

**SOMMAIRE****ETUDE DES DANGERS**

<b>1</b>	<b>PRESENTATION ET ACTIVITE DU SITE .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>LES ENJEUX HUMAINS A PROXIMITE DU SITE.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>LES PRODUITS MIS EN ŒUVRE DANS L'ENTREPOT .....</b>	<b>6</b>
3.1	Les produits stockés : matières combustibles courantes type 1510, 1530, 1532, 2662, 2663.6	
3.2	Stockage de marchandises sous température dirigée (rubrique 1511) .....	11
3.3	Stockage de générateurs aérosols (rubriques 4320 et 4321) et de gaz inflammables liquéfiés (rubrique 4718).....	14
3.4	Stockage de produits inflammables (rubriques 1436, 1450 et 4331) .....	16
3.5	Stockage des alcools de bouche d'origine agricole (rubrique 4755) .....	19
3.6	Stockage des produits dangereux pour l'environnement (rubriques 4510 et 4511) et de l'eau de Javel (rubrique 4741).....	21
3.7	Les produits liés au conditionnement .....	23
3.8	Le gaz naturel.....	24
3.9	L'ammoniac.....	25
<b>4</b>	<b>LES PROCEDES MIS EN ŒUVRE .....</b>	<b>26</b>
4.1	La charge des batteries.....	26
4.2	Le chauffage.....	27
4.3	La production de froid.....	27
<b>5</b>	<b>ANALYSE ACCIDENTOLOGIQUE / APPLICATION AU SITE .....</b>	<b>33</b>
5.1	Accidentologie .....	33
5.2	Application au site – Identification des phénomènes dangereux.....	38
5.3	Application au site – Evènements initiateurs de l'incendie .....	43
5.4	Application au site – Evènements initiateurs de la fuite d'ammoniac .....	50
5.5	Nœuds papillons et fonctions de sécurité.....	51
5.6	Mesures de maîtrise des risques et dispositifs de sécurité par fonction.....	60
<b>6</b>	<b>ETUDE DE LA CINETIQUE.....</b>	<b>67</b>
6.1	Cinétique de l'incendie .....	67
6.2	La cinétique de l'explosion dans la chaufferie .....	70
6.3	La cinétique de la fuite d'ammoniac .....	70
6.4	Conclusion.....	71
<b>7</b>	<b>ETUDE DES EFFETS DE SURPRESSION : L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIERE .....</b>	<b>72</b>
7.1	Méthode utilisée .....	72
7.2	Calculs des effets de surpression.....	73
<b>8</b>	<b>ETUDE DES EFFETS THERMIQUES : L'INCENDIE.....</b>	<b>78</b>
8.1	Incendie d'une cellule de produits combustibles .....	78
8.2	Incendie d'une cellule de denrées alimentaires.....	103
8.3	Incendie de la zone de stockage des générateurs aérosols .....	112
8.4	Incendie de la zone de stockage des alcools de bouche d'origine agricole .....	117
8.5	Incendie de trois cellules de stockage de produits combustibles .....	122
<b>9</b>	<b>ETUDE DES EFFETS TOXIQUES ET DES EFFETS SUR LA VISIBILITE DES FUMÉES ....</b>	<b>134</b>
9.1	Incendie d'une cellule de produits combustibles .....	134

9.2	Incendie d'une cellule de pneumatiques .....	140
9.3	Incendie de trois cellules de stockage.....	145
9.4	Incendie de trois cellules de pneumatiques.....	148
<b>10</b>	<b>ETUDE DES EFFETS TOXIQUES EN CAS DE DISPERSION ACCIDENTELLE D'AMMONIAC</b>	<b>150</b>
10.1	Fuite d'ammoniac suite à une brèche de 3 cm sur la bouteille BP de 500 kg avec détection efficace .....	151
10.2	Fuite d'ammoniac suite à une brèche de 3 cm sur la bouteille BP de 500 kg sans détection ..	159
10.3	Fuite d'ammoniac suite à une rupture franche sur une canalisation Haute Pression avec détection efficace .....	160
10.4	Fuite d'ammoniac suite à une rupture franche sur une canalisation Haute Pression sans détection	164
10.5	Fuite d'ammoniac suite à une fuite légère (20 mm) sur une canalisation Haute Pression avec détection efficace.....	166
10.6	Fuite d'ammoniac suite à une fuite légère (20 mm) sur une canalisation Haute Pression en l'absence de détection.....	170
<b>11</b>	<b>EVALUATION ET PRISE EN COMPTE DE LA GRAVITE ET DE LA PROBABILITE .....</b>	<b>173</b>
11.1	Probabilité incendie .....	174
11.2	Probabilité fuite ammoniac .....	178
11.3	Gravité incendie .....	180
11.4	Gravité fuite ammoniac .....	181
11.5	Cinétique incendie.....	182
11.6	Probabilité, Gravité et cinétique du phénomène « Explosion de la chaufferie ».....	182
11.7	Conclusions.....	182
<b>12</b>	<b>IMPACT FINANCIER DES MESURES DE PREVENTION.....</b>	<b>184</b>

## INTRODUCTION

La gestion d'une entreprise comporte toujours des risques.

Des événements indésirables peuvent provoquer des nuisances importantes sur l'environnement du site.

Une identification des risques dès la phase de conception de l'outil industriel permet d'identifier les défaillances éventuelles pour en diminuer les effets et la fréquence d'occurrence.

Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi d'utiliser la méthode de l'analyse préliminaire des risques.

Le but de cette étude est de mettre en évidence les dispositifs de sécurité mis en place et de déterminer le niveau de risque du site.

Cette étude de dangers a été rédigée par M. Sébastien BACHELLERIE de la société SD Environnement en collaboration avec la société PANHARD DEVELOPPEMENT.

**SD Environnement,**

19bis, Avenue Léon Gambetta

92120 Montrouge

Tél. : 01 46 94 80 64

Email : [sebastien.bachelierie@sdenvironnement.fr](mailto:sebastien.bachelierie@sdenvironnement.fr)

## 1 PRESENTATION ET ACTIVITE DU SITE

Le projet consiste en la réalisation d'un bâtiment à usage d'entrepôt et de bureaux composé de 9 cellules de stockage d'une surface plancher totale de 49 632,1 m<sup>2</sup>.

Le site sera susceptible d'accueillir au total 86 000 palettes représentant 43 000 tonnes de marchandises combustibles.

Les produits stockés dans les cellules seront des produits divers (classement 1510, 1530, 1532, 2662, 2663-1 et 2663-2) ne présentant pas d'autres risques que leur combustibilité.

Les cellules 5, 6 et 7 de l'établissement pourront abriter un stockage de denrées alimentaires sous température dirigée : température positive pour les cellules 5 et 6 et température négative pour la cellule 7.

Est également prévue dans ces cellules la possibilité d'organiser du stockage :

- D'aérosols (classement 4320 et 4321),
- De cartouche de gaz inflammable liquéfié (rubrique 4718)
- De liquides inflammables (classement 4331, 1436),
- De produits dangereux pour l'environnement (classement 4510 et 4511),
- D'alcools de bouche d'origine agricole (classement 4755),
- D'eau de Javel (classement 4741).

Tous les produits seront stockés selon les règles de compatibilité.

D'une manière générale les différentes étapes de l'activité logistique qui sera exercée sur le site sont :

- La réception des produits avec un approvisionnement par poids lourds,
- Le stockage des produits dans les différentes cellules,
- La préparation des commandes,
- L'expédition des produits par route par poids lourds.

Dans les cellules de stockage, seuls des produits emballés seront manipulés, aucun stockage de type vrac ne sera effectué. Les produits stockés seront placés sur des palettes qui seront rangées dans les zones d'entreposage par des chariots élévateurs.

La mise en place d'un système informatisé de gestion du site permettra de tenir à jour un état des marchandises stockées avec leur localisation dans le bâtiment.

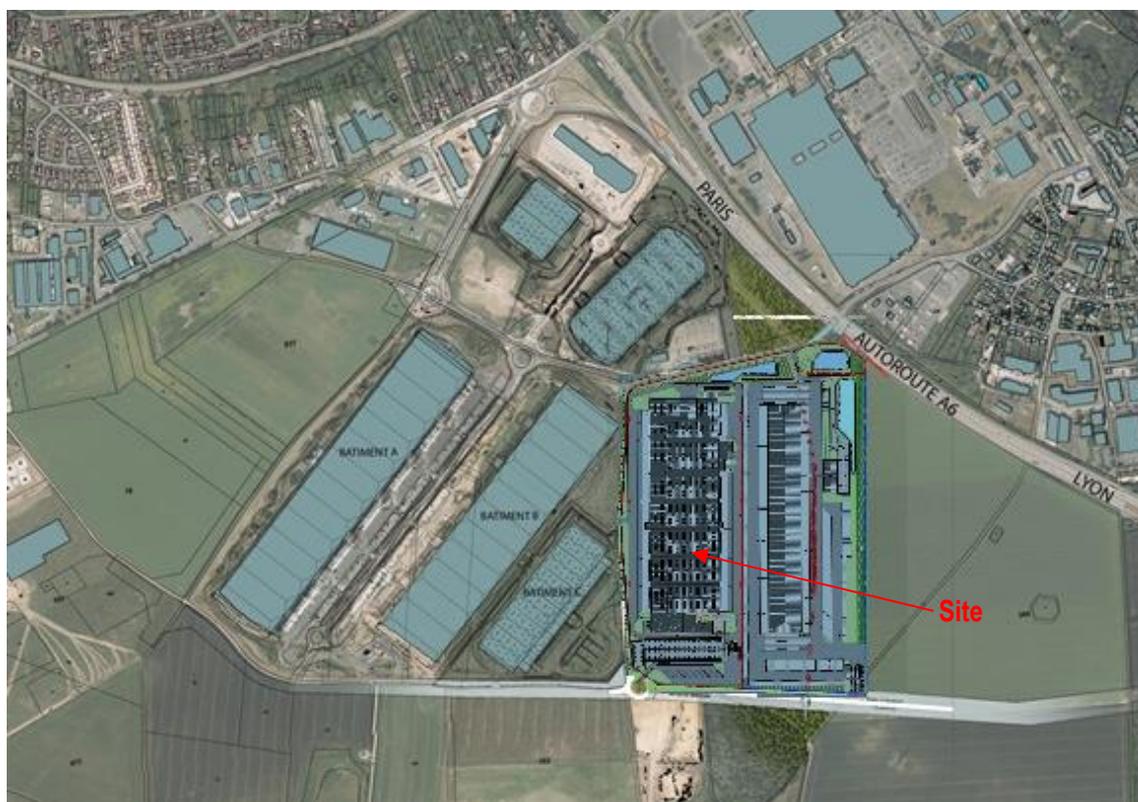
Le principal risque lié à ce type d'activité est l'incendie du fait de la nature des produits stockés. Les produits de grande consommation ne présentent pas de danger en soit mais leur combustibilité ramenée à l'échelle du stockage (6 000 tonnes de matières combustibles stockées dans la plus grande cellule de stockage) présente un risque d'incendie de grande ampleur.

## 2 LES ENJEUX HUMAINS A PROXIMITE DU SITE

Le site de la société PANHARD DEVELOPPEMENT objet du présent dossier sera implanté à l'Ouest de la commune du COUDRAY-MONTCEAUX (91 830) sur une extension de la Zone Les Haies Blanches.

Le terrain d'assiette du projet est délimité :

- Au Nord par le chemin du Bois de l'écu, un site d'exploitation RTE, le bâtiment de logistique NEXIMMO 50,
- A l'Est, par un bâtiment de messagerie en projet qui viendra compléter l'extension de la ZAC des Haies Blanches puis par des terres agricoles et enfin l'autoroute A6,
- A l'Ouest, par des bâtiments de logistique occupés par les sociétés XPO et KN et un bâtiment en cours de commercialisation,
- Au Sud par une carrière en exploitation.



*Emplacement du site*

Compte tenu de l'implantation de l'établissement, les enjeux en cas d'accident sont essentiellement humains sur le site.

### 3 LES PRODUITS MIS EN ŒUVRE DANS L'ENTREPOT

#### 3.1 Les produits stockés : matières combustibles courantes type 1510, 1530, 1532, 2662, 2663

---

Toutes les cellules de stockage pourront accueillir un stockage de produits combustibles.

La grande majorité de ces produits seront des produits combustibles courants ne présentant pas d'autre danger que leur combustibilité.

Ces produits combustibles courants classables au titre des rubriques 1510, 1530, 1532, 2662 et 2663 pourront être, par exemple :

- Des pièces détachées automobiles,
- Des produits pharmaceutiques et cosmétiques,
- Des textiles,
- De la maroquinerie,
- Des produits alimentaires secs,
- Du vin,
- De l'électroménager,
- Des livres, des disques, des cassettes,
- Des articles de sport,
- Des articles de bricolage,
- Du mobilier,
- Du matériel informatique,
- ...

Cette liste donnée à titre indicatif n'est pas exhaustive. Toutes autres marchandises non citées ici mais classées sous des rubriques autorisées pourront être entreposées dans l'entrepôt.

- **Agencement d'une cellule, densité de stockage**

Les cellules de l'entrepôt seront aménagées en zone de stockage (racks ou masse) et zone de préparation.

Au droit des façades Est et Ouest de l'établissement, une zone de préparation de commande de 15 mètres de large sera conservée libre de racks.

Dans cette zone, le stockage en masse sera envisageable sur deux hauteurs de palettes. Sur le reste de la profondeur des cellules, l'espace sera occupé par des racks et du stockage en masse (sur une hauteur pouvant atteindre 8 mètres).

Dans le cas du stockage sur racks, la densité de stockage sera de l'ordre de 2 palettes/m<sup>2</sup>, pour une hauteur de stockage maximale de 11,90 mètres, ce qui permettra le stockage sur 6 niveaux (sol + 5).

A titre indicatif, en équivalent palettes complètes, le nombre de palettes de marchandises combustibles courantes stockées dans le bâtiment sera donc de l'ordre de 86 000.

Le poids moyen d'une palette étant de l'ordre de 500 kg (matières combustibles), le poids total de matière combustible dans le bâtiment sera de 60 000 tonnes.

La demande concerne les rubriques 1510, 1530, 1532, 2662 et 2663 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement. Le stockage maximal envisagé dans le bâtiment consiste en :

- 86 000 équivalents palettes de 500 kg (soit une quantité maximale entreposée sur le site égale à 43 000 tonnes) de marchandises diverses classables sous la rubrique 1510,
- **ou** en 86 000 équivalents palettes de papier ou carton classables sous la rubrique 1530 (une palette présentant un volume de 1,7 m<sup>3</sup>, le stockage maximal de produits classables sous la rubrique 1530 est égal à 146 200 m<sup>3</sup>),
- **ou** en 146 200 m<sup>3</sup> de bois classables sous la rubrique 1532,
- **ou** en 86 000 équivalents palettes de polymères (matières plastiques, caoutchouc, élastomères, résines et adhésifs synthétiques à l'état intermédiaires ou sous forme des matières premières) classables sous la rubrique 2662 (une palette présentant un volume de 1,44 m<sup>3</sup>, le stockage maximal de produits classables sous la rubrique 2662 est égal à 123 840 m<sup>3</sup>),
- **ou** en 86 000 équivalents palettes de produits dont 50% au moins de la masse totale unitaire est composée de polymères alvéolaires (une palette présentant un volume de 1,7 m<sup>3</sup>, le stockage maximal de produits classables sous la rubrique 2663-1 est égal à 146 200 m<sup>3</sup>),
- **ou** en 120 000 équivalents palettes de produits dont 50% au moins de la masse totale unitaire est composée de polymères (une palette présentant un volume de 1,7 m<sup>3</sup>, le stockage maximal de produits classables sous la rubrique 2663-2 est égal à 146 200 m<sup>3</sup>),

Quelle que soit la répartition future dans les cellules entre les différentes rubriques objet de la présente demande (rubriques 1510, 1530, 1532, 2662, 2663-1 et 2663-2), la quantité entreposée sera limitée à 43 000 tonnes.

Le plan en page suivante permet de visualiser les zones de stockage des produits classables sous les rubriques 1510, 1530, 1532, 2662, 2663-1 et 2663-2.

