes les données, une évaluation de l'encombrement à proximité de la fuite est effectuée de façon à estimer les effets liés à ce type de scénario. Cette zone est considérée comme milieu libre.

Le scénario suppose que le régime établi est atteint, c'est à dire que l'explosion survient quand la masse maximale explosible est atteinte. Ce délai est généralement de l'ordre d'une minute.

Les principales données du scénario sont les suivantes :

- |                                    |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| - Diamètre de la conduite          | 100 mm                |
| - Pression                         | 4 bars eff            |
| - Température                      | 0 °C                  |
| - Gaz naturel                      | assimilé à du méthane |
| - Orientation de la fuite          | verticale             |
| - Hauteur/sol                      | ~ 1 m                 |
| - Débit maxi. possible de la fuite | 2,8 kg/s              |

### Inflammation en chaufferie

L'évolution des surpressions à l'extérieur des chaufferies est calculée par la méthode "Multi-Énergie".

Cette surpression serait de l'ordre de 100 mbar pour le local chaufferie M2 qui est réalisé en bacs et bardages.

Par analogie avec une explosion de gaz en milieu non confiné, et compte tenu de la surface fragile présente, l'indice de sévérité pour l'application de la méthode " Multi-Énergie " est de 5 pour une surpression maximale engendrée de 200 mbar

## 7.7.2. Résultats

### Explosion en chaufferie M2

#### Caractéristiques du local

Les caractéristiques du local sont les suivantes :

- |   |   |
|---|---|
| - Volume du local (l x l x h)               | 30 m x 15 m x 5 m = 2 250 m <sup>3</sup>  |
| - Type de construction                      | bacs et bardages acier                    |
| - Surface fragile                           | toiture et façade extérieures du bâtiment |
| - Vitesse de montée en pression gaz naturel | Kg = 180 bar/s                            |
| - P max. explosion gaz naturel              | Pmax = 7 bar                              |

#### Fuite retenue

Une fuite est retenue sur la tuyauterie en DN 100, sous 1 bar rel.

Il peut être retenu que l'ensemble du volume soit à la stœchiométrie au moment où survient l'explosion.

Masse maxi de gaz	134 kg
-------------------	--------

#### Résultats

L'évolution des surpressions à l'extérieur du local est calculée par la méthode "Multi-Énergie".

Par analogie avec une explosion de gaz en milieu non confiné, et compte tenu de la surface fragile présente, l'indice de sévérité pour l'application de la méthode " Multi-Énergie " est de 5 pour une surpression maximale engendrée de 200 mbar Les conditions de calcul sont les suivantes :

- |                      |        |
|----------------------|--------|
| - Quantité de gaz    | 134 kg |
| - Indice de Sévérité | 4      |

Ce qui donne l'évolution de la surpression à l'extérieur de la chaufferie en fonction de la distance au bâtiment suivante :

Seuils de surpression	Distance atteinte (m)
200 mbar	NA
140 mbar	NA
50 mbar	32
20 mbar	65

La surpression maxi serait de l'ordre de 200 mbar. Elle serait atteinte uniquement en limite du volume occupé par la chaufferie. Les effets thermiques seraient contenus à l'intérieur du local.

La probabilité de rupture guillotine d'une canalisation de gaz de diamètre 100 mm est de  $2,5 \cdot 10^{-6}$ /m/an (source : base de données Aramis). La canalisation a une longueur d'environ 10 m en intérieur. La probabilité de rupture de la canalisation en extérieur est donc de  $2,5 \cdot 10^{-5}$  environ. La probabilité d'allumage du nuage est considérée comme étant de 1.

### UVCE et jet enflammé poste de détente

#### UVCE

- Débit de fuite = 4,22 kg/s
- Indice de sévérité : 4
- Masse explosive : 2,43

Ce qui donne l'évolution de la surpression suivante :

Seuils de surpression	Distance atteinte (m)
200 mbar	NA
140 mbar	NA
50 mbar	25 m
20 mbar	50 m

#### Jet enflammé

- Jet vertical (seul cas possible en raison de la faible longueur de tuyauterie sortant du sol)
- L : 20 m
- Surélévation du jet : 4 m/sol

Seuils de rayonnement	Distance atteinte (m)
8 kW/m <sup>2</sup>	NA
5 kW/m <sup>2</sup>	9 m
3 kW/m <sup>2</sup>	20 m

Les distances sont comptées à partir du lieu de la fuite (tuyauterie de gaz)

Les effets irréversibles ne sortent pas des limites de propriété du site.

La probabilité de rupture guillotine d'une canalisation de gaz de diamètre 100 mm est de  $2,5 \cdot 10^{-6}$ /m/an (source : base de données Aramis). La canalisation a une longueur d'environ 1 m en extérieur. La probabilité de rupture de la canalisation en extérieur est donc de  $2,5 \cdot 10^{-6}$  environ. La probabilité d'allumage du nuage est considérée comme étant de 1.

## 7.8. Evaluation de la gravité des conséquences sur les personnes exposées aux risques

### 7.8.1. Echelle d'appréciation de la gravité des conséquences humaine

L'échelle d'appréciation de la gravité des conséquences humaines d'un accident à l'extérieur des installations est donnée par l'arrêté du 29 septembre 2005 :

Valeur de la gravité G/personnes	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 personnes exposées
Important	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modéré	Pas de zone de léthalité hors de l'établissement		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à « une personne »

Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.