RUBRIQUES ICPE	
1510 / 1530 2662 2663-1a / 2663-2a	TOUTES LES CELLULES
1511	CELLULES 05 - 06 - 07
1436 / 1450 / 4331	CELLULE 02
4510 / 4511	CELLULE 02
4741	CELLULE 02
4755	CELLULE 04
4320 / 4321	CELLULE 04
4718	CELLULE 04
2718 / 2718	CELLULE 09

1510 / 1530  
2662 / 2663-1 / 2663-2

- V08 -

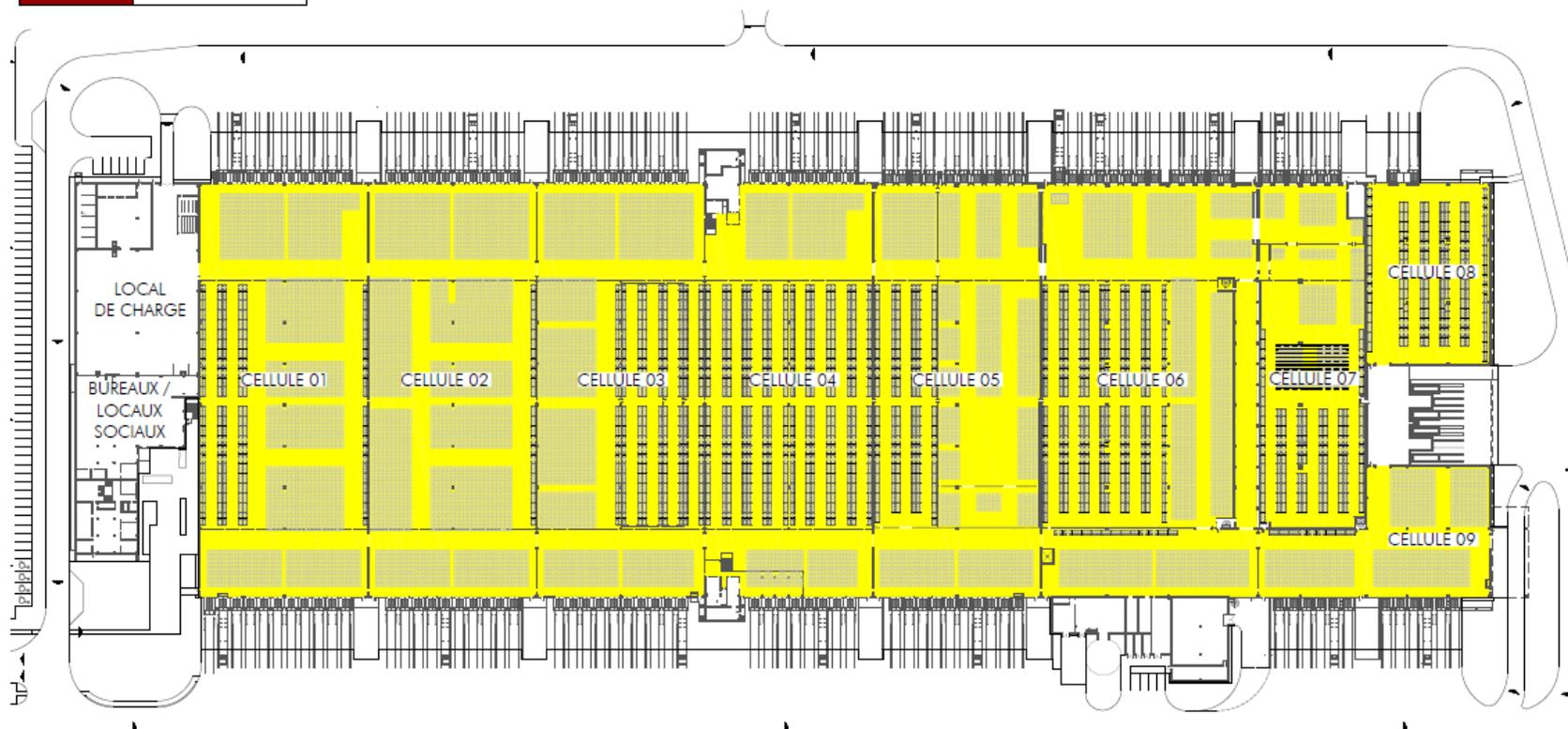
0864  
MC

**ICPE**

Sans Echelle  
Autocad 2016

0864-V08-GENERAL.dwg

ICPE  
22 MARS 2018



• **Quantité de produits par cellule**

	<b>Surface la cellule</b>	<b>Nombre d'équivalents palettes complètes de marchandises combustibles</b>	<b>Quantité de produits stockés</b>
Cellule 1	5 962,5 m <sup>2</sup>	12 000 palettes	6 000 tonnes
Cellule 2	5 920,9 m <sup>2</sup>	12 000 palettes	6 000 tonnes
Cellule 3	5 920,9 m <sup>2</sup>	12 000 palettes	6 000 tonnes
Cellule 4 (hors bureaux de quai)	5 773,7 m <sup>2</sup>	12 000 palettes	6 000 tonnes
Cellule 5	5 920,9 m <sup>2</sup>	12 000 palettes	6 000 tonnes
Cellule 6	7 121,3 m <sup>2</sup>	14 000 palettes	7 000 tonnes
Cellule 7	3 698,4 m <sup>2</sup>	6 000 palettes	3 000 tonnes
Cellule 8	1 913 m <sup>2</sup>	4 000 palettes	2 000 tonnes
Cellule 9	2 000 m <sup>2</sup>	2 000 palettes	1 000 tonnes
<b>TOTAL SITE</b>	<b>44 234,4 m<sup>2</sup></b>	<b>86 000 palettes</b>	<b>43 000 tonnes</b>

En plus du stockage de marchandises combustibles courantes, la cellule 9 pourra être utilisée comme cellule de stockage des déchets en transit sur le site.

L'établissement pourra en effet être utilisé comme installation de regroupement et de transit de déchets en provenance des points de vente. Ces déchets seront entreposés dans la cellule 9 de l'établissement.

Cette activité sera déclarée sous la rubrique 2716 (installation de transit, de regroupement et de tri de déchets non dangereux), la capacité de stockage maximale de déchets dans le bâtiment étant égale à 990 m<sup>3</sup>

Cette activité sera non classée pour la rubrique 2718 (installation de transit, de regroupement et de tri de déchets dangereux, la quantité de déchets dangereux (piles et ampoules basse consommation) susceptible d'être présente dans l'établissement étant inférieure à 1 tonne.

Les déchets générés par les points de vente du futur utilisateur seront collectés par les chauffeurs/livreurs en retour de leur livraison pour être regroupés sur le site (dans la cellule 9).

Les déchets dangereux (piles et ampoules basse consommation) seront stockés dans des fûts, dans des zones dédiées de la cellule 9 qui feront l'objet d'un marquage au sol.

Le plan en page suivante permet de visualiser les zones de stockage des déchets dans l'établissement.

RUBRIQUES ICPE	
1510 / 1530 2662 2663-1a / 2663-2a	TOUTES LES CELLULES
1511	CELLULES 05 - 06 - 07
1436 / 1450 / 4331	CELLULE 02
4510 / 4511	CELLULE 02
4741	CELLULE 02
4755	CELLULE 04
4320 / 4321	CELLULE 04
4718	CELLULE 04
2716 / 2718	CELLULE 09

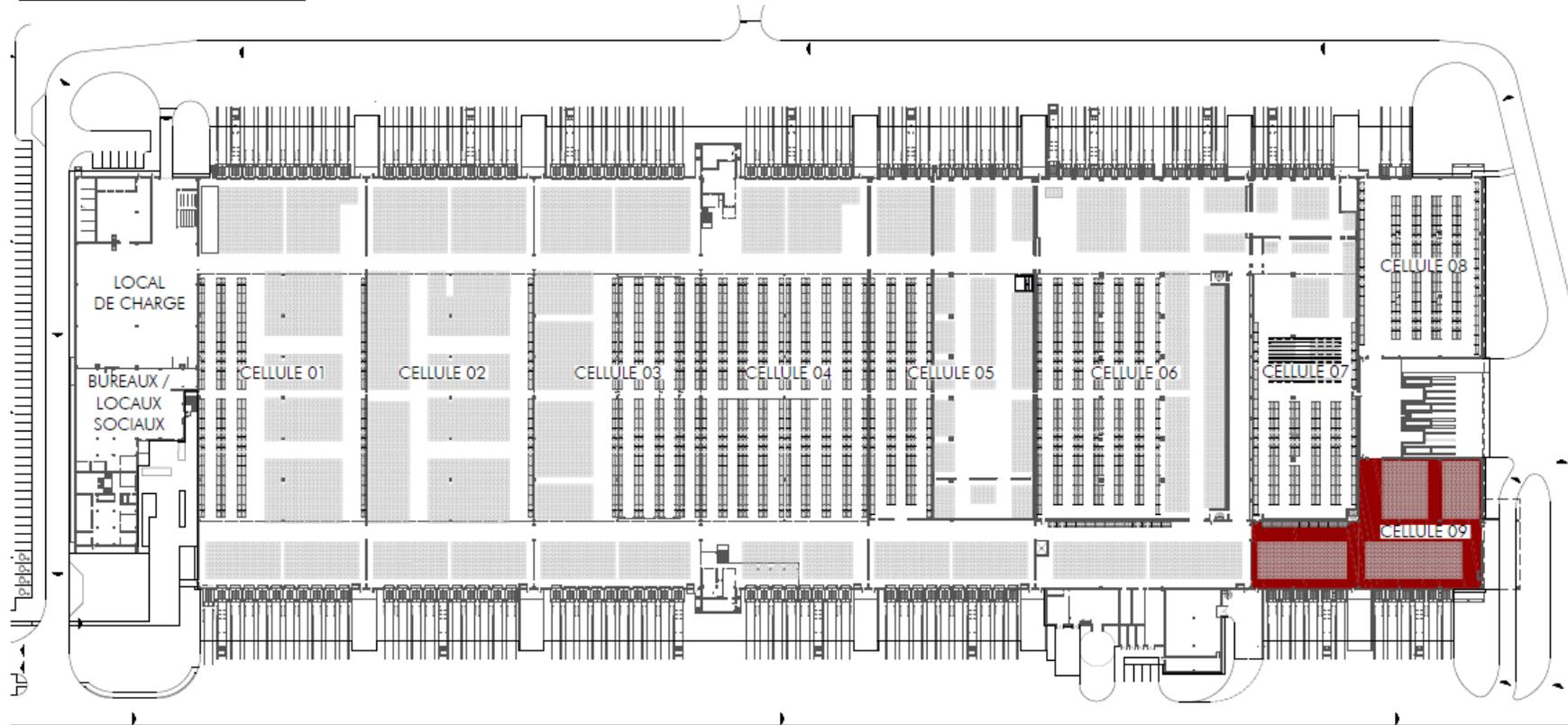
2716 / 2718

- V08 -

ICPE

0864 MC Sans Echelle Autocad 2016  
0864-V08-GENERAL.dwg

ICPE  
22 MARS 2018



### 3.2 Stockage de marchandises sous température dirigée (rubrique 1511)

Les cellules 5, 6 et 7 de l'établissement pourront accueillir une activité logistique dédiée aux produits frais sous température dirigée : température positive dans les cellules 5 et 6 et température négative dans la cellule 7.

Les produits frais qui seront entreposés dans cet établissement seront :

- Les produits à base de chocolat
- La crèmerie et l'Ultra frais (CRUF) : beurrés, margarines, fromages, lait frais, œuf, yaourt, crèmes dessert, jus de fruits frais,
- Les fruits et légumes frais, fruits secs, fleurs et plantes (FL),
- Les fruits et légumes de 4<sup>ème</sup> gamme sous vide (4GL),
- La boucherie, volaille (BV) : viande sous barquettes, produits élaborés, volailles sous film,
- La charcuterie, traiteur, saurisserie (CTS),
- La pâtisserie viennoiserie industrielle (PVI) : pain de mie et pâtisserie industrielle,
- Des produits alimentaires surgelés.

L'activité sur le site consistera à stocker et préparer les commandes des magasins en produits frais (crèmerie, charcuterie, fromages, produits frais industriels, jus de fruits, pâtisseries fraîches...) ainsi qu'en fruits et légumes et en produits surgelés.

Les commandes des points de vente seront réalisées au colis (carton ou cagette) sur palettes ou rolls. Les produits seront reçus en unités de vente rassemblés en colis ou en cagettes pour les fruits et légumes. Ceux-ci ne seront pas modifiés ou transformés par l'activité de préparation de commande.

L'activité de la plateforme logistique sera limitée à

- un contrôle de la conformité des produits par rapport aux normes et conditions de transport,
- un prélèvement éventuel des colis et leur livraison au point de vente.

- **Organisation du stockage**

Les produits seront répartis dans les différentes cellules de l'établissement selon leur nature et selon la température de la cellule.

Les produits réceptionnés dans l'établissement seront donc stockés en racks pour être immédiatement utilisés dans la préparation des commandes à destination des points de vente.

Les produits seront répartis comme suit :

	Cellule 5		Cellule 6	Cellule 7
<b>Produit traité</b>	Produits à base de chocolat	Fruits et légumes Fruits secs	CRUF BV CTS PVI 4GL	Produits surgelés

<b>Température de stockage</b>	18°C	4°C pour la première chambre froide 14°C pour la seconde chambre froide	1°C	- 24°C
<b>Activité mise en œuvre</b>	Préparation par éclatement	Préparation par éclatement	Préparation par éclatement	Préparation par éclatement au moyen d'un convoyeur TKT reliant la chambre froide sous température négative à la zone de préparation de commande de la cellule 7

(CRUF = Crèmerie et l'Ultra frais, BV = Boucherie, Volaille, CTS = Charcuterie, Traiteur, Saurisserie, PVI = Pâtisserie Viennoiserie Industrielle, 4GL = fruits et légumes de 4<sup>ème</sup> gamme sous vide)

- **Capacités maximales de stockage**

Les produits qui seront entreposés sous température dirigée dans les cellules 5, 6 et 7 de l'entrepôt seront classables sous la rubrique 1511 (entrepôts frigorifiques).

Dans la cellule 5, pour un stockage sur racks, la densité de stockage sera de l'ordre de 2 palettes/m<sup>2</sup>, pour une hauteur de stockage maximale de 11,90 m qui permettra le stockage sur 6 niveaux (sol + 5).

Dans la cellule 6, la densité de stockage sera de l'ordre de 2 palettes/m<sup>2</sup>, pour une hauteur de stockage sous plafond de 9,60 m qui permettra le stockage sur 5 niveaux (sol +4).

Dans la cellule 7, la densité de stockage sera de l'ordre de 2 palettes/m<sup>2</sup>, pour une hauteur de stockage sous plafond de 12 m qui permettra le stockage sur 6 niveaux (sol +5).

De façon majorante, le volume moyen d'une palette est retenu égal à 1,7m<sup>3</sup> (1,20 x 0,80 x 1,80 m).

	<b>Surface la cellule</b>	<b>Nombre d'équivalents palettes complètes de marchandises combustibles</b>	<b>Volume de marchandises stocké</b>
Cellule 5	5 920,9 m <sup>2</sup>	12 000 palettes	20 400 m <sup>3</sup>
Cellule 6	7 121,3 m <sup>2</sup>	14 000 palettes	23 800 m <sup>3</sup>
Cellule 7	3 698,4 m <sup>2</sup>	6 000 palettes	10 200 m <sup>3</sup>
<b>TOTAL 1511</b>	<b>16 740,6 m<sup>2</sup></b>	<b>32 000 palettes</b>	<b>54 400 m<sup>3</sup></b>

Le plan en page suivante permet de visualiser les zones de stockage sous température dirigée de l'établissement.

RUBRIQUES ICPE	
1510 / 1530 2662 2663-1a / 2663-2a	TOUTES LES CELLULES
1511	CELLULES 05 - 06 - 07
1436 / 1450 / 4331	CELLULE 02
4510 / 4511	CELLULE 02
4741	CELLULE 02
4755	CELLULE 04
4320 / 4321	CELLULE 04
4718	CELLULE 04
2716 / 2718	CELLULE 09

1511

- V08 -

0864  
MC

**ICPE**

0864-V08-GENERAL.dwg

Sans Echelle  
Autocad 2016

ICPE  
22 MARS 2018



### **3.3 Stockage de générateurs aérosols (rubriques 4320 et 4321) et de gaz inflammables liquéfiés (rubrique 4718)**

---

La cellule 4 pourra accueillir une zone grillagée dédiée au stockage de générateurs aérosols et des cartouches de butane/propane classables sous la rubrique 4718

Cette zone dédiée d'environ 470 m<sup>2</sup> sera isolée du reste de la cellule par une paroi grillagée qui permettra d'empêcher les projections de débris métalliques en cas d'incendie dans la cellule.

Conformément aux préconisations du rapport INERIS Ω4 – Modélisation d'un incendie affectant un stockage de générateurs d'aérosols, la cloison grillagée isolant la zone de stockage des générateurs aérosols du reste de la cellule aura des mailles suffisamment serrées pour retenir les boîtiers projetés en cas d'incendie. Il sera suffisamment résistant et convenablement ancré pour ne pas être arraché par les débris d'aérosols en cas d'incendie.

Le plan ci-dessous permet de visualiser l'emplacement de la zone de stockage grillagée dédiée au stockage d'aérosols et de cartouches de gaz :

RUBRIQUES ICPE	
1510 / 1530 2662 2663-1a / 2663-2a	TOUTES LES CELLULES
1511	CELLULES 05 - 06 - 07
1436 / 1450 / 4331	CELLULE 02
4510 / 4511	CELLULE 02
4741	CELLULE 02
4755	CELLULE 04
4320 / 4321	CELLULE 04
4718	CELLULE 04
2716 / 2718	CELLULE 09

4320 / 4321

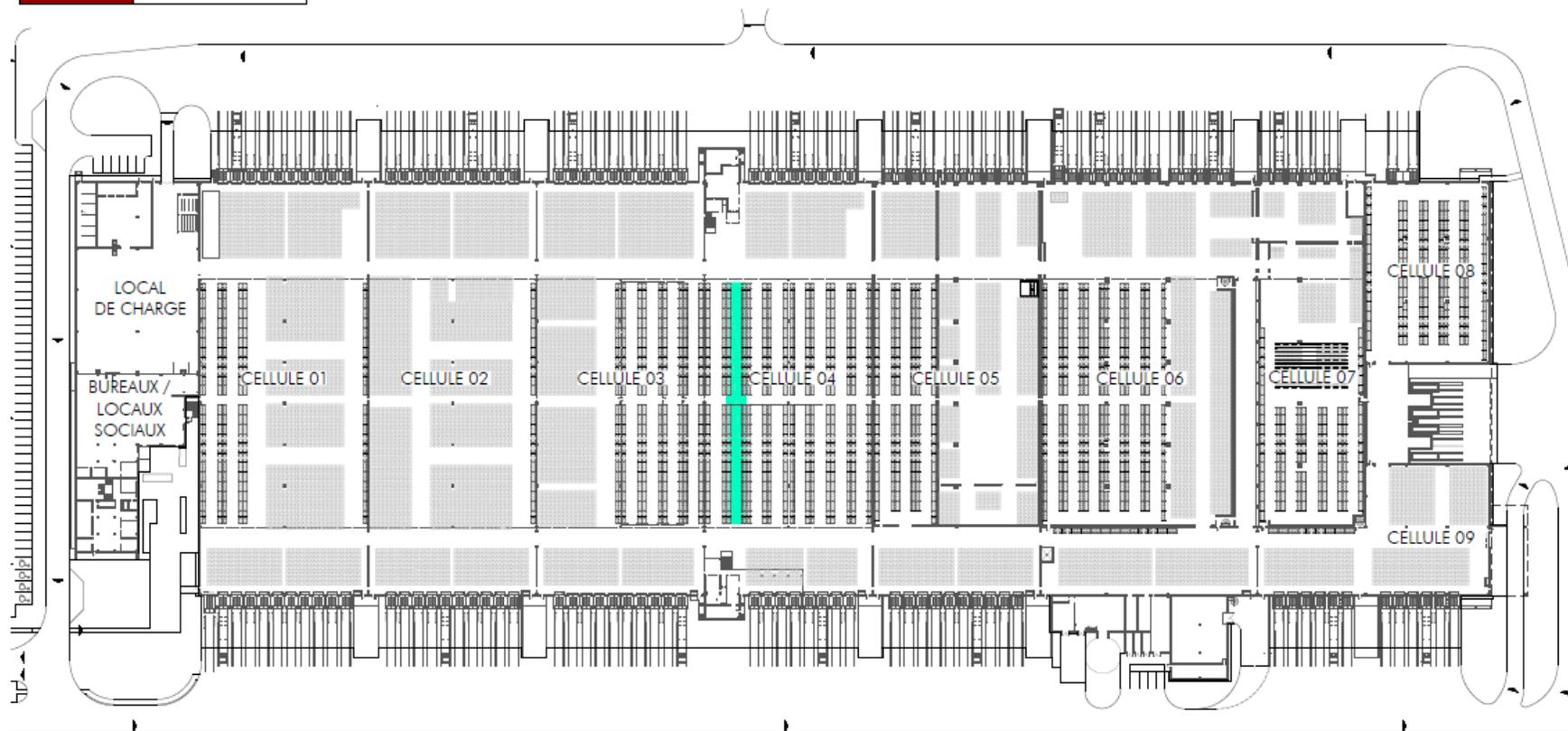
- V08 -

ICPE

0864  
MC  
0864-V08-GENERAL.dwg

Sans Echelle  
Autocad 2016

ICPE  
22 MARS 2018



La zone grillagée sera équipée de 2 portes dont la fermeture sera manuelle.

L'installation sprinkler de la zone de stockage des aérosols et des cartouches de gaz sera adaptée à ces produits. Les générateurs aérosols et les cartouches de gaz pourront être entreposés jusqu'à une hauteur de stockage maximale de 11,90 m.

- **Agencement de la zone de stockage**

Les cartouches de gaz et les boîtiers de générateurs d'aérosols seront stockés sur des palettes, elles-mêmes stockées sur des racks.

Le nombre total d'équivalents palettes d'aérosols dans la zone de stockage dédiée de la cellule concernée sera de l'ordre de 1 500 pour une hauteur de stockage de 11,90 m.

Le poids moyen d'une palette d'aérosols est de 100 kg.

Le poids moyen d'une palette de cartouches de butane/propane est de 500 kg.

- **Quantité de produits par cellule**

	Surface de la zone grillagée dédiée	Nombre d'équivalents palettes	Quantité d'aérosols extrêmement inflammables et contenant des gaz inflammables	Quantité d'aérosols extrêmement inflammables ne contenant pas de gaz inflammables
Stockage d'aérosols	470 m <sup>2</sup>	1 500 palettes	750 palettes représentant 75 t d'aérosols	750 palettes représentant 75 t d'aérosols

	Surface de la zone grillagée dédiée	Nombre d'équivalents palettes	Quantité de gaz inflammables liquéfié
Stockage de gaz inflammables Rubrique 4718	470 m <sup>2</sup>	10 palettes	5 t

### 3.4 Stockage de produits inflammables (rubriques 1436, 1450 et 4331)

Dans la cellule 2, en plus des produits combustibles courants, seront entreposées en faibles quantités des produits inflammables divers classables sous les rubriques 1436, 1450 et 4331 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Dans la cellule 2, les liquides inflammables (rubriques 1436 et 4331) seront stockés jusqu'à une hauteur de 5 m.

Les solides facilement inflammables (rubrique 1450) seront stockés au-dessus avec les produits divers (dont produits 4510 et 4511).

Les produits inflammables liquides seront entreposés sur des dispositifs de rétention internes dimensionnés pour permettre la rétention de 50% de la capacité globale des réservoirs associés.

- **Agencement de la zone de stockage**

Les produits inflammables seront stockés sur des palettes, elles-mêmes stockées sur des racks. Le nombre total d'équivalents palettes dans la cellule de stockage concernée (C2) par le stockage des produits inflammables sera de l'ordre de 390 palettes :

- 120 palettes de liquides inflammables classables sous la rubrique 4331,
- 120 palettes de liquides inflammables classables sous la rubrique 1436
- 150 palettes de solides inflammables classables sous la rubrique 1450.

La hauteur de stockage des liquides inflammables ne dépassera pas 5 m (soit trois niveaux de palettes).

Une palette de liquides inflammables contient en moyenne 400 l de liquides inflammables.

En estimant de façon majorante à 1 t la masse d'un mètre cube de liquides inflammables, on obtient un tonnage total de 48 t de liquides inflammables classables sous la rubrique 4331 et 48 t classables sous la rubrique 1436.

Le poids moyen d'une palette de solide inflammable est égal à 200 kg.

- **Quantités de produits par cellule**

Stockage de produits inflammables dans la cellule C2	Nombre d'équivalents palettes	Volume de liquide inflammable	Quantité de produits inflammable
Stockage de liquides inflammables classables sous la rubrique 4331	120 palettes	48 m <sup>3</sup>	48 t
Stockage de liquides inflammables classables sous la rubrique 1436	120 palettes	48 m <sup>3</sup>	48 t
Stockage de produits inflammables classables sous la rubrique 1450	150 palettes	-	30 t
<b>TOTAL</b>	<b>390 palettes</b>	<b>96 m<sup>3</sup></b>	<b>126 t</b>

Le plan en page suivante permet de visualiser la zone de stockage des produits classables sous les rubriques 1436, 1450 et 4331 :

RUBRIQUES ICPE	
1510 / 1530 2662 2663-1a / 2663-2a	TOUTES LES CELLULES
1511	CELLULES 05 - 06 - 07
1436 / 1450 / 4331	CELLULE 02
4510 / 4511	CELLULE 02
4741	CELLULE 02
4755	CELLULE 04
4320 / 4321	CELLULE 04
4718	CELLULE 04
2718 / 2718	CELLULE 09

1436 / 1450 / 4331

- V08 -

**ICPE**

0864  
MC

Sans Echelle  
Autocad 2016

0864-V08-GENERAL.dwg

ICPE  
22 MARS 2018



### 3.5 Stockage des alcools de bouche d'origine agricole (rubrique 4755)

Il est prévu que la cellule C3 de l'établissement puisse accueillir un stockage d'alcools de bouche d'origine agricole (rubrique 4755) en mélange avec les produits combustibles courants.

#### • Agencement d'une cellule, densité de stockage

Les alcools de bouche seront stockés sur des palettes, elles-mêmes stockées sur des racks. Les alcools de bouche pourront être entreposés sur toute la hauteur de stockage (11,90 m).

Le nombre d'équivalents palettes d'alcool de bouche stocké sur le site sera de l'ordre de 1 110. Le poids moyen d'une palette d'alcool de bouche est en moyenne de 900 kg et chaque palette contient en moyenne 590 l de liquide.

Parmi ces palettes, le volume maximal d'alcools de bouche de titre alcoométrique supérieur à 40% (rhums, cocktails, etc...) sera égal à 650 m<sup>3</sup>.

	Nombre d'équivalents palettes d'alcools de bouche	Quantité d'alcools de bouche	Volume d'alcools de bouche de titre alcoométrique supérieur à 40%
Cellule C3	1 110 palettes	1 000 t	650 m <sup>3</sup>

Les alcools de bouche d'origine agricole seront entreposés sur des dispositifs de rétention internes dimensionnés pour permettre la rétention de 20% de la capacité globale des réservoirs associés.

Le plan en page suivante permet de visualiser la zone de stockage des produits classables sous la rubrique 4755 :

RUBRIQUES ICPE	
1510 / 1530 2662 2663-1a / 2663-2a	TOUTES LES CELLULES
1511	CELLULES 06 - 06 - 07
1436 / 1450 / 4331	CELLULE 02
4510 / 4511	CELLULE 02
4741	CELLULE 02
4755	CELLULE 03
4320 / 4321	CELLULE 04
4718	CELLULE 04

4755

- V08 -

0864  
MC

**ICPE**

Sans Echelle  
Autocad 2016

0864-V08-GENERAL.dwg

ICPE  
20 MARS 2018



### 3.6 Stockage des produits dangereux pour l'environnement (rubriques 4510 et 4511) et de l'eau de Javel (rubrique 4741)

Dans la cellule C2, en plus des produits combustibles courants et des produits inflammables, pourront être entreposés en faibles quantités des produits divers classables sous d'autres rubriques de la nomenclature des ICPE suivant les règles de compatibilité.

Ces produits seront :

- Des produits dangereux pour l'environnement (rubriques 4510 et 4511),
- Des produits à base d'hypochlorite de sodium (rubrique 4741),

Les produits liquides seront entreposés sur des dispositifs de rétention internes dimensionnés pour permettre la rétention de 50% de la capacité globale des réservoirs associés.

Les produits dangereux pour l'environnement classés sous les rubriques 4510 et 4511 pourront également être entreposés en mélange ou au-dessus des liquides inflammables (qui eux seront entreposés jusqu'à 5 m).

#### • Quantité de produits dans la cellule C2

Produits stockés	Rubrique IPE	Nombre d'équivalents palettes	Quantité stockée
Produits dangereux pour l'environnement – Très toxiques	4510	140 palettes	70 t
Produits dangereux pour l'environnement – Toxiques	4511	38 palettes	19 t
Produits à base de Javel	4741	38 palettes	19 t

Ces produits particuliers représentent un tonnage total égal à 108 t.

En prenant l'hypothèse fortement majorante que tous ces produits soient stockés à leur seuil maximal dans la cellule 2, ils représenteraient environ 1,8% des 6 000 t de marchandises combustibles pouvant être entreposés dans cette cellule de stockage.

Le plan en page suivante permet de visualiser la zone de stockage des produits classables sous les rubriques 4510, 4511 et 4741 :

RUBRIQUES ICPE	
1510 / 1530 2662 2663-1a / 2663-2a	TOUTES LES CELLULES
1511	CELLULES 05 - 06 - 07
1436 / 1450 / 4331	CELLULE 02
4510 / 4511	CELLULE 02
4741	CELLULE 02
4755	CELLULE 04
4320 / 4321	CELLULE 04
4718	CELLULE 04
2718 / 2719	CELLULE 09

4510 / 4511

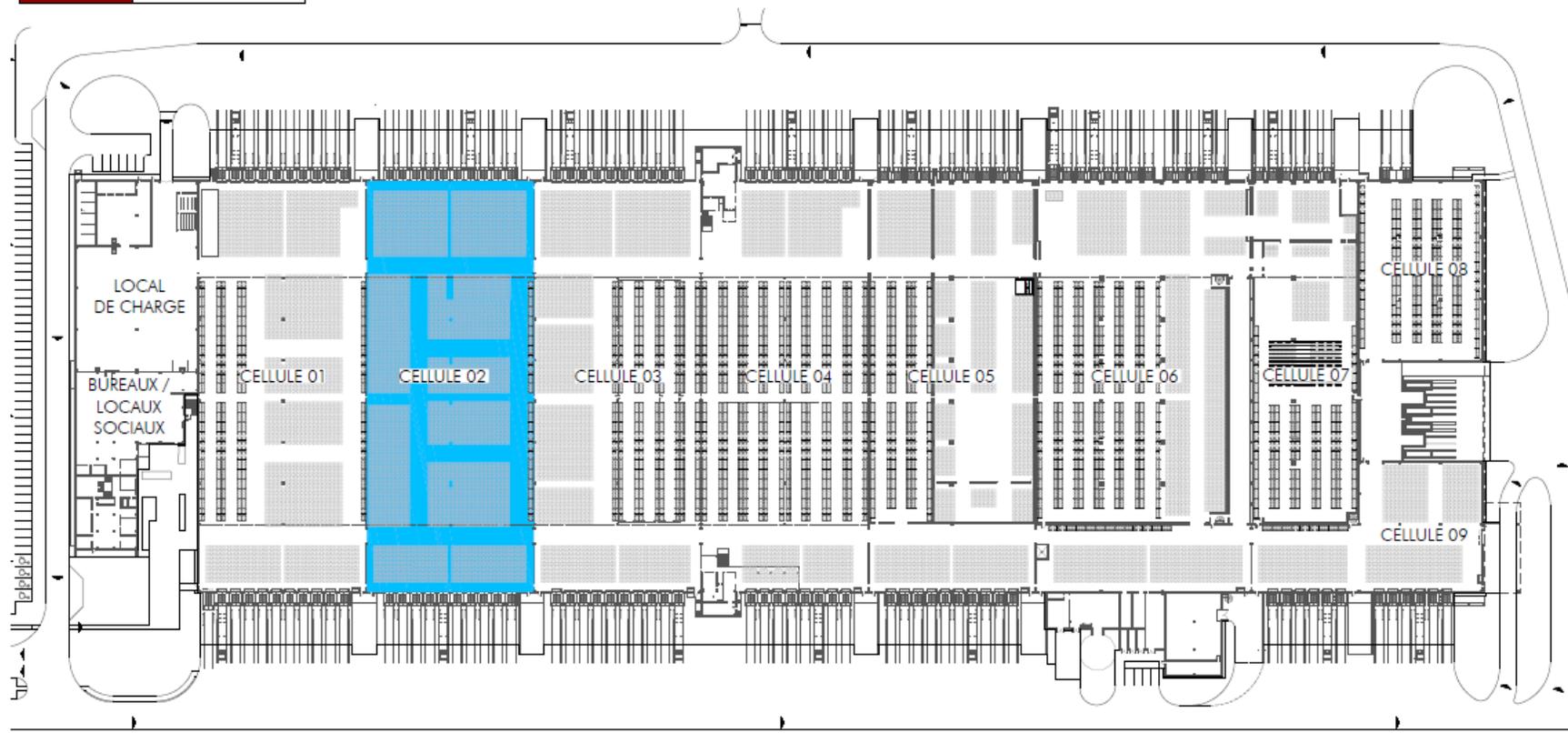
- V08 -

0864  
MC

**ICPE**

Sans Echelle  
Autocad 2016  
0864-V08-GENERAL.dwg

ICPE  
22 MARS 2018



### 3.7 Les produits liés au conditionnement

#### 3.7.1 Les palettes et les cartons

Dans le cadre de cette étude, les matériaux combustibles correspondant à la rubrique 1510 seront assimilés à du papier ou du bois (rubriques 1530 ou 1532). Ces produits ne présentent aucune toxicité mais ils sont combustibles. Leur pouvoir calorifique est de l'ordre de 4 000 kcal/kg

- **Tableau récapitulatif des principaux gaz susceptibles de se dégager lors de la combustion du papier, du carton et du bois**

Matériau	Eléments constitutifs principaux	Principaux gaz susceptibles de se dégager
Papier, carton, bois	C, H, O	CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O Des traces d'aldéhydes et d'acroléine

Les traitements éventuels de ces produits peuvent entraîner la formation d'autres produits de décomposition mais qui seront dans des quantités négligeables.

#### 3.7.2 Les emballages plastiques

A température ambiante, les matières plastiques sont considérées comme ne présentant aucun danger.

Portées à température élevée, elles vont libérer des produits de dégradation, des adjuvants ou des monomères résiduels.

La nature et la toxicité de ces émissions dépendent de nombreux facteurs : nature du matériau, apport énergétique, teneur en oxygène, ...

Dans l'industrie de l'emballage, les matières plastiques usuelles sont :

- les Polyéthylènes : PE,
- le Polychlorure de vinyl : PVC,
- les Polyuréthanes : PUR,
- les Polystyrènes : PS.

- **Pouvoir calorifique des matières plastiques :**

Il dépend de la composition chimique du matériau.

Matières plastiques	Pouvoir calorifique
Polyéthylène (PE)	33 900 à 46 000 kJ/kg
Polychlorure de vinyl (PVC)	15 000 à 21 700 kJ/kg
Polyuréthane (PUR)	23 900 à 31 000 kJ/kg
Polystyrène	31 700 à 41 200 kJ/kg

Les principaux gaz formés lors de la combustion des matières plastiques sont :

- le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), la vapeur d'eau,
- le méthane et les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques.

Le monoxyde de carbone est très souvent le toxique majeur.

Pour les matières plastiques contenant des atomes de chlore (PVC) ou d'azote (PU), il y a également formation :

- de chlorure d'hydrogène et d'hydrocarbures chlorés,
- d'ammoniac, de nitriles, de cyanogène, de cyanure d'hydrogène et plus rarement d'oxydes d'azote.

Le Polyéthylène ne présente pas pour sa part, sauf traitement spécial de risque particulier en termes de toxicité.

Dans le cas de la combustion des plastiques, la presque totalité des particules solides des fumées est représentée par des suies (noir de carbone et produits carbonés dont la combustion n'a pas été totale).

L'un des risques majeurs liés aux produits de combustion est l'inhalation des particules de suies qui vont empêcher la correcte ventilation pulmonaire. Ce sont ces suies qui produisent l'opacité des fumées.

Sous l'effet de la température, les matières plastiques se décomposent en émettant des gaz inflammables et de l'hydrogène. Cette émission favorise la propagation de l'incendie.

### 3.8 Le gaz naturel

Le bâtiment sera équipé d'une chaufferie comportant deux chaudières d'une puissance totale de 1 800 kW. La chaudière sera alimentée au gaz naturel par GDF.

Des mercaptans sont incorporés au gaz par GDF pour lui donner une odeur et ainsi permettre de détecter les fuites éventuelles.

#### • Les caractéristiques du gaz naturel

Il est inflammable, incolore et inodore. Il est un peu soluble dans l'eau.

Composition :       80 % de méthane  
                           15 % d'éthane  
                           4 % de propane  
                           1 % de butane

Pouvoir calorifique       8 600 kcal/Nm<sup>3</sup>

Température d'ébullition   - 161,5 °C

Densité                     0,717 g/l

#### • Les limites d'inflammabilité pour le méthane

Air		Oxygène	
Limite inférieure	Limite supérieure	Limite inférieure	Limite supérieure
5 %	15 %	5 %	60 %

Méthane en mélange avec l'air et avec l'oxygène pur, les limites sont exprimées en pourcent (volume) de combustible dans le mélange total.

Les principaux gaz formés lors de la combustion du gaz naturel sont :

- le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), la vapeur d'eau,

- des oxydes d'azote, des oxydes de soufre.