### 7.8.2. Détermination des "équivalents personnes en permanence"

Les règles de comptage employées sont celles de la circulaire du 10 mai 2010 - §1.1.1.

Conformément à la circulaire du 10 mai 2010 relative à la prise en compte des effets de projection dans les études de dangers :

- les informations recueillies n'ont pas pour autant à être prises en compte dans les démarches de porter à connaissance et de maîtrise de l'urbanisation
- les effets de projections ne sont usuellement pas pris en compte dans la détermination de l'aléa dans le cadre des PPRT notamment par manque de données fiables dans la plupart des secteurs d'activité

Ainsi, les effets de projections ne seront pas pris en compte dans la détermination des gravités d'accidents.

Pour les scénarios dont les effets irréversibles ne sortent pas du site, la gravité est qualifiée de "Hors grille".

### Zones susceptibles d'être touchées

#### Voies routières

Les voies susceptibles d'être touchées sont la rue du Port du Rhin et la rue de la minoterie qui dessert les entreprises proches.

Le comptage s'effectue de la façon suivante : 0,4 personne permanente par kilomètre exposée et par tranche de 100 véhicules/jour

#### Voisins industriels

Les voisins les plus proches sont :

<b>Etablissement</b>	<b>Distance au site</b>	<b>Effectif</b>
Terminal à conteneurs Nord	~ 100 m à l'Ouest	< 10 (estimé)
UNIBETON	~ 100 m au Nord	7
Entreprise de maçonnerie	~ 50 m à l'Est	2 (estimé)
Leclerc drive	~ 75 m à l'Est	20 (estimé)
ARMBRUSTER	~ 150 m à l'Est	8
ESCAL	~ 120 m au Nord-Est	101
COLDIS	~ 180 m au Nord-Est	11
BMW	~ 200 m au Nord-Est	106

[Source : [www.aef.cci.fr](http://www.aef.cci.fr)]

#### Habitations

Pour les habitations, le comptage est effectué en prenant la moyenne INSEE par logement, soit 2,5 personnes par logement.

### 7.8.3. Gravités et probabilités liées aux résultats des scénarios étudiés

#### 7.8.3.1. PhD n°1 : Explosion dans la salle sous cellules du silo A

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	-	-	85 m de la rue du Port du Rhin + 85 m rue de la Minoterie sur une voie : 2,4 p Habitation rue de la minoterie : 2,5 p + 2 p
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	< 10
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Sérieux (gravité 2)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

#### 7.8.3.2. PhD n°2 : Explosion dans la tour du silo A (RDC)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	60 m rue de la minoterie : 0,48p
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.3. PhD n°3 : Explosion dans la tour du silo A (niveau +1)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	20 m rue de la minoterie : 0,16 p
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.4. PhD n°4 : Explosion dans la tour du silo A (niveau +2)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	15 m rue de la minoterie : 0,1 p
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.5. PhD n°5 : Explosion dans la tour du silo A (niveau +3)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Bordure trottoir rue de la minoterie
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.6. PhD n°6 : Explosion dans la tour du silo A (niveau +4)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Non atteint
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	-
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.7. PhD n°7 : Explosion dans la tour du silo A (niveau +5)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Non atteint
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	-
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.8. PhD n°8 : Explosion dans la tour du silo A (niveau +6)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Non atteint
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	-
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.9. PhD n°9 : Explosion dans la salle sur cellules du silo A (volume découpé 1)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Non atteint
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	-
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.10. PhD n°10 : Explosion dans la salle sur cellules du silo A (volume découpé 2)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Non atteint
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	-
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.11. PhD n°11 : Explosion dans la salle sur cellules du silo A (volume découpé 3)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Non atteint
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	-
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.12. PhD n°12 : Explosion dans une cellule du silo A

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Bordure du trottoir rue de la Minoterie	15 m rue de la Minoterie : 0,1 p	60 m rue de la Minoterie 40 m de la rue du Port du Rhin (1 voie) : 2,1 p Société DRS : 2,5 + 2 p
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	< 1	< 1	< 10
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Important (gravité 3)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.13. PhD n°13 : Explosion dans la tour du silo A (niveau +7)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Non atteint
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	-
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.14. PhD n°14 : Explosion dans le boisseau extérieur du silo A

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	A l'intérieur du site	A l'intérieur du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	0	0
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.15. PhD n°15 : Explosion dans la fosse élévateurs de la tour du silo B

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Voie ferrée
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.16. PhD n°16 : Explosion dans la salle sous cellules du bloc Est du silo B

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	20 m rue de la minoterie : 0,1 p
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	< 1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.17. PhD n°17 : Explosion dans la tour du silo B (RDC)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Voie ferrée
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	< 1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.18. PhD n°18 : Explosion dans la salle sous cellules et le niveau +1 du silo B