### 3.9 L'ammoniac

L'installation de refroidissement utilisera l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) comme fluide frigorigène (désigné par la référence R717).

Le froid sera ensuite distribué dans l'entrepôt soit par de l'eau glycolée (cellule 5), soit par du  $\text{CO}_2$  (cellules 6 et 7).

#### • Les caractéristiques de l'ammoniac

Il est inflammable, incolore et nocif par inhalation. Il est très soluble dans l'eau (33,1% en poids à 20°C).

Formule :  $\text{NH}_3$

Température d'ébullition -33,4°C à pression atmosphérique

Température d'auto-inflammation 651 °C

L'énergie minimale d'inflammation, 680 mJ, est très supérieure aux valeurs rencontrées dans le domaine de l'électricité statique.

L'ammoniac pur en milieu inerte ne se décompose qu'à partir de 200°C. Sa dissociation en azote et en hydrogène commence vers 110-120°C en présence d'eau et de fer.

#### • Les limites d'explosibilité pour l'ammoniac

Ce gaz relativement peu inflammable, peut former des mélanges explosifs avec l'air ou l'oxygène. Cependant, l'inflammation d'un tel mélange nécessite à la fois une température élevée et une grande énergie de la source d'allumage. Les explosions ne peuvent donc se produire que dans un local clos.

Ammoniac	
LIE	LSE
16 %	25 %

La présence de certaines substances comme l'huile peut abaisser la LIE.

## 4 LES PROCÉDES MIS EN ŒUVRE

### 4.1 La charge des batteries

Le bâtiment sera équipé d'un local technique dédié au chargement des batteries des chariots élévateurs. Il présentera une superficie de 1 586,9 m<sup>2</sup>.

Il sera implanté en saillie de la façade Sud de l'entrepôt, en continuité du plot de bureaux et de locaux sociaux.

Ce local sera construit et exploité conformément aux prescriptions de l'arrêté du 29 mai 2000 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2925 « accumulateurs (atelier de charge) », excepté pour la tenue au feu des murs extérieurs :

En effet, le local de charge sera séparé de la cellule d'entreposage adjacente par un mur coupe-feu de degré 2 heures (REI 120) et des portes coupe-feu de degré 2 heures (EI 120) à fermeture automatique. Les façades extérieures du local de charge seront en parpaing coupe-feu de degré deux heures

- La couverture du local de charge des batteries, comme celle de l'entrepôt, sera réalisée à partir de bacs en acier galvanisé autoportants avec isolation en panneaux laine de roche et étanchéité multicouche (procédé élastomère auto protégé). L'ensemble de la toiture satisfera au classement au feu T30-1 (Broof T3).

La société PANHARD DEVELOPPEMENT demande donc une dérogation par rapport à l'article 2.4.1 de l'arrêté du 29 mai 2000 (arrêté type 2925) concernant la couverture.

L'article 2.4.1 indique en effet que les locaux abritant l'installation doivent présenter les caractéristiques de réaction et de résistance au feu minimales suivantes :

- murs et planchers hauts coupe-feu de degré 2 heures (REI 120)
- couverture incombustible,
- portes intérieures coupe-feu de degré 1/2 heure (EI30) et munies d'un ferme-porte ou d'un dispositif assurant leur fermeture automatique,
- porte donnant vers l'extérieur pare-flamme de degré 1/2 heure,
- pour les autres matériaux : classe M0 (incombustibles).

Les dispositions constructives envisagées sur le site PANHARD DEVELOPPEMENT objet du présent dossier ne présentent pas une aggravation du risque.

Comme l'ensemble de l'installation électrique, les équipements électriques spécifiques au local de charge des batteries seront réalisés selon les normes et ils seront inspectés régulièrement par un organisme agréé.

Des cartouches fusibles et un relais disjoncteur protégeront les installations contre les risques de court-circuit.

L'éclairage artificiel se fera par des lampes sous enveloppe protectrice en verre.

Pour limiter le risque d'accumulation d'hydrogène, le local de charge des batteries sera équipé d'une ventilation mécanique forcée installée en toiture.

Le sol et les murs, jusqu'à une hauteur d'un mètre, seront recouverts d'un revêtement anti-acide.

Le local de charge des batteries sera équipé d'une fontaine oculaire et d'un extincteur au CO<sub>2</sub>.  
Les eaux résiduaires (acides) seront collectées dans un bac étanche, pour neutralisation (pH entre 5,5 et 8,5). La vidange de ce bac ne pourra se faire que par un système de pompage manuel ou électrique. Les eaux seront évacuées par une société spécialisée.

---

## 4.2 Le chauffage

Les calories nécessaires au chauffage du bâtiment seront produites par deux chaudières au gaz naturel d'une puissance totale de 1800 kW, mises en place dans une chaufferie de 100 m<sup>2</sup> située en saillie de la façade Est de la cellule 6 de l'entrepôt.

Les cellules non dédiées au stockage de denrées alimentaires sous température dirigée seront chauffées par des aérothermes à eau chaude. L'installation permettra d'assurer la mise hors gel des cellules de stockage.

Le réseau de distribution d'eau chaude circulera sous charpente et alimentera les différents appareils.

Comme l'ensemble de l'installation électrique, les équipements électriques spécifiques à la chaufferie du site seront réalisés selon les normes et ils seront inspectés régulièrement par un organisme agréé.

- **Le risque de fuite de gaz**

Une fuite et une accumulation de gaz peuvent provoquer une explosion.

Les réseaux d'alimentation en combustible seront réalisés de manière à réduire les risques en cas de fuite.

Les canalisations seront protégées contre les agressions extérieures. La conduite de gaz enterrée alimentant la chaufferie sera réalisée conformément à la réglementation française et aux normes de Gaz de France.

Le poste de détente pour l'alimentation gaz de la chaufferie sera équipé d'un système réglementaire de coupure automatique de l'alimentation en cas de fuite.

La chaufferie sera ventilée.

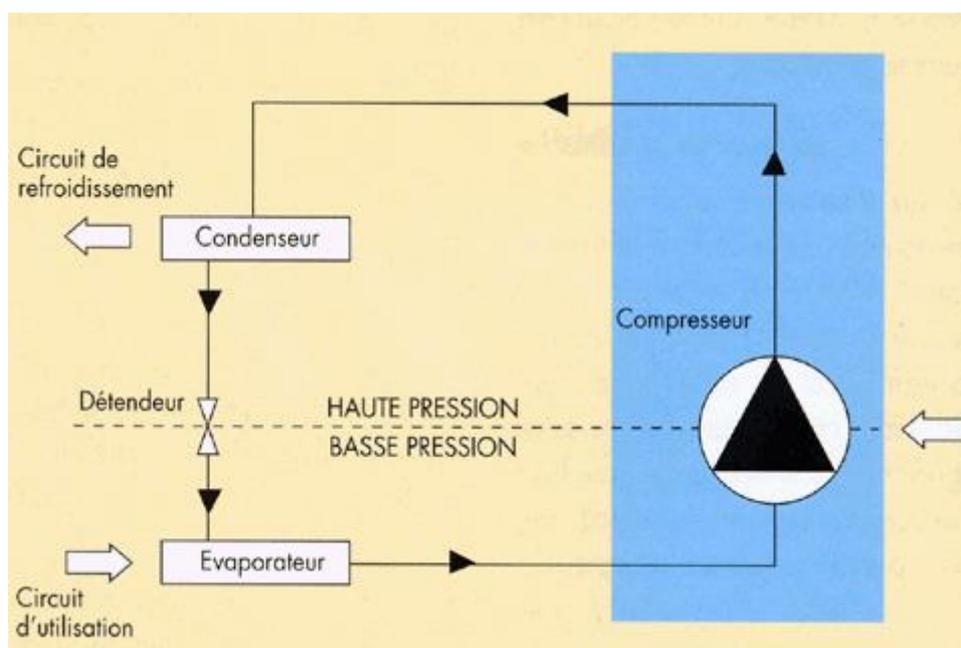
---

## 4.3 La production de froid

La production de froid permettant l'exploitation sous température dirigée des cellules 5, 6 et 7 de l'établissement, sera assurée par une installation technique regroupée dans une salle des machines située avec les autres locaux techniques en saillie de la façade Est de la cellule 6.

Cette salle des machines présentera une superficie de 330,2 m<sup>2</sup>.

Le principe de production de froid thermodynamique repose sur un cycle thermodynamique complet qui se caractérise par la circulation d'un fluide frigorigène soumis à quatre phases successives (compression, condensation, détente, évaporation). Le fluide est choisi pour ses propriétés d'évaporation et de condenseur à des températures adaptées à l'application.



Dans le cas présent, le fluide frigorigène utilisé pour produire le froid est l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). Le froid est ensuite distribué dans l'entrepôt soit par de l'eau glycolée (cellule 5), soit par du  $\text{CO}_2$  (cellules 6 et 7).

Le refroidissement du condenseur est assuré par de l'eau (condenseurs évaporatifs implantés en toiture).

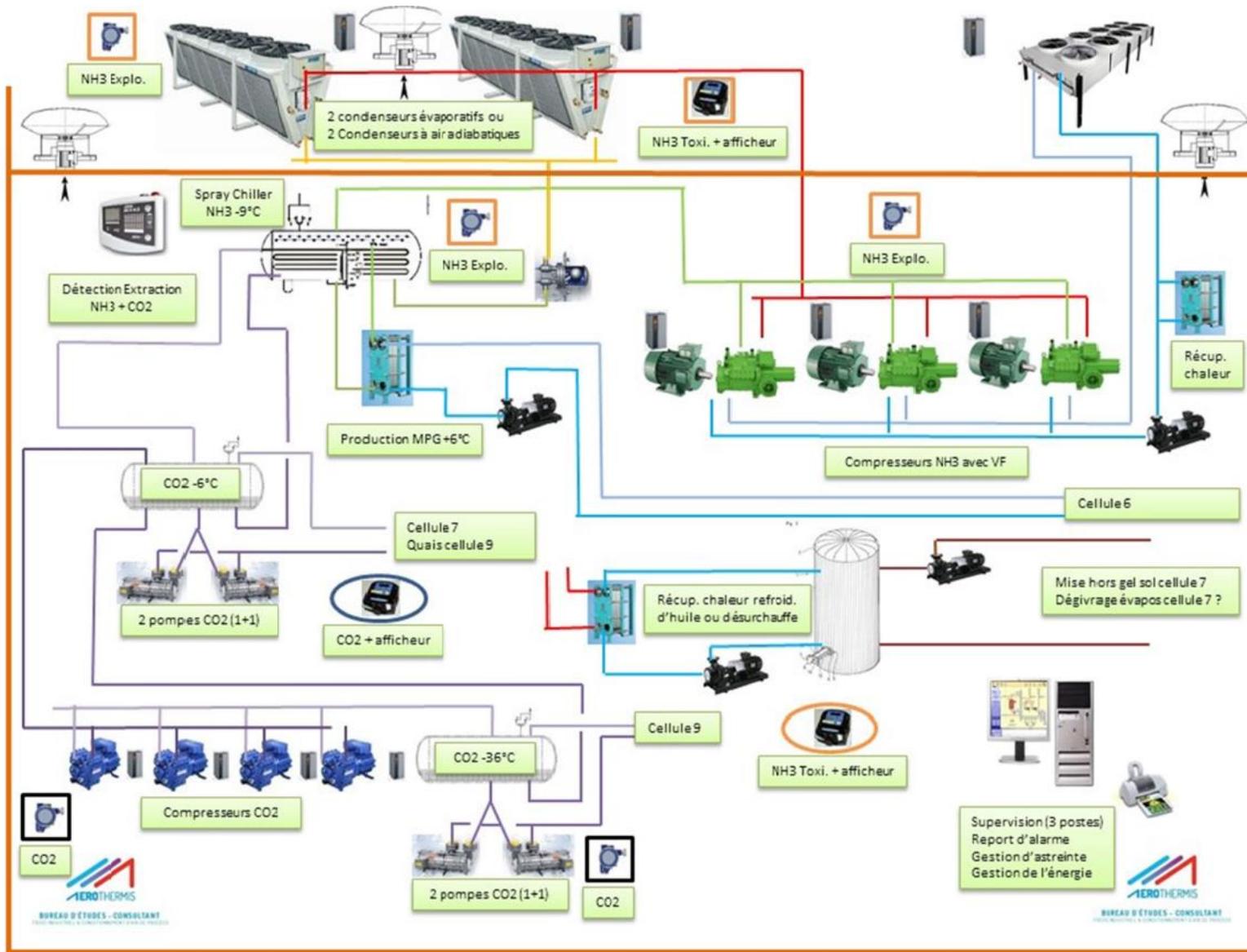
Les condenseurs évaporatifs seront implantés sur la toiture de la salle des machines mais conformément aux dispositions de l'arrêté du 19/11/09, les canalisations d'ammoniac arriveront directement sur le côté des condenseurs et le confinement de ces condenseurs évaporatifs sera en connexion avec la salle des machines par une ouverture pratiquée dans la toiture : les tuyauteries en entrée et en sortie du condenseur seront protégées par un capotage, équipé d'une détection ammoniac. Le volume délimité par le capotage communiquera avec la salle des machines par une ouverture dont la surface libre sera au moins égale à 20% de l'aire délimitée par l'emprise du capotage sur la salle des machines.

L'installation envisagée sur le site comprendra une quantité maximale d'ammoniac inférieure à 1 500 kg répartie entre

- 1 bouteille basse pression de 500 kg. Il s'agit d'un réservoir contenant de l'ammoniac sous forme liquide et vapeur et se trouvant à basse pression. Son rôle est d'être une capacité tampon de fluide frigorigène pour la distribution en basse pression et une capacité de séparation liquide/vapeur,
- 3 compresseurs de 800 kW chacun ayant pour but d'aspirer et refouler l'ammoniac à l'état de vapeur par un moyen mécanique (compression à pistons, à vis ou centrifuge),
- 1 évaporateur (échangeurs à plaques) dans lequel l'ammoniac liquide, après détente ou abaissement de sa pression partielle, est évaporé en prélevant de la chaleur dans un milieu à refroidir (production de froid par détente directe),

- 2 condenseurs évaporatifs comprenant chacun 125 kg d'ammoniac environ, implantés sur la toiture de la salle des machines. Ces appareils ont pour but de liquéfier l'ammoniac à l'état gazeux en l'élevant à une pression de condensation (ou haute pression) pour lui faire céder de la chaleur à un agent de refroidissement extérieur (de l'eau en l'occurrence).

Le schéma page suivant permet de visualiser l'ensemble de l'installation qui sera mise en œuvre dans la salle des machines de l'établissement :



Les condenseurs évaporatifs seront implantés sur la toiture de la salle des machines mais conformément aux dispositions de l'arrêté du 19/11/09, les canalisations d'ammoniac arriveront directement sur le côté des condenseurs et le confinement de ces condenseurs évaporatifs sera en connexion avec la salle des machines par une ouverture pratiquée dans la toiture : les tuyauteries en entrée et en sortie du condenseur seront protégées par un capotage, équipé d'une détection ammoniac. Le volume délimité par le capotage communiquera avec la salle des machines par une ouverture.

Le fluide frigoroporteur utilisé dans l'établissement sera constitué d'eau glycolée à 30% de monoéthylène glycol (MEG) pour la cellule 5 et de CO<sub>2</sub> pour les cellules 6 et 7.

La salle des machines sera isolée par des murs coupe-feu de degré deux heures et une porte coupe-feu de degré deux heures. Elle sera uniquement accessible au personnel compétent.

La toiture de la salle des machines sera équipée d'un extracteur mécanique d'air fonctionnant en continu et permettant l'évacuation de la chaleur produite par l'installation.

Cet équipement présentera un débit d'extraction évalué à 30 000 m<sup>3</sup>/h.

Un extracteur mécanique d'air asservi à la détection d'ammoniac sera également mis en œuvre. Cet extracteur sera déclenché dès le franchissement du premier seuil de sécurité (2 000 ppm). Cet équipement ATEX continuera à fonctionner même en cas de franchissement du second seuil de sécurité (4 000 ppm). Le franchissement du second seuil entraînera la mise en sécurité de l'installation c'est-à-dire la coupure de l'alimentation électrique de tous les équipements hors équipements de sécurité ADF/antidéflagrant. L'extracteur mécanique dédié à l'évacuation de la chaleur sera donc coupé. L'évacuation de l'ammoniac hors du local ne sera assuré que par l'extracteur dédié ADF/antidéflagrant.

Le débit d'extraction de cet équipement a été calculé suivant la norme NF EN 378-3:2017 qui indique que le débit d'air de la ventilation mécanique doit correspondre au minimum à la quantité obtenue par l'équation suivante :

$$V = 14 \times 10^{-3} \times m^{2/3}$$

où :

V est le débit d'air en m<sup>3</sup>/s ;

m est la masse de la charge de fluide frigorigène, en kg, dans le système de réfrigération ayant la charge maximale, dont une partie quelconque est située dans la salle des machines ;

14 × 10<sup>-3</sup> est un facteur de conversion.

Dans le cas de l'établissement PANHARD DEVELOPPEMENT, avec une quantité maximale d'ammoniac inférieure à 1 500 kg on calcule :

$$V = 14 \times 10^{-3} \times 1\,500^{2/3}$$

$$V = 1,83 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{6\,604 \text{ m}^3/\text{h} \text{ arrondi à } 7\,000 \text{ m}^3/\text{h}}$$

La salle des machines sera située à plus de 20 mètres de la limite de propriété de l'établissement.

Cette distance d'implantation est conforme à l'article 2.1.2 de l'arrêté du 19/11/09 relatif aux prescriptions générales applicables aux ICPE soumises à déclaration sous la rubrique 4735 (Emploi ou stockage d'ammoniac).

En effet :

- Les équipements de production de froid seront regroupés dans un local dédié de 330 m<sup>2</sup> situé sur le pignon Est de l'établissement en saillie de la cellule 6. Seuls les condenseurs évaporatifs seront implantés en dehors du local, sur la toiture de la salle des machines.
- L'installation de produits de froid de l'établissement ne comportera pas de capacité accumulative (réservoir) haute pression. L'installation telle que décrite à la page précédente ne comporte qu'une bouteille basse pression de 500 kg.
- Il est indiqué plus avant que : « conformément aux dispositions de l'arrêté du 19/11/09 ; les canalisations d'ammoniac arriveront directement sur le côté des condenseurs et le confinement de ces condenseurs évaporatifs sera en connexion avec la salle des machines par une ouverture pratiquée dans la toiture. Les tuyauteries en entrée en et sortie du condenseur seront protégées par un capotage équipé d'un détecteur d'ammoniac. Le volume délimité par le capotage communiquera avec la salle des machines par une ouverture ».
- La hauteur de la cheminée surmontant l'extraction mécanique d'urgence sera égale à la hauteur de l'acrotère de la zone de stockage adjacente soit 10,50 mètres.
- Une cheminée de 10,50 mètres sera également mise en place au-dessus de l'extracteur mécanique d'air fonctionnant en continu et permettant l'évacuation de la chaleur produite par l'installation.

## 5 ANALYSE ACCIDENTOLOGIQUE / APPLICATION AU SITE

### 5.1 Accidentologie

#### 5.1.1 Stockage de matières combustibles

Le risque lié au stockage dans les entrepôts est principalement l'inflammation non contrôlée pouvant entraîner un incendie des produits ou matériaux d'emballage.

Cette accidentologie a été réalisée d'après les renseignements fournis par la base de données ARIA du ministère de l'écologie, consultable sur INTERNET.

La base de données du BARPI fait l'inventaire des accidents technologiques et industriels.

La consultation porte sur les 30 000 accidents inventoriés dans la base de données du BARPI.

La consultation des accidents enregistrés pour l'activité H52-10 « Entreposage et stockage » permet de recenser 862 accidents dont le plus vieux date des années 50.

La base de données nous donne peu d'informations sur ces accidents.

La plupart des bâtiments concernés sont de petite taille, de construction ancienne.

Toutefois une accidentologie réalisée par le BARPI sur les accidents impliquant des entrepôts, jointe en annexe n°16, indique que la quasi-totalité des accidents sont des incendies justifiés par la présence systématique de matières combustibles constituant le risque essentiel de ce genre d'installations (85 % des cas à comparer à la moyenne tout secteur d'activité confondu qui est de 62 % pour l'année 2013).

Les phénomènes dangereux se répartissent de la façon suivante :

Typologies (non exclusives l'une de l'autre)	Nombre d'accidents	Pourcentage (en %)	Pourcentage IC tout secteur confondu année 2013
Incendie	134	85	62
Explosion	15	9	8
Rejet de matière dangereuse	73	46	48

La répartition des bâtiments sinistrés en fonction de leur surface au sol est la suivante :

Surface	Nombre d'accidents	Pourcentage (en %)	Surface moyenne dans la plage étudiée (en m <sup>2</sup> )
Entre 0 et 5 000 m <sup>2</sup> (non compris)	71	45	2200
Entre 5 000 et 10 000 m <sup>2</sup> (non compris)	21	13	7800
≥ 10 000 m <sup>2</sup>	24	15	18625
inconnue	42	27	-

Au cours de ces 5 dernières années, de nombreux accidents ont eu lieu dans des bâtiments « multipropriétaires ». L'activité de logistique (entrepôt) est ainsi imbriquée dans un bâtiment où s'exercent plusieurs activités professionnelles (ARIA 40239, 41482, 41877, 42472, 42797). En outre, certains bâtiments sont susceptibles d'accueillir des personnes en dehors de l'activité de stockage (magasin dit « Drive » : ARIA 45201).

Les stockages sont susceptibles de relever des rubriques : 1510, 1530, 1532, 2662 et 2663.

La répartition par régime réglementaire des établissements ayant fait l'objet d'un accident est la suivante :

Régime IC	Nombre d'accidents	Pourcentage (en %)
Seveso (seuil haut et bas)	3	2
Autorisation	21	13
Enregistrement	2	1
Déclaration	13	8
Potentiellement en infraction	8	5

Plusieurs accidents ont eu lieu dans des établissements « potentiellement en infraction ». En effet, ces derniers n'étaient pas connus de l'inspection des installations classées (ARIA 36218, 41744, 44309, 45283, 45609) ou des services de secours (ARIA 43618). Après enquête, il apparaît parfois que le seuil des 500 tonnes de matières combustibles (rubrique 1510) n'était pas atteint au moment des faits (ARIA 43518, 45201).

L'accidentologie indique que les départs de feux se trouvent généralement à l'intérieur des stockages. Mais, certains départs sont initiés de l'extérieur :

- parking poids-lourds (ARIA 38991, 40635, 45355) ;
- quais de chargement (ARIA 36172, 43644, 43834) ;
- stockage de déchets ou de palettes à l'extérieur des locaux (ARIA 40296, 42626, 44655) ;
- stockage sous chapiteau (ARIA 45555) ;
- zones de « picking » (stockage temporaire en attente de traitement : ARIA 44660).

Les évolutions récentes de la base de données ARIA permettent d'analyser plus finement la chaîne causale de l'accident, en distinguant les défaillances (causes premières) des causes profondes. Leur répartition est la suivante :

#### a- Causes premières ou défaillances identifiées :

Elles sont caractérisées par :

- De nombreux actes de malveillance (ARIA 35920, 35977, 36071, 38746, 39958, 43353, 43518, 43834...) se produisant majoritairement hors des heures d'ouverture de l'entreprise.
- Des défaillances humaines :
  - o Mauvaise manipulation (ARIA 36601, 44405)
  - o Erreur de manipulation/manutention (ARIA 44702) / coup de fourche de chariot élévateur perforant ou endommageant des capacités de stockage (ARIA 40262, 45542, 45891) ;
- Des défaillances matérielles :
  - o Surchauffe de réfrigérateur en période de fortes chaleurs (ARIA 37122) ;
  - o Problème électrique (ARIA 40792,43618) au niveau des dispositifs de chauffage (ARIA 38090) ou d'autres dispositifs (armoire/tableau électrique : ARIA 40652, 40669, 45384 ; prise électrique/connectique : ARIA 44022 ; transformateurs : ARIA 44881, 45292) ;
  - o dysfonctionnement de la centrale alarme (ARIA 43618)
  - o fuite au niveau d'une soupape sur une installation frigorifique (ARIA 43728) ;
  - o infiltration d'eau au niveau de la toiture qui inonde le stockage (ARIA 45312).

- Des agressions d'origine naturelle (Natech) :
  - o Foudre (ARIA 38115, 43618) ;
  - o Effondrement des toitures sous le poids de la neige (ARIA 39489, 39501, 43229) ;
  - o inondation/crue de cours d'eau/forte pluie (ARIA 43787, 45739) ;
  - o Episodes de grand froid (rupture d'une canalisation de sprinkler par le gel : ARIA 41779).

b- causes profondes :

Elles sont multiples et relèvent pour la plupart d'aspects organisationnels qui amplifient la défaillance matérielle ou humaine observée dans un premier temps.

Les points relevés concernent principalement :

- L'exploitation du site :
  - o stockage anarchique, pas/ou problème de compartimentage au sein des cellules (ARIA 35873, 36242, 39863, 41482, 43353...) ;
  - o entretien/vétusté des locaux (ARIA 42797) ;
  - o absence de surveillance du site en dehors des périodes d'exploitation ;
  - o absence d'inventaire des matières stockées (ARIA 42593) ;
  - o absence d'analyse des causes des précédents accidents (ARIA 45555) ;
  - o bacs d'eaux usées non vidangés avant un épisode de crue (ARIA 43787) ;
  - o persistance des non-conformités mentionnées dans les rapports de vérification des installations électriques (ARIA 44660) ;
  - o absence d'une ligne spéciale reliant l'établissement au centre de secours (ARIA 44660) ;
  - o non réalisation d'exercice de secours (POI : ARIA 44660) ;
  - o produits absorbants en quantité insuffisante (ARIA 44702).
- Défaut de maîtrise de procédé :
  - o modification du procédé d'emballage des palettes qui initient des départs de feu (film plastique thermorétractable : ARIA 44655) ;
  - o réactions chimiques non prévues (auto-inflammation d'un chiffon imbibé d'huile de lin).
- La gestion des travaux :
  - o analyse insuffisante des risques lors de travaux par points chauds sur les installations ou de réfection de toiture (ARIA 35873, 36025, 40668)
  - o mauvais suivi des travaux d'écobuage en été (ARIA 38869) ;
- La mauvaise conception des bâtiments :
  - o absence de dispositif d'isolement pour contenir les eaux d'extinction sur le site (ARIA 38851, 42656) ;
  - o murs coupe-feu avec des ouvertures (baies vitrées : ARIA 39123) ;
  - o dimensionnement des poutres / réception des travaux (ARIA 39501) ;
  - o absence de protection des façades par rapport aux flux thermiques (ARIA 41482) ;
  - o absence de système de désenfumage, d'extinction automatique (ARIA 35873, 36218, 39863, 40296...) ou de détection incendie (ARIA 38851, 43798) ;
  - o absence ou mauvais dimensionnement des rétentions (pas assez grande : ARIA 43053, 44660).
- L'absence de contrôle :
  - o problème de fonctionnement de porte coupe-feu (ARIA 36242) ;
  - o centrale alarme endommagée par la foudre (ARIA 43618) ;
  - o bassin de rétention non étanche (ARIA 43798).
- La formation du personnel :

o Méconnaissance des procédures d'urgence (absence de manœuvre d'organe de sectionnement : ARIA 43798).

### 5.1.2 **Réfrigération à l'ammoniac**

L'accidentologie sur les systèmes de réfrigération à l'ammoniac est basée sur l'analyse des accidents recensés dans la base de données du BARPI.

L'industrie alimentaire est la première concernée par les accidents impliquant des installations de réfrigération. Viennent ensuite les activités effectuant de l'entreposage de denrées alimentaires, suivies des installations sportives utilisant de l'ammoniac.

Toutes activités confondues, l'incendie, l'explosion et le rejet de produits dangereux constituent les formes courantes de l'accident.

Une liste d'accidents significatifs est présentée en annexe n°17.

Les incendies recensés se déclarent souvent sur des stockages connexes de palettes et de conditionnement divers, des équipements annexes, ainsi que dans des combles ou faux plafonds. Cependant, quelques incendies et/ou explosions semblent impliquer directement les installations de production de froid (salle des machines).

Les rejets dangereux sont liés à des fuites directes et également aux fumées toxiques libérées lors de la combustion des matériaux ou des marchandises stockées.

Les effets domino correspondent à une propagation rapide du sinistre liée notamment aux matières combustibles des panneaux sandwichs isolants ou de certaines toitures, l'explosion éventuelle de réservoir et de canalisation de frigorigène pris dans les flammes, la proximité d'autres installations ou dépôts ainsi qu'à la suite d'un tiers accident.

Les laiteries et leurs équipements de refroidissement sont plutôt à l'origine de fuites d'ammoniac et de pollution des eaux.

### 5.1.3 **Chaufferies**

L'accidentologie sur les chaudières à gaz est basée sur l'analyse des accidents recensés dans la base de données du BARPI.

Une liste d'accidents significatifs est présentée en annexe n° 18.

On observe que les accidents sur les chaudières interviennent principalement sur des chaudières de process, en particulier dans le domaine du raffinage de pétrole et de la chimie.

Les accidents intervenus sur des chaudières de chauffage se caractérisent par une explosion, issue d'une fuite de gaz combinée à un point chaud.

On remarque qu'une grande partie des accidents se produit après une intervention humaine pour maintenance ou réparation.

En ce qui concerne la gravité de tels événements, les comptes rendus des accidents passés font part de victimes chez le personnel présent dans la chaufferie au moment du sinistre et de dommages matériels sur l'installation ou sur l'environnement proche.

#### 5.1.4 **Locaux de charge des batteries**

L'accidentologie du BARPI ne fait pas état d'accident dans les locaux de charge des batteries des chariots élévateurs tels qu'ils apparaissent sur le site.

Les trois accidents retenus concernent des entreprises de fabrication d'accumulateur.

Une défaillance électrique conduit à un incendie du local. Cependant, les dégâts sont uniquement matériels.

#### 5.1.5 **Phénomènes naturels**

Des phénomènes naturels tels que la foudre ou les précipitations atmosphériques (pluie, neige, grêle) et les inondations peuvent être à l'origine d'accidents dans les entreprises.

La base ARIA du BARPI a recensé les accidents initiés par la foudre et les précipitations atmosphériques/inondations. Il n'y a pas de recensement d'accidents ayant le séisme pour origine.

##### • **Le risque foudre**

Dans les accidents analysés, l'impact de la foudre se traduit notamment par :

- des effets thermoélectriques,
- des effets électromagnétiques,
- la conduction.

Pour des raisons d'insuffisance d'information, l'échantillon des accidents (entre octobre 1967 et juillet 2007) n'est selon toute vraisemblance pas aussi étendu que celui des accidents survenus. Aussi, compte tenu des données disponibles, l'étude ne peut être considérée comme une étude statistique. La répartition des accidents dépend de la densité d'implantation des installations, de leur vulnérabilité ainsi que de l'intensité et de la fréquence des orages.

L'incendie est la typologie d'accident la plus fréquemment rencontrée. Pour prévenir ou limiter la propagation de ces incendies, des dispositifs de protection contre l'incendie alimentés électriquement doivent être préservés de la foudre ou des coupures d'alimentation du réseau électrique, fréquentes en cas d'orage.

Les rejets de matières dangereuses ou polluantes sont aussi souvent le résultat des effets directs ou indirects de la foudre.

Les moyens de prévention et de protection préconisés sont :

- canaliser les écoulements électriques,
- réaliser une conduction électrique vers la terre suffisante,
- l'étanchéité des équipements pour éviter les fuites de matières combustibles,
- protéger les équipements électriques affectés à la sécurité.

##### • **Le risque « précipitations atmosphériques - inondations »**

Dans les accidents analysés, l'impact des précipitations atmosphériques se traduit notamment par :

- des rejets de matières dangereuses ou polluantes (débordement ou lessivage des sols),
- des effondrements de structure.

Pour des raisons d'indisponibilité de l'information, l'échantillon des accidents n'est pas aussi étendu que celui des accidents survenus. Aussi, compte tenu des données disponibles, la synthèse ne peut être considérée comme une étude statistique.

Les causes identifiées sont essentiellement des défauts de conception, entretien et maintenance (neige, pluie).

La pluie provoque également des débordements liés à une capacité de stockage/rétention insuffisamment dimensionnés.

Les moyens de prévention et de protection préconisés sont :

- le respect des règles de construction et un dimensionnement adapté,
- l'efficacité de la récupération, du traitement et de l'évacuation des eaux pluviales,
- la vérification périodique et le nettoyage des réseaux.

## **5.2 Application au site – Identification des phénomènes dangereux**

---

Un phénomène dangereux est une libération d'énergie ou de substance produisant des effets, au sens de l'arrêté du 29/09/2005, susceptibles d'infliger un dommage à des cibles sans préjuger de l'existence de ces dernières. A partir de l'accidentologie, nous avons retenu les sources potentielles de dommage suivantes :

### **5.2.1 Incendie d'une cellule de stockage de matières combustibles**

Suivant les conclusions de l'analyse accidentologique, les mesures de maîtrise des risques suivantes seront mises en place dans les cellules de stockage :

- Une forte proportion de sinistres intervient la nuit ou le week-end et l'alerte est souvent donnée par des passants ou des voisins. Ceci met clairement en relief l'importance du dispositif d'extinction automatique d'incendie avec report d'alarme assurant une détection précoce et permanente des départs de feu. Le bâtiment sera équipé d'une installation d'extinction automatique d'incendie de type sprinkler dont l'alarme sera reportée en télésurveillance.
- Les pompiers sont fréquemment confrontés à des difficultés d'accès dues aux moyens de protection physique contre les intrusions et sont contraints parfois d'utiliser des matériels de désincarcération. La présence rapide sur le site de personnel de gardiennage doit permettre de faciliter l'accès de pompiers à l'intérieur des bâtiments. La surveillance du site sera assurée par télésurveillance 24h/24 et 7j/7. La société de télésurveillance disposera de consignes relatives à l'accueil des secours en cas d'incendie sur le site.
- Les moyens des services de secours ne permettent pas d'éteindre des incendies de plusieurs milliers de mètres carrés de bâtiment en flammes. Le recoupement des entrepôts par des cellules d'une superficie raisonnable et séparées par des parois coupe-feu permet de limiter l'extension des sinistres. Le bâtiment sera divisé en cellules de moins de 7 500 m<sup>2</sup> par des murs coupe-feu séparatifs dépassant d'un mètre en toiture. Ce compartimentage permet de prévenir le développement d'un incendie de grande ampleur.
- L'accumulation des gaz chauds sous toiture favorise la propagation du feu. Un large dimensionnement des exutoires évacuant les fumées est donc essentiel. Ainsi, chaque cellule du bâtiment sera recoupée en partie supérieure par des retombées métalliques d'un mètre formant des cantons de 1 650 m<sup>2</sup> maximum afin d'éviter la diffusion latérale des fumées en cas d'incendie. Les écrans de cantonnement seront réalisés en matériaux MO (y compris leurs fixations) et seront stables au feu de degré un quart d'heure. Le désenfumage sera assuré à raison de 2% de surface utile d'exutoires de fumées dont l'ouverture sera

assurée par une commande automatique à CO<sub>2</sub> et manuelle placée à proximité des issues de secours avec renvoi de commande sur la façade opposée.

Nous avons étudié par la suite les effets thermiques de l'incendie d'une cellule et de trois cellules de stockage ainsi que les effets toxiques et l'impact sur la visibilité.

### **5.2.2 Fuite d'ammoniac dans la salle des machines**

L'accidentologie a montré que le risque principal identifié pour les installations de réfrigération à l'ammoniac est le risque de fuite de d'ammoniac. Les canalisations de liaison entre les compresseurs et les condenseurs traverseront la toiture de la salle des machines pour être raccordées aux condenseurs évaporatifs. Ces canalisations seront confinées.

Les rejets se feront uniquement par l'extracteur. Des détecteurs d'ammoniac seront installés dans le local. Lors de l'atteinte du deuxième seuil d'alarme, l'installation sera mise en sécurité automatiquement (coupure de l'alimentation électrique de la salle des machines complète à l'exception des équipements ATEX (détecteurs NH<sub>3</sub> et CO<sub>2</sub> et éclairage d'urgence).