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	20 m rue de la minoterie : 0,16 p Voir ferrée, bassin du Commerce
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	< 1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.19. PhD n°19 : Explosion dans la tour du silo B (niveau +2)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Voie ferrée du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	< 1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.20. PhD n°20 : Explosion dans la tour du silo B (niveau +3)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	Bordure voie ferrée du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	< 1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.21. PhD n°21 : Explosion dans la tour du silo B (niveau +4)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Cibles atteintes par les surpressions	Non atteint	Non atteint	Site étudié
Nombre de personnes dans la zone	-	-	-
Niveau de gravité	Hors grille (gravité 0)		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.22. PhD n°22 : Explosion dans la salle sur cellules et le niveau +5 du silo B

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Cibles atteintes par les surpressions	Non atteint	Non atteint	Voie ferrée du site Bassin du commerce Trottoir rue de la minoterie
Nombre de personnes dans la zone	-	-	< 1
Niveau de gravité	Modéré (gravité 1)		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.23. PhD n°23 : Explosion dans une cellule du bloc Ouest du silo B

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Cibles atteintes par les surpressions	A l'intérieur du site	A l'intérieur du site	Voie ferrée du site Bassin du commerce
Nombre de personnes dans la zone	0	0	< 1
Niveau de gravité	Modéré (gravité 1)		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.24. PhD n°24 : Explosion dans une cellule du bloc Est du silo B

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	A l'intérieur du site	A l'intérieur du site	20 m rue de la minoterie : 0,16 p
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	0	0	< 1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.25. PhD n°25 : Explosion dans le boisseau extérieur du silo B

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Voie ferrée du site	Voie ferrée du site	Bassin du commerce
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	< 1	< 1	< 1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Important (gravité 3)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.26. PhD n°26 : Explosion dans la fosse élévateurs de la tour du silo C

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	A l'intérieur du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	0
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.27. PhD n°27 : Explosion au RDC du local bardé

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	A l'intérieur du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	-
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.28. PhD n°28 : Explosion dans la salle sous-cellules du silo C

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	A l'intérieur du site	Voie ferrée du site	Bassin du commerce 140 m rue de la minoterie : 1,1 p 100 m de la rue du port du Rhin (1 voie) : 2 p Parking ancienne poste
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	< 1	< 10
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Sérieux (gravité 2)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.29. PhD n°29 : Explosion dans une-cellule de 1 900 m<sup>3</sup> du silo C

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	A l'intérieur du site	A l'intérieur du site	Voie ferrée du site Bassin du commerce 120 m rue Minoterie : 0,96 p
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	0	0	< 10
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Sérieux (gravité 2)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.30. PhD n°30 : Explosion dans une cellule de 1 700 m<sup>3</sup> du silo C

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	A l'intérieur du site	A l'intérieur du site	Voie ferrée Bassin du commerce
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	0	0	< 1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.31. PhD n°31 : Explosion dans un as de carreau du silo C

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	A l'intérieur du site	A l'intérieur du site	Voie ferrée du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	0	0	< 1
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Modéré (gravité 1)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.32. PhD n°32 : Explosion dans la tour M1 (étage 1)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	A l'intérieur du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	-
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.33. PhD n°33 : Explosion dans la tour M1 (étage 4)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	A l'intérieur du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	-
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.34. PhD n°34 : Explosion dans la tour M1 (étage 5)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	A l'intérieur du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	0
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.35. PhD n°35 : Explosion dans la tour M1 (étage 6)

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	A l'intérieur du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	0
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de C (évènement improbable).

7.8.3.36. PhD n°36 : Fuite d'ammoniac

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les effets toxiques</b>	Non atteint au sol et 21 m en hauteur A l'intérieur du site	Non atteint au sol et 24 m en hauteur A l'intérieur du site	240 m en hauteur (> 28 m) Immeuble d'habitation rue Adèle Klein
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	0	0	< 100
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Important (gravité 3)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.37. PhD n°37 : Explosion dans la chaufferie M2

	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	Non atteint	A l'intérieur du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	-	0
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité d'une explosion de ce type est de D (évènement très improbable).

7.8.3.38. PhD n°38 : UVCE et Jet enflammé au poste de détente

**UVCE**

	<b>Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs</b>	<b>Zone délimitée par le seuil des effets létaux</b>	<b>Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine</b>
<b>Cibles atteintes par les surpressions</b>	Non atteint	A l'intérieur du site	A l'intérieur du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	0	0
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

**Jet enflammé**

	<b>Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs</b>	<b>Zone délimitée par le seuil des effets létaux</b>	<b>Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine</b>
<b>Cibles atteintes par le rayonnement</b>	Non atteint	A l'intérieur du site	A l'intérieur du site
<b>Nombre de personnes dans la zone</b>	-	0	0
<b>Niveau de gravité</b>	<b>Hors grille (gravité 0)</b>		

La probabilité de phénomènes de ce type est de D (évènement très improbable).

## 7.9. Cinétique

Le cas d'une explosion de poussières ou de gaz ou une fuite d'ammoniac est un type d'accident à cinétique rapide, une explosion pouvant se produire et se développer en quelques secondes (poussières) ou quelques centièmes de seconde (gaz).

Le cas d'un incendie en cellule de stockage de grain est un type d'accident à cinétique lente, un incendie pouvant se développer en plusieurs jours voire plus sans intervention. L'extension est limitée.

Le cas d'un feu électrique est un type d'accident à cinétique rapide : plusieurs minutes en fonction des organes touchés. L'ampleur est limitée en général au volume où se trouve l'appareil concerné sauf cas d'un autre accident tel qu'explosion de poussières (voir paragraphes précédents) généré par le problème électrique.

## 7.10. Effets dominos

Il n'y a pas de possibilité de développement d'un incendie ou d'une explosion d'un bâtiment à l'autre du fait de l'éloignement entre eux et du type de liaison aériennes et sans bâtiments intermédiaires.

Les effets liés aux pressions égales à supérieures à 200 mbar, quand ils sont atteints, sont atteints à courte distance (< 10 m), dans des zones pourvues de surfaces d'évent ou en extérieur.

Un effondrement de bâtiment pourrait être à l'origine d'une fuite de gaz. Ce cas a été étudié.

Les effets liés à une explosion de poussières ont été étudiés dans les différents bâtiments. Il n'y a pas d'effets indirects lié à un accident sur le site et pouvant être supérieurs à ceux étudiés.

## 8. SYNTHÈSE

### 8.1. Tableau de synthèse des phénomènes dangereux

Les différents phénomènes dangereux ayant des effets sortant du site ainsi que les distances aux seuils sont repris dans le tableau suivant (probabilité C : évènement improbable, probabilité D : évènement très improbable).

Sigle NA : non atteint

Indice PhD	Phénomène Dangereux	Type d'effet	d SELS (m)	d SPEL (m)	d SEI (m)	d BV (m)	Proba	Gravité
1	Salle sous cellules silo A	Surpressions	NA	NA	46	92	D	Sérieux
2	Tour silo A RDC	Surpressions	NA	NA	19	38	C	Modéré
3	Tour silo A +1	Surpressions	NA	NA	16	32	C	Modéré
4	Tour silo A +2	Surpressions	NA	NA	14	28	C	Modéré
5	Tour silo A +3	Surpressions	NA	NA	10	20	C	Modéré
12	Cellule silo A	Surpressions Effondrement	10	18	42	84	D	Important
15	Fosse élévateurs tour silo B	Surpressions	NA	NA	30	60	C	Modéré
16	Salle sous cellules bloc Est	Surpressions	NA	NA	36	72	C	Modéré
17	Tour silo B RDC	Surpressions	NA	NA	30	60	C	Modéré
18	Salle sous cellules et + 1 silo B	Surpressions	NA	NA	58	116	C	Modéré
19	Tour silo B +2	Surpressions	NA	NA	23	46	C	Modéré
20	Tour silo B +3	Surpressions	NA	NA	19	38	C	Modéré
21	Tour silo B +4	Surpressions	NA	NA	9	18	C	Modéré
22	Salle B +5 sur cellules Silo B	Surpressions	NA	NA	34	68	C	Modéré
23	Cellule silo B Bloc Ouest 400 m <sup>3</sup>	Surpressions Effondrement	4	15	41	82	D	Modéré
24	Cellule silo B Bloc Est 220 m <sup>3</sup>	Surpressions Effondrement	10	16	35	70	D	Modéré
25	Boisseau extérieur silo B	Surpressions	6	12	30	60	D	Important
28	Salle < cellules silo C	Surpressions	27	31	4	186	D	Sérieux
29	Cellule silo C 1 900 m <sup>3</sup>	Surpressions Effondrement	27	42	93	186	D	Sérieux
30	Cellule silo C 1 700 m <sup>3</sup>	Surpressions Effondrement	25	40	88	176	D	Modéré
31	As silo C	Surpressions	13	22	48	96	D	Modéré
36	Fuite d'ammoniac	Toxicité	21 (H 27 m)	24 (H 27 m)	240 (H 20 m)	-	D	Important

## 8.2. Situation des risques sur la grille de criticité

Les phénomènes dangereux sont placés dans la grille de criticité définie.

			Probabilité				
			E	D	C	B	A
			Evénement possible mais extrêmement peu probable	Evénement très improbable	Evénement improbable	Evénement probable	Evénement courant
Gravité			$P < 10^{-5}$	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$	$10^{-2} < P$
5	Désastreux	SEIs > 10p SEL > 100p SEI > 1000p					
4	Catastrophique	$1p < SEIs \leq 10p$ $10p < SEL \leq 100p$ $100p < SEI \leq 1000p$					
3	Important	$SEIs \leq 1p$ $1p < SEL \leq 10p$ $10p < SEI \leq 100p$		PhD12, PhD 36			
2	Sérieux	SEIs sur site $SEL \leq 1p$ $1p < SEI \leq 10p$		PhD1, PhD25, PhD28, PhD29			
1	Modéré	SEIs sur site SEL sur site $SEI \leq 1p$		PhD23, PhD24, PhD30, PhD31	PhD2, PhD3, PhD4, PhD5, PhD15, PhD16, PhD17, PhD 18, PhD19, PhD20, PhD21, PhD22		
0	Non Classé	<i>Pas d'effet en dehors du site</i>		PhD10, PhD11, PhD14, PhD37, PhD38	PhD6, PhD7, PhD8, PhD 9, PhD13, PhD26, PhD27, PhD 32, PhD33, PhD34, PhD35		

Tous les phénomènes dangereux sont situés dans la zone acceptable de la grille de criticité.