Les incendies recensés se déclarent souvent sur des stockages connexes. Le stockage sera interdit dans la salle des machines. Celle-ci sera séparée de l'entrepôt par des murs coupe-feu de degré 2 heures. Les cellules de stockage seront sprinklées.

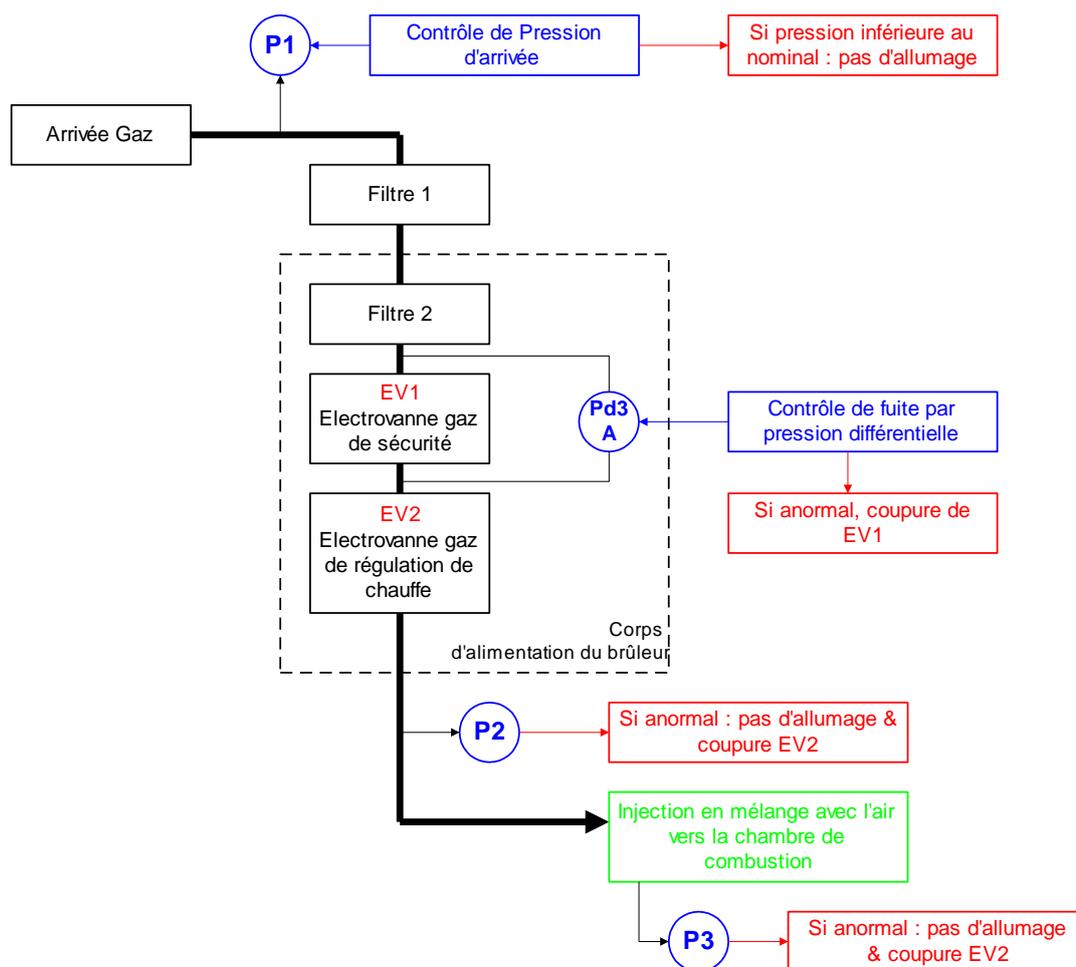
Certains incendies proviendraient d'une fuite d'ammoniac puis de son inflammation au contact d'une flamme ou d'un point chaud. Les sources d'ignition seront maîtrisées (interdiction de fumer, permis de travail par point chaud...).

Le bâtiment sera protégé contre la foudre et les équipements électriques seront conformes aux normes en vigueur et entretenus régulièrement.

### **5.2.3 Explosion de gaz dans la chaufferie**

L'accidentologie nous a montré l'importance de prévenir les fuites de gaz et de limiter les sources d'inflammation. Suivant ces conclusions, les mesures de prévention et de protection suivantes seront mises en place dans la chaufferie :

- Le compartimentage aura une tenue au feu de 2h au minimum (REI 120).
- Comme l'ensemble de l'installation électrique, les équipements électriques spécifiques à la chaufferie seront réalisés selon les normes et ils seront inspectés régulièrement par un organisme agréé.
- Le poste de détente pour l'alimentation gaz de la chaufferie sera équipé d'un système réglementaire de coupure automatique de l'alimentation en cas de fuite.
- La chaufferie sera ventilée.
- Chaque chaudière possèdera un brûleur équipé d'un pressostat permettant de contrôler la bonne alimentation en gaz. Le schéma ci-dessous établit les sécurités internes de cette installation :



Ce système de sécurité concerne uniquement l'équipement du brûleur. Il établit une double barrière de sécurité vis-à-vis du risque d'explosion dans le foyer en supprimant l'arrivée de gaz en cas d'anomalie de pression sur la ligne.

- Un système de contrôle de la flamme non figuré sur ce schéma établit en outre une barrière vis-à-vis du risque de dysfonctionnement et de rejet de mélanges gazeux toxiques en arrêtant toute alimentation gaz dès lors que la flamme n'induit pas la couleur, donc la température requise.
- Le brûleur sera alimenté au moyen d'un raccordement au réseau de distribution de GDF. La canalisation d'alimentation en gaz sortira du sol au niveau de la façade extérieure de la chaufferie.
- Cette canalisation sera équipée d'une vanne manuelle de coupure. Les canalisations seront protégées contre les agressions extérieures. La conduite de gaz enterrée alimentant la chaufferie sera réalisée conformément à la réglementation française et aux normes de Gaz de France.
- La chaufferie sera uniquement accessible au personnel compétant. Elle sera équipée d'une détection incendie et d'extincteurs à poudre polyvalente de classe 5A-34B.
- Un permis feu sera obligatoire avant tout travaux par point chaud et il sera formellement interdit de fumer.

Nous avons étudié par la suite les effets de surpression engendrés par l'explosion de la chaufferie.

#### **5.2.4 Explosion d'hydrogène dans le local de charge**

L'accidentologie n'a pas mis en évidence le risque d'explosion dans le local de charge.

Lorsqu'une batterie est en charge, au fur et à mesure que cette opération s'effectue, la force contre-électromotrice qu'elle représente vient s'opposer à l'intensité du chargeur, de telle sorte que celle-ci diminue continûment au cours de l'opération.

En principe, lorsque la batterie est chargée, plus aucune intensité ne circule à travers elle, ou sinon une fraction très faible de l'ampérage nominal de la charge.

Cependant lorsqu'une batterie est défectueuse, l'intensité imposée par le chargeur peut éventuellement engendrer l'électrolyse de l'eau.

Pour limiter le risque d'accumulation d'hydrogène, le local de charge sera équipé d'une ventilation mécanique forcée installée en toiture. Cette ventilation mécanique sera asservie à la charge des batteries. Elle sera dimensionnée pour assurer un renouvellement important de l'air dans le local.

Le fonctionnement de l'extracteur d'air sera asservi au contacteur électrique du circuit de charge et un pressostat contrôlera son fonctionnement et donnera une alarme en cas de défaillance provoquant ainsi la mise hors tension du circuit de charge.

Le volume d'hydrogène dégagé pendant le chargement d'une batterie sera relativement faible, son impact sur la pollution atmosphérique sera négligeable.

Calcul du volume d'hydrogène rejeté dans l'atmosphère :

Pour un chariot élévateur d'une puissance de batterie de 600 Ah.

Le volume d'hydrogène dégagé peut être calculé par la formule suivante :

$$V = P \times n \times 0,08/1000$$

où :

P est la puissance de la batterie, P = 600 Ah

n est le nombre d'éléments, n = 24 pour une batterie de 600 Ah

$$V = 1,15 \text{ m}^3 \text{ d'hydrogène pour une batterie}$$

L'explosion du local de charge proviendrait d'une accumulation d'hydrogène au cours de la charge des batteries des chariots élévateurs. Or, pour atteindre un dépassement de la LIE, il faudrait une défaillance de nombreuses batteries au même moment. De plus, ce local sera très largement ventilé (extracteur mécanique d'air en partie haute) et les batteries sont régulièrement contrôlées. Le fonctionnement des chargeurs électriques sera asservi au fonctionnement de l'extracteur mécanique.

Ces mesures nous ont conduits à ne pas prendre en compte le risque d'explosion dans le local de charge du bâtiment.

La possible inflammation du local de charge pourrait éventuellement conduire à un incendie des cellules adjacentes.

### 5.2.5 *Pollution eau/sol*

La pollution des eaux et du sol est liée aux risques de déversement accidentel mais aussi et surtout aux eaux d'extinction en cas d'incendie.

La prévention des scénarios de déversement accidentel s'appuie essentiellement sur des mesures organisationnelles et sur la formation des caristes.

La maîtrise des conséquences des déversements accidentels s'appuie notamment sur :

- Le caractère imperméable des sols du bâtiment et des surfaces extérieures permettant d'éviter les infiltrations de polluants dans le sol.
- La présence de rétention de volume adapté au niveau des batteries.
- L'isolement possible par la fermeture de la vanne de barrage automatique et manuelle située sur le réseau de collecte des eaux pluviales de voirie permettant de confiner une éventuelle pollution sur le site.

Concernant spécifiquement les eaux d'extinction, celles-ci seront susceptibles de constituer une charge polluante importante pour le milieu extérieur du fait :

- Des matières stockées au sein du bâtiment.
- De leurs produits de dégradation thermique qui pourront se solubiliser dans les eaux d'extinction.
- Des matières imbrûlées qui pourront être entraînées dans les eaux d'extinction.

La rétention des eaux d'extinction incendie sera assurée :

- dans les quais (volume retenu 1 557 m<sup>3</sup>) pour un linéaire de quais de 660 m sans que la hauteur de stockage au point le plus haut ne dépasse 20 cm,
- dans les réseaux pour 260 m<sup>3</sup> (1 320 mètres linéaires de canalisation diamètre 500)
- pour le reste (878 m<sup>3</sup>) dans le bassin d'orage étanche des eaux pluviales de voiries.

En cas de sinistre, les eaux stockées seront analysées. Si elles ne présentent pas de pollution, elles seront rejetées dans le réseau des eaux pluviales, si elles sont polluées, elles seront éliminées comme DIS par une société spécialisée.

Une vanne de barrage sera implantée en aval du bassin d'orage étanche des eaux pluviales de voiries de 5 470 m<sup>3</sup>. Il a été dimensionné pour pouvoir retenir l'orage vingtennal sur les voiries et les toitures (4 590 m<sup>3</sup>) et la part des eaux d'extinction incendie non retenue dans les quais et les réseaux (878 m<sup>3</sup>).

En cas d'incendie, cette vanne asservie au déclenchement du sprinkler sera automatiquement fermée afin de retenir les eaux d'extinction dans ce bassin, les réseaux et les quais de l'établissement.

### 5.2.6 *Conclusion*

Dans le cadre de l'analyse, les scénarios du type incendie sont les scénarios identifiés en plus grand nombre. Ceci se justifie d'une part par la présence de matières combustibles dans la quasi-totalité des systèmes étudiés, et d'autre part par la diversité des sources d'allumage susceptibles d'être à l'origine de ce type de scénario d'accident.

La dispersion de produits de combustion lui est intrinsèquement liée.

Il apparaît donc indispensable d'étudier les effets thermiques et toxiques des scénarios d'incendie pour le stockage de produits courants.

Le scénario d'explosion d'une chaudière dans la chaufferie a été étudié.  
 Ont également été identifiés les scénarios de fuite d'ammoniac dus à une rupture de canalisation ou à une fuite de bouteille basse pression dans la salle des machines.  
 Il apparaît donc indispensable d'étudier les effets de dispersion de ces scénarios de fuite d'ammoniac.

### 5.3 Application au site – Evènements initiateurs de l'incendie

L'accidentologie nous a montré que le principal phénomène dangereux dans un entrepôt est l'incendie.

Un incendie peut avoir différentes origines qui sont listées ci-après :

#### 5.3.1 Les risques naturels

- **Les chutes de neige**

La structure sera calculée selon les règles en vigueur (DTU neige et vent).

- **Les vents violents**

La structure sera calculée selon les règles en vigueur (DTU neige et vent).

La rose des vents de la station météorologique de Brétigny sur Orge (station la plus proche située à une vingtaine de kilomètres) fait apparaître une prédominance des vents sur un axe Nord-ouest/Sud-est.

Les statistiques établies par METEOFRANCE pour la station de Brétigny-sur-Orge sur la période 1971 à 2000 donnent les résultats suivants :

Vitesse moyennée du vent sur 10 min	4,1 m/s.
Nombre moyen de jour de vent fort (vitesse $\geq 16$ m/s)	51,9 jours
Nombre moyen de jour de vent très fort (vitesse $\geq 28$ m/s)	1,7 jour

Il est à noter la vitesse de vent maximale a été atteinte le 26 décembre 1999 avec 44 m/s.

- **Les inondations**

Sur le territoire, il existe deux types d'inondations possibles.

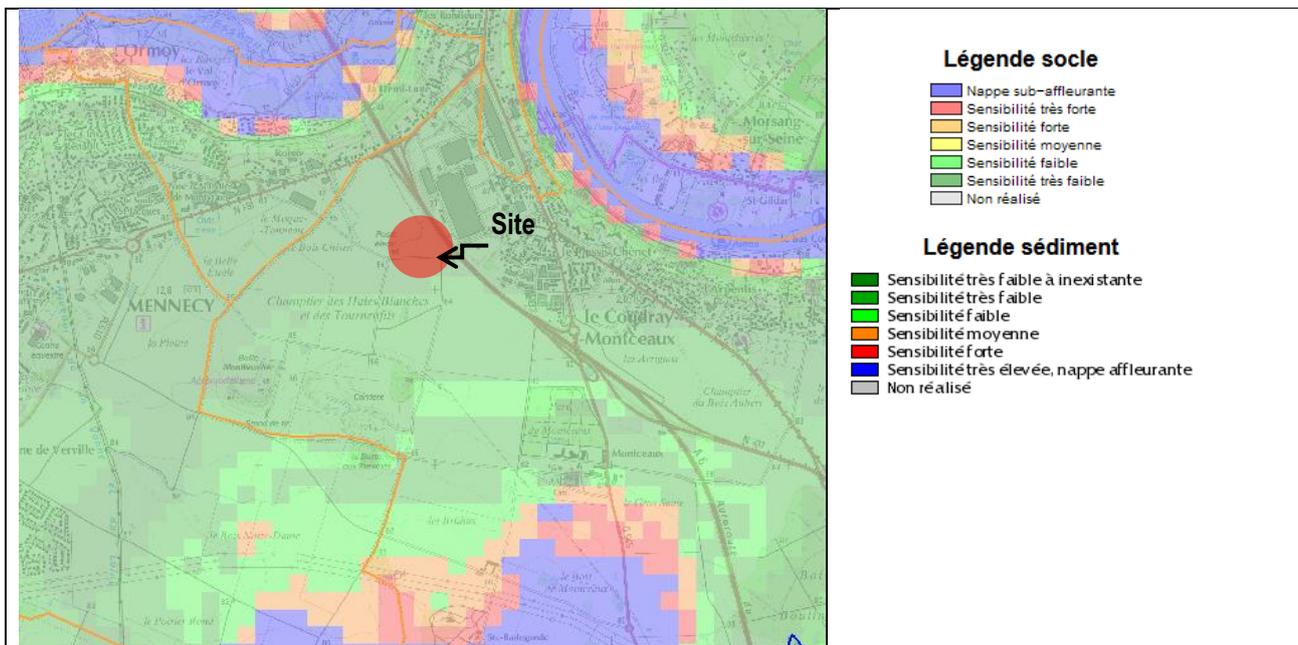
Le premier aléa concerne une crue de la Seine. D'après la carte du plan de prévention des risques naturels d'inondation vallée de la Seine dans l'Essonne, le site d'implantation du projet n'est pas situé en zone inondable et n'est donc pas dans une zone impactée par les crues de la Seine.

Le second aléa concerne une remontée de nappe

Deux grands ensembles aquifères sont présents dans le secteur :

- La nappe de l'Albien,
- La nappe de la Beauce

Ces deux nappes profondes sont isolées de la nappe perchée pouvant être rencontrée entre 1,1 et 3,2 mètres de profondeur par une couche d'argile.



Source : BRGM

La carte ci-dessus nous indique que le terrain d’assiette du projet est situé dans une zone à sensibilité faible concernant le risque de remontée de nappe.

- **Le séisme**

La carte des zones de sismicité en vigueur depuis le 1er mai 2011 indique que la commune du Coudray-Montceaux est classée en zone de sismicité très faible (zone 1).  
Ce risque ne sera pas pris en compte lors de la conception du bâtiment.

- **La foudre**

La foudre vient en 4<sup>ème</sup> position des causes d’incendie : l’impact de la foudre peut initier une inflammation d’un mélange inflammable et également entraîner une surtension au niveau d’appareillages électriques.

La foudre est un phénomène physique. C’est une décharge électrique aérienne résultant d’un phénomène atmosphérique complexe, elle est accompagnée d’éclairs (manifestation lumineuse) et de tonnerre (manifestation sonore).

Les éclairs dont la décharge se produit du nuage vers le sol sont responsables de nombreux dégâts et pertes causés à l’environnement, aux constructions et aux hommes.

Un coup de foudre direct peut entraîner la destruction du bâtiment et des équipements par incendie ou explosion, la détérioration des équipements électriques. Un réseau de terre dimensionné pour évacuer le courant sera installé en fond de fouille et tous les poteaux y seront reliés.

La foudre est un phénomène naturel et à ce titre, il est difficile de la maîtriser totalement.