## 9. ORGANISATION EN MATIERE DE SECURITE

### 9.1. Formation et information du personnel

L'information porte en particulier sur le respect des consignes de sécurité et du permis de feu.

Le personnel est informé du risque lié aux poussières, aux machines employées.

Un PII (Plan d'Intervention Interne) est en place sur le site

Le responsable du site, secondé par les responsables fabrication et maintenance, est responsable de la sécurité vis à vis du personnel présent sur le site et vis à vis de l'environnement extérieur.

Il est chargé de :

- faire appliquer les mesures de prévention (interdiction de fumer, vérification des équipements, permis de feu.....)
- coordonner les actions à entreprendre en cas d'accident (manipulation d'extincteurs, alerte des pompiers, ....)

### 9.2. Evacuation du personnel

Le site comptera 31 personnes après extension répartis de la façon suivante :

- 5 se trouvant généralement dans les bureaux (local administratif et local de commande)
- 13 personnes au niveau de M1 et M2
- 6 personnes dans les silos
- 7 personnes dans l'atelier de maintenance et sur tout le site

Les bâtiments sont équipés de dispositifs conformes aux dispositions du code du travail tels que sorties de secours zones sous cellules et sur cellules.

### 9.3. Organisation de l'alerte et de l'intervention

Le personnel présent durant les heures d'ouverture du site (24 h/24 et 7 j/7) peut signaler tout accident grave à l'aide des moyens de communication présents sur le site

- Téléphones : dans les locaux de commande et dans les ascenseurs
- Equipements radio : équipements portatifs de radiocommunication de type talky walky

La plupart des bâtiments du site comprennent une détection incendie reliée à une société de télésurveillance. La répartition dans les silos est ainsi la suivante :

Silo	Localisation des capteurs de détection incendie
A	au RDC : entrée, ascenseur et armoire automate au 6° étage : cage d'escalier
B	au sous-sol, 3 capteurs au RDC : bureau, local compresseurs, local HT, local sous cellules au 5° étage : cage d'escalier
C	au RDC: local électrique

En cas de détection, une liste de personnes est appelée et une ronde est déclenchée en cas de besoin.

La liste des opérations à effectuer par le responsable présent en cas d'accident majeur (incendie ou explosion de poussières) serait la suivante :

- 1 Appel des pompiers par le 18 ou par numéro codé selon le poste
- 2 Coupure partielle ou totale de l'alimentation en électricité et en gaz
- 3 Eviter le suraccident en interdisant l'accès aux installations
- 4 Veiller à ce que la borne d'eau incendie et les accès soient dégagés
- 5 Identifier les personnes potentiellement présentes et accueillir les secours

## 10. DESCRIPTION DES MOYENS DE SECOURS

### 10.1. Moyens d'intervention interne

#### 10.1.1. Moyens de première intervention

Les installations disposent d'extincteurs (CO<sub>2</sub> eau pulvérisée et poudre polyvalente) répartis sur tous les niveaux et conformes à la norme N4 (voir fiche récapitulative E1 du PPI du site).

Ces équipements seraient manipulés par le personnel présent. Les extincteurs sont contrôlés une fois par an par une société spécialisée.

#### 10.1.2. Ressource en eau et en azote

##### Nature de la ressource en eau

Poteaux incendie (voir extrait du plan ETARE en page suivante) :

- 1 poteau incendie privé se trouve à proximité du silo C
- 3 poteaux incendie se situent rue de la Minoterie au droit du site

Le bassin du Commerce peut être utilisé en cas de besoin et constitue une ressource inépuisable.

##### Adaptation des moyens en place

L'utilisation d'eau sur les stockages de grain doit se faire n'est pas recommandée et même proscrite sous forme de lances à eau sous peine d'engendrer des effets liés à l'extinction (prise en masse du grain et impossibilité d'extraire le grain en feu, mise en suspension de poussières, auto échauffement...). Pour les cellules en béton fermées l'emploi d'azote en cas de feu de grain est la technique adaptée conformément au guide état de l'art sur les silos (§ 2.12 prévention des risques d'autoéchauffement).

Les capacités de stockage de grain en béton sont toutes équipées de raccords avec possibilité d'injection d'azote en pied de capacités. Le groupe INVIVO possède un lot d'urgence comprenant un skid à Nogent sur Seine qu'il est possible d'acheminer sur site permettant de faciliter le réchauffage et la gazéification de l'azote et d'apporter tous les raccords et matériels nécessaires. Ce lot comprend également de l'émulseur haut foisonnement et un diffuseur de mousse (Turbex) qu'il est possible de mettre en place sur cellules. Le délai d'acheminement du skid, de l'émulseur (< 1 jour) et de l'azote par camion (parfois plusieurs jours selon le fournisseur) est compatible avec la cinétique du feu de grain.

Le document technique D9 n'est pas approprié. Le volume d'eau d'extinction nécessaire est néanmoins évalué dans le tableau suivant sur base du document technique D9 du CNPP sur la zone de stockage en cellules de stockage de grain de la malterie référentiel B : Industries agro-alimentaires 26 : malteries (NB : les cellules des silos et les silos sont en béton et maçonnerie, chaque cellule étant séparée des cellules voisines sans possibilité de communication d'un incendie d'une cellule à l'autre) :

Bâtiment	H stockage (m)	Stabilité ossature	Interv. Internes*	Σ coefficients	1 + Σ coef	Surface (m <sup>2</sup> )	Qi**	Risque	Q requis (m <sup>3</sup> /h)
Cellule silo A***	20	> 1 h	- 0,1	+ 0,3	1,3	20	2	2	2
Cellule silo B	25	> 1 h	- 0,1	+ 0,3	1,3	21	2	2	2
Cellule silo C	45	> 1 h	- 0,1	+ 0,6	1,6	44	4	2	6

\* DAI 24 h/24 avec report alarme (à remettre en route)

\*\* débit intermédiaire

\*\*\* les capacités de trempe germination comportent du grain humide peu combustible. Le grain en tourillage est combustible, les capacités de stockage en silos étant supérieures, les volumes pris en compte sont représentatifs.

Le besoin maximal est de 10 m<sup>3</sup>/h. La ressource en eau du site est donc suffisante.

## 10.2. Moyens d'intervention externes

Les sapeurs-pompiers sont appelés en composant le 18 ou un numéro codé ou une touche téléphonique en direct selon l'endroit.

La gestion des moyens à envoyer sur place est réalisée en fonction du sinistre. Les pompiers de Strasbourg peuvent être sur place environ 10 minutes après l'alerte.

Le site dispose d'un plan ETARE (pour Etablissement Répertoire) mis à jour en 2022, sans évolution des bâtiments depuis cette date (voir plan des moyens de secours extrait du plan ETARE en page suivante).

Les moyens minimaux envoyés seraient un Fourgon Pompe Tonne (FPT) et un Véhicule de Secours et d'Assistance aux Blessés (VSAB). La gestion des moyens à envoyer sur place est réalisée en fonction du sinistre.

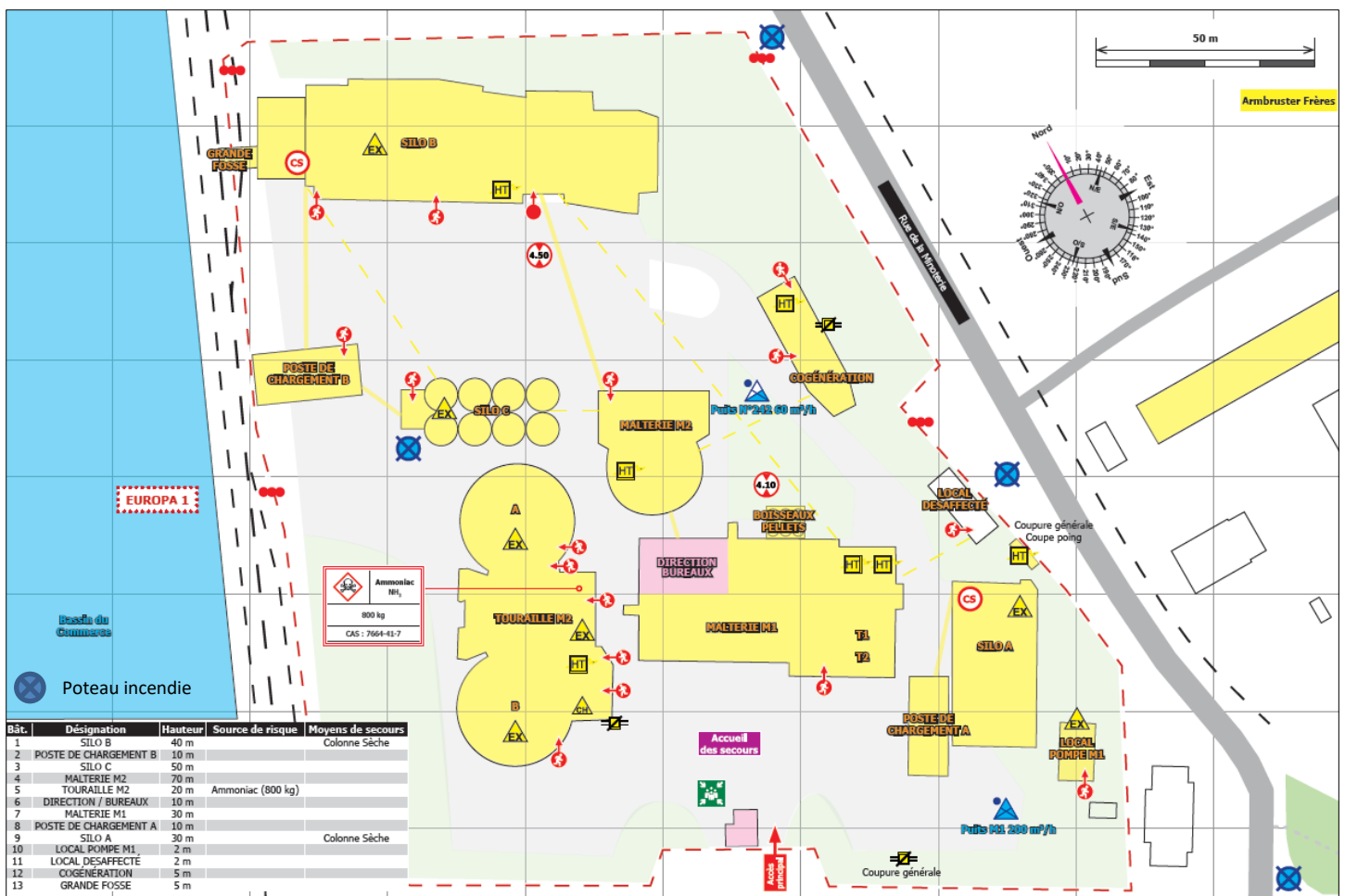
Afin d'assurer la couverture opérationnelle, des moyens plus importants peuvent être engagés depuis d'autres centres de secours. L'accès des pompiers au site se fait par la route d'accès principale, depuis la rue du Port du Rhin.