Le bâtiment sera équipé d’une installation de protection contre les effets directs et indirects de la foudre.

### 5.3.2 **Les installations voisines – Les risques technologiques**

Le site ne se situe ni dans un périmètre SEVESO seuil haut, ni dans un périmètre de risque technologique.

Le terrain d'assiette du projet est délimité :

- Au Nord par le chemin du Bois de l'écu, un site d'exploitation RTE, le bâtiment de logistique NEXIMMO 50,
- A l'Est, par un bâtiment de messagerie en projet qui viendra compléter l'extension de la ZAC des Haies Blanches puis par des terres agricoles et enfin l'autoroute A6,
- A l'Ouest, par des bâtiments de logistique occupés par les sociétés XPO et KN et un bâtiment en cours de commercialisation,
- Au Sud par une carrière en exploitation.

#### Les bâtiments voisins

La consultation de la base des installations classées nous donne la liste des installations soumises à un arrêté préfectoral sur la commune du Coudray-Montceaux. Elles sont au nombre de 5 :

Nom établissement	Code postal	Commune	Régime	Statut Seveso
ARGAN	91830	LE COUDRAY MONTCEAUX	Autorisation	Non Seveso
MEL Le Coudray-Montceaux	91830	LE COUDRAY MONTCEAUX	Autorisation	Non Seveso
PANHARD Développement	91830	LE COUDRAY MONTCEAUX	Autorisation	Non Seveso
SIREDOM - Déchèterie du Coudray-Montceau	91830	LE COUDRAY MONTCEAUX	Enregistrement	Non Seveso
XPO SUPPLY CHAIN FRANCE (ND Bât. A)	91830	LE COUDRAY MONTCEAUX	Autorisation	Non Seveso

- Concernant les établissements ARGAN, PANHARD DEVELOPPEMENT et XPO SUPPLY CHAIN France, il s'agit des entrepôts A, B et C mentionnés page 4. Pour ces bâtiments, les effets létaux sont contenus dans les limites de propriété, il n'y a donc pas d'effet domino possible sur le bâtiment objet du présent dossier.
- Le dossier de demande d'autorisation d'exploiter de l'établissement voisin NEXIMMO 50 est en cours d'instruction mais nous avons pu vérifier que pour cet établissement, les effets létaux sont contenus dans les limites de propriété, il n'y a donc pas d'effet domino possible sur le bâtiment objet du présent dossier.
- Concernant la carrière à ciel ouvert MEL, elle se situe à 1,2 km au Sud du projet il n'y a donc pas d'impact possible pour notre bâtiment.
- Enfin, le projet de déchèterie sera à plus de 2 km du projet, au-delà de l'autoroute. Il n'y a donc pas d'impact possible pour notre bâtiment.

Les établissements voisins les plus proches du site ne présentent pas de dangers pour les personnes ni pour les biens.

Ils ne présentent donc pas de danger pour l'établissement objet du présent dossier.

#### Les infrastructures

Le site se situe à plus d'1,5 km de la voie ferrée. En cas d'accident sur la ligne, le bâtiment ne serait pas affecté.

Le site se situe par contre à proximité de l'autoroute A6. Le bâtiment sera implanté dans le respect des distances d'éloignement par rapport à l'autoroute imposé par le PLU.

Le règlement du zonage AUa impose en effet que les constructions soient implantées :

- à 15 m par rapport à la limite d'emprise de l'A6
- à 75 m à l'axe de la RD191
- avec un retrait minimal de 8 m à l'alignement des autres voies

L'implantation du bâtiment PANHARD DEVELOPPEMENT objet du présent dossier respecte une marge de recul :

- de 210 m par rapport à la limite d'emprise de l'A6
- de 625 m environ par rapport à l'axe de la RD191
- de 25 m par rapport à la limite d'emprise de la Rue du Bois de l'Ecu
- de 36 m par rapport à la limite d'emprise de l'Avenue de Tournenfilis
- de 90 m par rapport à la limite d'emprise du Chemin des Mulets

Pour un incendie de camion (dimensions 14 m x 2,5 m), les effets létaux sont à une distance de 10 mètres.

Un incendie de véhicules sur l'autoroute ne pourra pas se transmettre au bâtiment PANHARD DEVELOPPEMENT compte tenu des distances d'éloignement.

On peut redouter le BLEVE d'un camion-citerne sur l'autoroute A6 au droit du bâtiment.

Le tableau suivant est issu de la fiche n°4 de la circulaire du 10/05/10 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

Il présente les distances d'effets thermiques des BLEVE de citernes mobiles, calculées pour des réservoirs pleins (remplis à 85% à la température ambiante) avec le modèle TRC.

<b>PROPANE ou BUTANE, réservoir rempli à 85 %</b>				
<b>Réservoirs mobiles</b>	<b>Pression d'éclatement</b>	<b>600 (kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>.s</b>	<b>1.000 (kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>.s</b>	<b>1.800 (kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>.s</b>
Wagon citerne 119 m <sup>3</sup>	27 bar	320	250	190
Wagon citerne 90 m <sup>3</sup>	27 bar	270	220	160
Camion citerne 20 t	25 bar	210	170	120
Camion citerne 9 t	25 bar	150	120	80
Camion citerne 6 t	25 bar	120	100	70

Dans le cas le plus défavorable, le BLEVE d'un camion citerne de 90 m<sup>3</sup> engendre un flux thermique de 600 kW/m<sup>2</sup>4/3.s (seuil des effets irréversibles (SEI)) perceptible jusqu'à 210 mètres de la citerne. Cette distance correspond à la distance minimale entre la façade du bâtiment et l'autoroute A6.

Le BLEVE n'est en revanche pas susceptible d'entraîner de dommages sur le bâtiment.

### 5.3.3 *La malveillance*

Nous n'avons pas retenu l'acte de malveillance comme événement initiateur d'une inflammation. Cependant, la malveillance constitue la deuxième cause d'incendie dont les événements initiateurs sont connus (12% des cas d'incendie recensés). Les études accidentologiques indiquent que la malveillance semble être à l'origine d'une majorité de cas dont les causes ne peuvent être déterminées de façon définitive.

Ainsi, bien que l'installation ne représente pas une cible particulière au point d'y porter atteinte, le risque existe. Le site sera entouré d'une clôture périphérique.

Le bâtiment sera gardienné par télésurveillance 24h/24 et 7j/7. L'ensemble des alarmes de l'établissement sera reporté en télésurveillance.

### 5.3.4 *L'origine humaine*

La défaillance humaine constitue la 3<sup>ème</sup> cause de déclenchement d'un incendie. Les travaux par point chaud et l'inflammation par une cigarette ont donc été retenus comme événements initiateurs. Des mesures préventives seront mises en place dans le bâtiment :

- Il sera strictement interdit de fumer à l'intérieur des zones d'entreposage ainsi que dans les bureaux, sauf dans les zones dédiées,
- Le personnel sera formé aux risques,
- L'obtention préalable d'un permis feu sera obligatoire pour tous les travaux par points chauds.

### 5.3.5 *Les équipements*

- **L'installation électrique**

L'ensemble de l'installation électrique sera conforme aux normes en vigueur.

Elle sera contrôlée annuellement par un organisme agréé.

Tous les appareils comportant des masses métalliques seront mis à la terre et reliés par des liaisons équipotentielles. Les circuits seront protégés par des disjoncteurs.

Un interrupteur général placé de façon parfaitement visible dans chaque cellule permettra de couper l'alimentation électrique. Compte tenu de l'omniprésence d'équipements électriques dans le bâtiment, nous avons considéré qu'ils pouvaient être source potentielle d'inflammation.

- **Le local de charge des batteries**

Les procédés mis en œuvre dans le local de charge des batteries peuvent être à l'origine d'un incendie ou d'une explosion.

Pour ce local technique présentant un risque d'explosion de gaz (hydrogène), les mesures de protection suivantes seront mises en place :

- Ventilation des locaux,
- Parois coupe-feu,
- Asservissement de l'activité de charge à la ventilation mécanique,

En cas de déversement accidentel d'acide, une rétention des acides est prévue dans le local de charge.

Le local de charge des batteries sera également équipé d'un rince œil, pour faire face aux éventuels cas de projection d'acide sur le personnel.

Nous avons considéré l'éventuelle initiation d'un incendie par le local de charge.

- **La production de froid**

Le procédé de production de froid mis en œuvre dans la salle des machines peut être à l'origine d'un rejet accidentel d'ammoniac.

Pour ce local technique présentant un risque toxique et d'explosion de gaz (ammoniac), les mesures de protection suivantes ont été envisagées :

- ventilation permanente du local,
- parois coupe-feu,
- détection automatique d'ammoniac deux seuils permettant la mise en sécurité des installations (coupure de l'installation électrique non ADF au second seuil),
- Mise en route d'un extracteur de secours ADF dès le déclenchement du premier seuil de la détection d'ammoniac,
- Mise en place d'un éclairage d'urgence ATEX permettant au personnel d'évacuer la salle des machines en cas de fuite NH<sub>3</sub>
- Mise en place d'un voyant visible depuis l'extérieur de la salle des machines indiquant une fuite d'ammoniac (au-dessus des accès,
- Concernant les alarmes, le premier seuil de détection ammoniac déclenchera une alarme sonore et visuelle, tandis que le second seuil déclenchera en plus une alarme audible en tous point de l'établissement.
- 

En cas de déversement accidentel d'ammoniac, une rétention est prévue dans la salle des machines. La rétention sera dimensionnée afin que son volume soit supérieur au volume d'ammoniac présent dans l'installation.

La capacité maximale d'ammoniac dans la salle des machines sera inférieure à 1,5 tonnes. Sur la base d'une masse volumique de la phase liquide de l'ammoniac égale à 682 kg/m<sup>3</sup>, ces 1,5 tonnes représentent un volume de 2,2 m<sup>3</sup>.

La dalle de la salle des machines sera décaissée d'un centimètre pour permettre la rétention de ces 2,2 m<sup>3</sup> (surface de la salle des machines = 328 m<sup>2</sup>).

Compte tenu de son implantation dans le bâtiment, nous avons considéré l'éventuelle initiation d'un incendie par la salle des machines.

Concernant le risque d'ouverture de la porte de la salle des machines, ce scénario n'a pas été retenu dans les modélisations pour deux raisons :

- La salle des machines sera fermée à clef et uniquement accessible à un personnel formé. Il n'existe donc pas de risque d'ouverture accidentelle de la porte.
- Les débits des extracteurs seront suffisamment importants pour mettre la salle en dépression. L'ouverture de la porte n'empêcherait ainsi pas l'extraction de l'ammoniac par les extracteurs en tortue.

### 5.3.6 **L'activité**

Il n'existe pas de risque spécifique dû à la nature de l'activité : la logistique.

Seuls des produits emballés seront manipulés, aucun stockage de type vrac ne sera effectué. Les produits stockés seront placés sur des palettes qui seront rangées dans les zones d'entreposage par des chariots élévateurs.

Compte tenu des nombreux allers retours des caristes sur le site, nous avons considéré le risque de manutention comme source d'inflammation.

**5.3.7 Les produits**

Le bâtiment est destiné à accueillir une activité d'entreposage et de logistique, s'appliquant à des marchandises diverses qui sont classées dans les rubriques 1510, 1530, 1532, 2662, 2663-1, 2663-2, 1511, 4320, 4321, 4718, 4331, 1436, 4510, 4511, 4755 et 4741.

A tous ces produits, il faut associer les emballages habituels : plastiques, carton et papier.

Les produits seront stockés par catégorie et selon les règles de compatibilité indiquées sur les FDS.

Les principales incompatibilités concernent :

- les acides et les bases ;
- les combustibles ou inflammables et les comburants.

Lorsque des produits chimiques différents sont stockés ensemble, il est nécessaire de s'assurer qu'ils ne puissent pas entrer en réaction les uns avec les autres afin d'éviter un « sur-accident » en cas d'épandage. Ainsi, plusieurs étapes doivent être respectées :

- examen de la fiche de données de sécurité ;
- respect des règles de base selon l'étiquetage des risques (cf. tableau ci-après) ;
- prise en compte de la famille chimique des produits (par exemple : acides et bases ne doivent pas être stockés ensemble).

Les règles de compatibilités sont présentées dans la grille ci-dessous :

									
	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Red	Green	Red	Green	Red	Red	Orange	Red	Red
	Red	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Green	Red
	Red	Green	Green	Green	Green	Orange	Orange	Green	Red
	Red	Red	Green	Green	Green	Red	Orange	Green	Red
	Red	Red	Red	Orange	Red	Green	Red	Red	Orange
	Red	Orange	Red	Orange	Orange	Red	Green	Orange	Orange

	Red	Red	Green	Green	Green	Red	Orange	Green	Red
	Red	Red	Red	Red	Red	Orange	Orange	Red	Green

- peuvent être stockés ensemble
- ne doivent être stockés ensemble que si certaines dispositions particulières sont appliquées
- ne doivent pas être stockés ensemble

Les produits incompatibles ne seront pas stockés à proximité immédiate les uns des autres. Ces règles seront prises en compte dans l'organisation du stockage de l'entrepôt PANHARD DEVELOPPEMENT.

### 5.3.8 Conclusion

L'inventaire des risques et l'accidentologie nous ont permis de retenir six sources d'inflammation possibles :

- La foudre comme risque naturel,
- La négligence humaine (dont imprudence fumeur) car c'est un facteur humain difficilement maîtrisable,
- Les travaux par point chaud du fait de la nécessité de faire des travaux au cours de la durée de vie du site,
- Une étincelle électrique, de par la présence d'équipements électriques sur le site,
- Le risque lié à la manutention, compte tenu des nombreux allers-retours effectués par les caristes au cours d'une journée de travail dans l'entrepôt,
- Les effets domino liés au local de charge et à la salle des machines.

Nous n'avons pas retenu l'événement « actes de malveillance » dans l'étude de dangers. Cependant, la malveillance est une des causes principales d'incendie dans les entrepôts et les mesures visant à éviter l'intrusion sur le site ont été étudiées.

## 5.4 Application au site – Evènements initiateurs de la fuite d'ammoniac

En ce qui concerne la production de froid utilisant l'ammoniac comme fluide frigorigène, l'accidentologie nous a montré que le principal phénomène dangereux est la fuite d'ammoniac.

Une fuite d'ammoniac peut avoir différentes origines qui sont listées ci-après :

### 5.4.1 Les défaillances matérielles

Les défaillances matérielles concernent des fuites sur des brides, des fissures ou des ruptures de canalisations à la suite du colmatage d'un circuit, de chocs, de vibrations, d'usures, de fatigues ou de corrosions, des ruptures de vannes ou défaillances d'électrovannes et de soupapes, des défaillances de pompes et compresseurs ou autres équipements lourds, des dysfonctionnements électriques et matériels inadaptés les défaillances de matériels de mesure/régulation ou de surveillance.

L'ensemble de l'installation de production de froid sera conforme aux normes en vigueur, elle fera l'objet d'une maintenance préventive visant à prévenir les dysfonctionnements. Sera notamment prévue une inspection de l'état extérieur des tuyauteries et des équipements.

L'installation de production de froid sera soumise à la réglementation des équipements sous pression.

Compte tenu de la forte occurrence d'accident de type « fuite d'ammoniac » dû à une défaillance matérielle nous avons considéré une défaillance matérielle (rupture du robinet d'une bonbonne ou rupture sur une canalisation HP) comme étant à l'origine d'une fuite d'ammoniac.

#### **5.4.2 Les défaillances humaines et organisationnelles**

Les défaillances humaines et organisationnelles concernent :

- Les défauts de maîtrise qui résultent d'une variation brutale de régime dans l'exploitation de l'installation entraînant l'ouverture d'une soupape ou l'éclatement d'un équipement et l'émission d'ammoniac, de débordements de capacités,
- Les défaillances humaines qui concernent des erreurs de représentation de l'état de l'installation, des mauvais positionnements de vannes, des fausses manœuvres (purges, etc.) et les négligences notamment lors de travaux,
- Les anomalies d'organisation qui rassemblent les interventions de maintenance et les tests insuffisants, mal préparés ou mal coordonnés, le recours à des consignes inadaptées, ainsi que l'intervention de sous-traitants en l'absence de l'exploitant,
- Les interventions insuffisantes ou inadaptées concernant le traitement immédiat d'un accident ou de ses suites.

L'installation de production de froid de l'établissement fera l'objet d'une maintenance régulière de la part d'une société spécialisée. La salle des machines ne sera accessible qu'au personnel autorisé.

#### **5.4.3 Conclusions**

L'inventaire des risques et l'analyse des risques nous ont permis de retenir une cause de fuite d'ammoniac : la défaillance mécanique du matériel (fuite, rupture de soupape, etc...). Cette défaillance mécanique peut avoir entre autres origines une défaillance humaine ou organisationnelle ayant entraîné un fonctionnement de l'installation en mode dégradé.