Les portails du complexe sont prévus pour être facilement accessibles aux pompiers. Il n'y a pas de pentes ou de câbles suspendus limitant les accès.

Les bâtiments sont distincts entre eux et accessibles sur les 4 façades extérieures.

Les colonnes sèches (tours de manutention silos A et B) sont prévues pour être alimentée en eau par les sapeurs-pompiers en cas de besoin.

Plan des moyens de secours (extrait du plan ETARE)



## 10.3. Moyens de secours et d'intervention mis en œuvre

### 10.3.1. Cas d'une explosion de poussières majeure

Avec ce type d'accident, les moyens classiques d'extinction (extincteurs, moyens en eau...) sont inefficaces étant donnée la soudaineté du phénomène (< 5 secondes). Ils peuvent servir tout au plus à circonscrire un incendie secondaire créé sur une autre installation.

L'intervention des équipes de secours, même dans des délais très courts, est surtout destinée à réduire les effets secondaires du sinistre jusqu'à ce que tout risque de survenue d'un autre sinistre soit écarté, en fonction de l'ampleur du sinistre, par :

- délimitation d'un périmètre de sécurité : rue du Port du Rhin et rue de la Minoterie, sites voisins
- coupure du réseau électricité et gaz naturel
- recherche des personnels blessés au sol avec nécessité de moyens de levage (grues) et de chargement (chargeuses, chariot), de recherche (chiens)
- surveillance des points chauds éventuels subsistant au moyen de caméras thermiques
- appel de spécialistes bâtiment et structures afin d'estimer la tenue des éléments endommagés
- surveillance de l'état des bâtiments et capacités de grain à proximité
- envoi de personnels spécialisés pour l'intervention en hauteur (escalade)

NB : ces hypothèses d'intervention sont en particulier tirées de l'article Feu instructif – Blaye un silo soufflé par une explosion meurtrière (Revue Face au risque n° 338, décembre 1997). Cet article relate en particulier toute la chronologie de l'intervention des secours.

### 10.3.2. Cas d'un incendie

Il est possible de limiter l'extension d'un incendie en vidant en partie et en arrosant prudemment en extérieur la zone de grain concernée afin de ne pas soulever de poussières.

Pour éviter la destruction du grain sain présent par un arrosage trop abondant, il est préférable d'ôter prudemment la surface de grain en feu et de procéder de cette façon.

Les délais d'intervention des secours sont tout à fait adaptés au phénomène de feu de grain dont la cinétique est lente.

En cas de situation dégradée ou hors d'atteinte, chaque cellule et as de carreau sont équipés d'un piquage pouvant servir à l'injection d'azote.

D'après des accidents déjà survenus sur des cellules verticales analogues à celles des silos du site, l'intervention des secours a consisté à éteindre la zone d'échauffement, en particulier par :

- Délimitation d'un périmètre de sécurité : rue du Port du Rhin et rue de la Minoterie, sites voisins
- Application de mousse en sommet de capacité de stockage afin d'éviter l'envol de poussières et de participer à l'étouffement du foyer
- Appel des moyens nécessaires à l'inertage (fournisseur d'azote)
- Injection de produits inertants de type azote dans la capacité de stockage concernée
- Surveillance de la température et de la nature des gaz de combustion émis (camionnette d'analyse)

### 10.3.3.Effets indirects liés à un accident

#### Risques liés aux fumées

Les fumées des produits organiques stockés au niveau des silos contiendraient essentiellement du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau.

La production de fumée peut être importante et poser un problème pour l'accès des services de secours. Ces fumées ne posent toutefois pas de problème de visibilité pour le voisinage (circulation sur les rues voisines) car seraient générées en hauteur.

En cas d'incendie dans le local de stockage de soufre, les fumées de soufre sont à redouter du fait de la toxicité des gaz de combustion (émission de SO<sub>2</sub>). Le lieu de stockage prend en compte cet inconvénient : le local est facile d'accès (au rez de chaussée du silo B), à l'écart des stockages de grain et de tout produit combustible.

#### Risque de pollution des eaux

Les moyens d'extinction utilisés en premier en cas d'incendie ou d'échauffement au niveau des équipements de transport seraient les extincteurs.

En cas d'échauffement de produit signalé par une fumée, en fonction de l'importance et de la nature du sinistre, de l'eau pourrait être employée par les sapeurs-pompiers. L'emploi massif d'eau dans le grain est à proscrire du fait des effets indirects potentiels (échauffement, soulèvement de particules incandescentes, prise en masse etc). En cas d'emploi important, les eaux d'extinction déversées par les pompiers sur le stock de grains contiendraient de la matière organique en partie brûlée ne présentant pas de risque de pollution pour le sous-sol. Elle serait en grande partie contenue dans le stockage lui-même (caractère hygroscopique et absorbant du grain).

Etant donnée la configuration du stockage, une partie des eaux serait absorbée par le grain, une autre partie coulant au sol vers les fosses d'élévateurs et les sous-sols. Ces volumes formeraient rétention, le volume représentant environ 1 400 mètres cubes (volume fosses élévateurs et sous-sol attenant), le béton étant par conception nécessairement étanche (afin d'éviter les infiltrations d'eau souterraines).

Silo	Bâtiment pouvant servir de rétention	Volume représenté
A	Fosse élévateurs	44 m <sup>3</sup>
B	Fosse élévateurs, salle sous cellules tranche Est	1 300 m <sup>3</sup>
C	Fosse élévateurs	100 m <sup>3</sup>

#### Calcul du besoin en rétention d'après le guide D9A

Le guide D9A propose un tableau de calcul du volume à mettre en rétention. Ce tableau a été calculé ci-dessous pour le calcul du volume à mettre en rétention sur le site de **Soufflet Malt**.

- Besoin en eau incendie x 2 = 12 m<sup>3</sup>
- Volume d'eau pluviale : non pris en compte car feux en cellules qui sont toutes sous bâtiments couverts
- Total besoin rétention en eau incendie : 12 m<sup>3</sup>

En application de la règle de calcul D9A, le besoin théorique en rétention des eaux incendie en cas d'incendie sur la plus grande surface de référence du site de **Soufflet Malt** est de 12 m<sup>3</sup>. La capacité de rétention du site est suffisante. Ces eaux peuvent être recueillies au niveau des silos eux-mêmes (voir volumes pouvant servir de rétention où l'eau peut transiter gravitairement ci-dessus).

## 11. INVESTISSEMENTS LIES A LA SECURITE

### Mesures générales réalisées

Les principales mesures de sécurité concernent en particulier :

Résumé mesure	Détail mesure
Clôture site	Le site est clos (murs, grilles, grillage) et équipé de portails (route et voie ferrée). La parcelle louée au Nord du silo B possède sa propre clôture.
Colonnes sèches	Tours silos A et B
Sangles et bandes autoextinguibles	Les sangles d'élévateurs et bandes de transporteurs ont été changées au début des années 2000 pour des sangles et bandes antistatiques et non propagatrices de flamme
Découplage silo A	Mis en place de parois de découplage en haut de silo A entre tour et salle sur cellules avec complément de surfaces d'évent en salle sur cellules
Découplage silo C	Le découplage entre fosse élévateurs et salle sous cellules a été réalisé par obturation des ouvertures résiduelles autour des transporteurs. Une surface d'évent a été réalisée dans la dalle sur fosse d'élévateurs afin de limiter toute surpression éventuelle
Sécurisation presse	Murs parpaings, contrôles température niveau proximité (ouverture porte etc), possibilité d'obturer le circuit amont aval, rampe d'extinction dans le refroidisseur
Suppression élévateur de reprise issues	Suppression élévateur de reprise des issues dans M1 et remplacement par un transfert pneumatique
Installations de nettoyage des locaux	Installations de nettoyage centralisé des étages avec réseau de canalisations fixes desservant les bâtiments
Maîtrise de l'urbanisation	Location terrain au Nord du silo B

### Améliorations réalisées dans le cadre de l'étude de dangers de 2012

Résumé mesure	Détail mesure
Protection foudre	Suivi des préconisations de l'étude foudre en place dans le cadre du plan d'action maintenance
Capteurs de dysfonctionnement	Capteurs mis en place sur manutention M1 et M2, Transporteurs à bande silo B. Finalisation du déploiement des capteurs (EIPS) sur le site
Poteau incendie	Mesure du débit du poteau incendie du site
Manœuvre incendie	Venue des sapeurs-pompiers et mise à jour du plan ETARE en 2022
Rondes silos	Passage régulier et planning de nettoyage en place
Entretien préventif filtre	Mise en place des capteurs de différence de pression sur les filtres ainsi qu'un changement périodique des manches de filtration

### Améliorations récentes

Résumé mesure	Détail mesure
Maîtrise de l'urbanisation	Acquisition de l'immeuble au droit du silo A (6 logements)
Réduction des potentiels de dangers	Suppression de la chaufferie M1 et arrêt d'une chaudière sur M2 (gardée en secours)

## 12. CONCLUSION

Les principaux risques représentés par le silo par rapport aux tiers sont liés au risque d'explosion de poussières.

La nature de ce risque, en termes de gravité et de probabilité, a été étudiée dans le cadre d'une analyse détaillée des risques des installations. Aucune situation à risque inacceptable n'a été mise en évidence au niveau du site.

Diverses mesures d'amélioration ont cependant été mises en évidence.

Quelle que soit l'attention portée au matériel, notamment au travers d'un entretien et de contrôles réguliers, d'un mode d'exploitation adéquat, il n'est pas possible d'exclure totalement le risque d'accident.

Les cas d'accidents majeurs au niveau des silos ont été étudiés afin de délimiter des zones d'effets enveloppe.