---

### **5.5 Nœuds papillons et fonctions de sécurité**

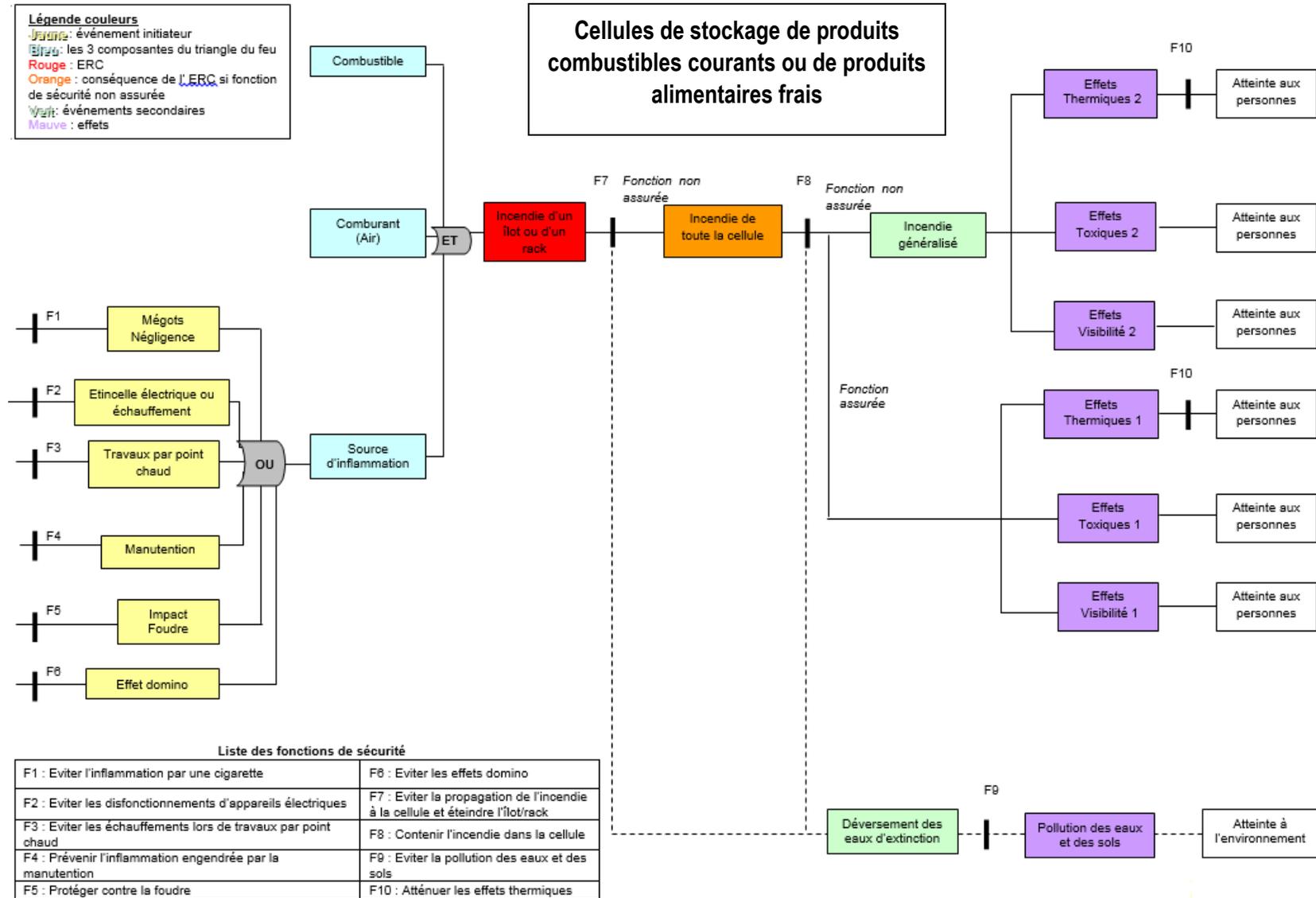
Les fonctions de sécurité ont pour but la réduction de la probabilité d'occurrence et/ou des effets et conséquences d'un événement non souhaité. Les fonctions de sécurité peuvent être assurées à partir de mesures de maîtrise des risques techniques, organisationnelles ou la combinaison des deux.

Sur les schémas nœud papillon ci-après apparaissent :

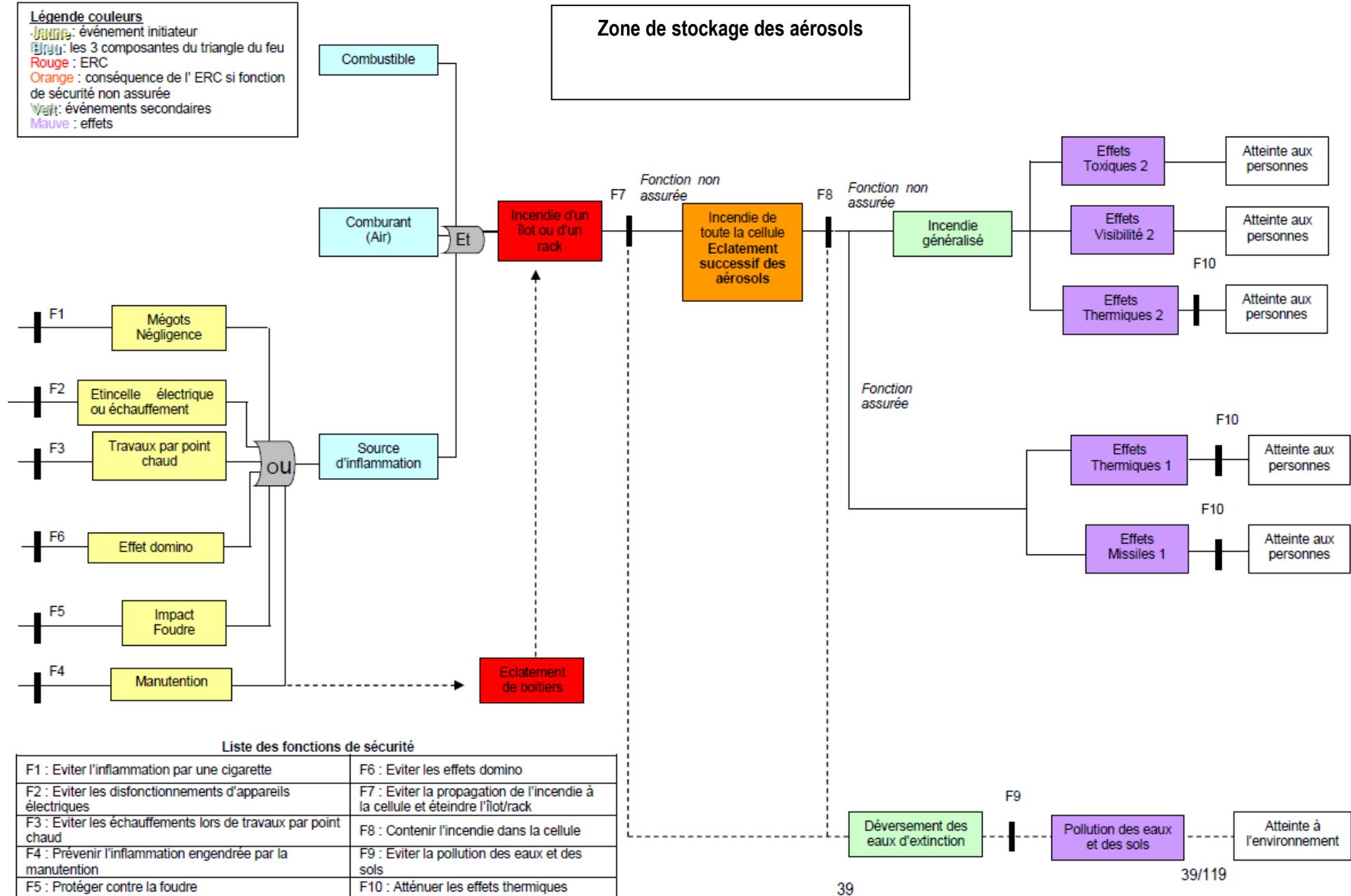
- L'événement redouté central (ERC), au centre de l'enchaînement accidentel. Pour un entrepôt, il s'agit de l'incendie d'un îlot de stockage.
- Les événements initiateurs, qui constituent une cause du déclenchement de l'ERC. Ils sont situés en amont, à l'extrémité gauche du schéma.
- Les phénomènes dangereux, source potentielle de dommages.

- Les effets des phénomènes dangereux (thermique, toxique...).
- Les fonctions de sécurité identifiées.

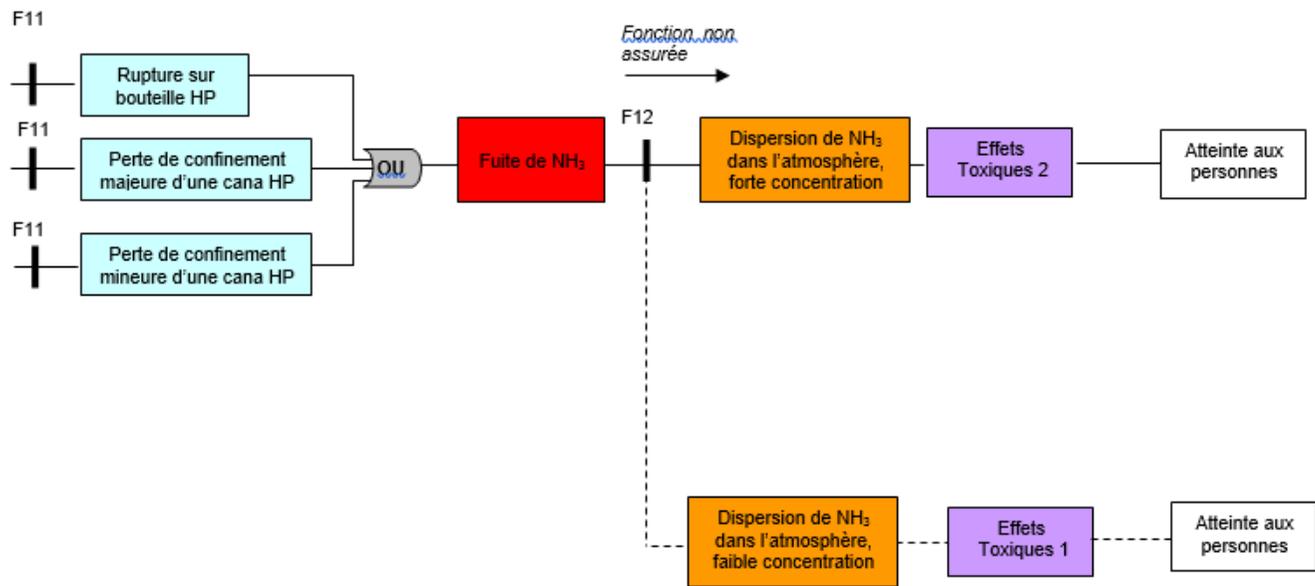
**Légende couleurs**  
 Jaune: événement initiateur  
 Bleu: les 3 composantes du triangle du feu  
 Rouge: ERC  
 Orange: conséquence de l'ERC si fonction de sécurité non assurée  
 Vert: événements secondaires  
 Mauve: effets



**Légende couleurs**  
 Jaune : événement initiateur  
 Bleu : les 3 composantes du triangle du feu  
 Rouge : ERC  
 Orange : conséquence de l' ERC si fonction de sécurité non assurée  
 Vert : événements secondaires  
 Mauve : effets



Salle des machines



**Légende couleurs**

- : événement initiateur
- : ERC
- : conséquence de l'ERC si fonction de sécurité non assurée
- : événements secondaires
- : effets

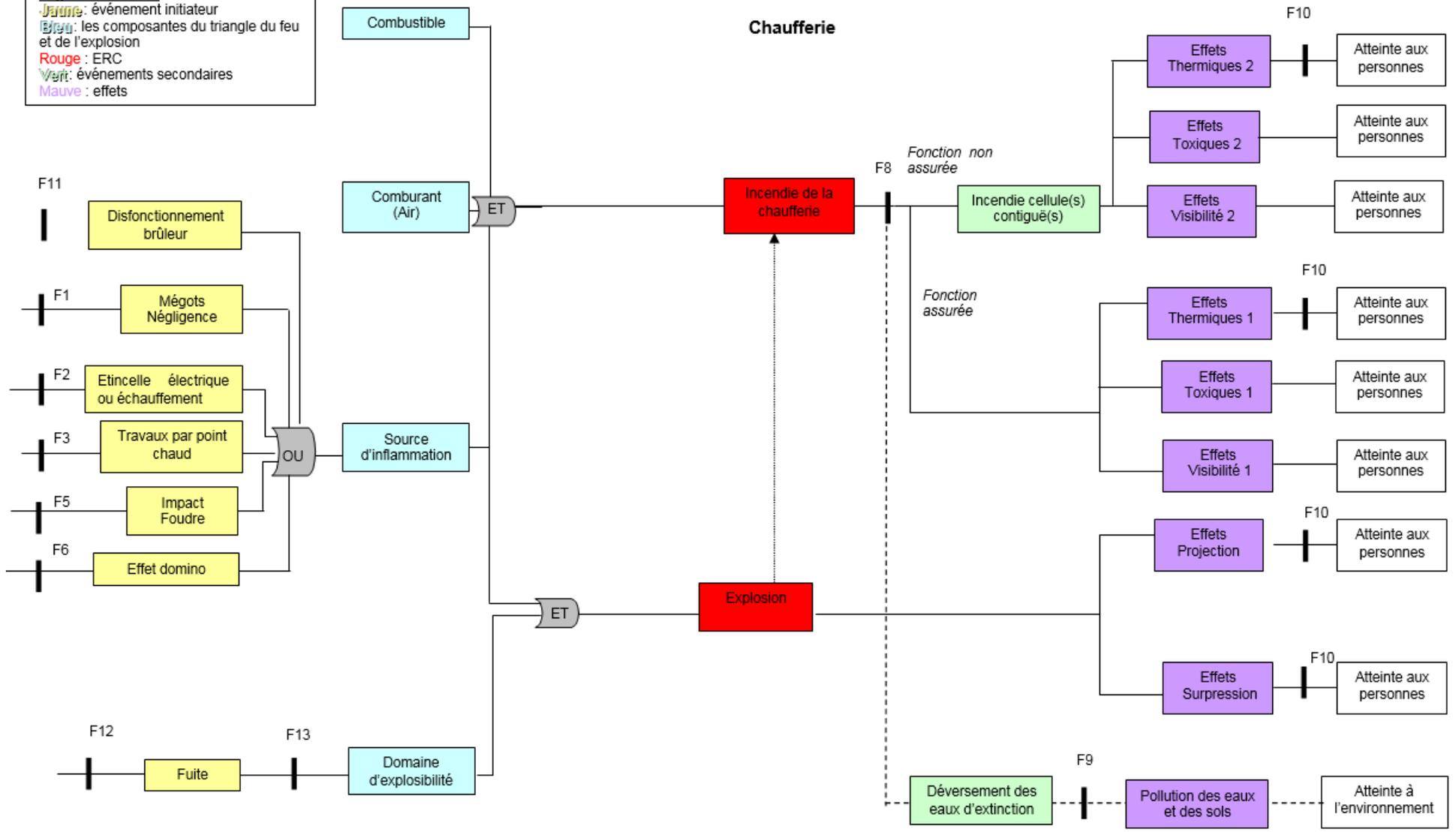
**Liste des fonctions de sécurité**

F11 : Eviter une fuite d'ammoniac
F12 : Eviter l'accumulation d'ammoniac et favoriser sa dispersion

# ETUDE DE DANGERS

# REVISION MARS 2018

**Légende couleurs**  
**Jaune** : événement initiateur  
**Vert** : les composantes du triangle du feu et de l'explosion  
**Rouge** : ERC  
**Vert** : événements secondaires  
**Mauve** : effets



**Cellule de stockage**

**Fonctions de sécurité**

F1 : Eviter l'inflammation par une cigarette
F2 : Eviter les dysfonctionnements d'appareils électriques
F3 : Eviter les échauffements lors de travaux par point chaud
F4 : Prévenir l'inflammation engendrée par la manutention
F5 : Protéger contre la foudre
F6 : Eviter les effets domino
F7 : Eviter la propagation de l'incendie à la cellule et éteindre l'îlot/rack
F8 : Contenir l'incendie dans la cellule
F9 : Eviter la pollution des eaux et des sols
F10 : Atténuer les effets thermiques

Dispositifs de sécurité par fonction	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Hauteur de stockage adaptée							x			
Interdiction de fumer	x									
Matériel électrique conforme et entretenu		x			x					
Interrupteur coupure énergie		x								
Permis intervention			x							
Permis feu			x							
Chariots entretenus et formation des caristes				x						
Protection foudre					x					
Nettoyage régulier des abords du bâtiment						x				
Eloignement par rapport aux activités extérieures						x				
Conformité aux arrêtés de prescriptions générales						x				
Ecrans thermiques (murs)						x				x
Intervention du personnel avec extincteur							x			
Intervention du personnel avec RIA							x			
Système de désenfumage							x	x		
Eloignement des racks entre eux							x			
Extinction automatique faisant office de détection							x			
Intervention du personnel avec RIA/extincteurs sur les quais							x			
Intervention des services de secours							x	x		x
Compartimentage (murs et PCF 2 h)								x		
Collecte et rétention des eaux incendie									x	
Résistance mécanique des murs des cellules								x		
Grillage de la zone aérosols							x	x		

## Salle des machines

**Fonctions de sécurité**

F11 : Eviter une fuite d'ammoniac
F12 : Eviter l'accumulation d'ammoniac et favoriser sa dispersion
F9 : Eviter la pollution des eaux et des sols

**Dispositif de sécurité par fonction**

	F11	F12	F9
Protection anti- corrosion	x		
Equipement conforme et entretenu	x		
Contrôle régulier étanchéité vannes et joints	x		
Protection contre les agressions mécaniques	x		
Formation du personnel et consignes	x	x	
Conformité aux arrêtés de prescriptions générales	x	x	
Détection ammoniac 2 seuils (2000 et 4000 ppm) avec asservissement de l'extraction mécanique d'air de secours au premier seuil puis mise en sécurité au deuxième seuil (arrêt des compresseurs et des pompes)		x	
Commande extérieure de la ventilation mécanique		x	
Equipements de protection individuelle pour intervention rapide sur fuite		x	
Hauteur de cheminée adaptée		x	
Rétention interne			x
Collecte et rétention des eaux incendie			x

**Chaufferie**

**Fonctions de sécurité**

F1 : Eviter l'inflammation par une cigarette
F2 : Eviter les disfonctionnements d'appareils électriques
F3 : Eviter les échauffements lors de travaux par point chaud
F5 : Protéger contre la foudre
F6 : Eviter les effets domino
F8 : Contenir l'incendie
F9 : Eviter la pollution des eaux et des sols
F10 : Atténuer les effets thermiques et de surpression
F11 : Eviter l'inflammation par le brûleur
F12 : Eviter les fuites de gaz
F13 : Eviter une accumulation de gaz

Dispositif de sécurité par fonction	F1	F2	F3	F5	F6	F8	F9	F10	F10	F12	F13
Interdiction de fumer	x										
Matériel électrique conforme et entretenu		x		x							
Eclairage non gouttant		x									
Interrupteur coupure énergie		x									
Permis intervention			x							x	
Permis feu			x								
Protection foudre				x							
Nettoyage régulier des abords de bâtiments					x						
Eloignement par rapport aux activités extérieures					x						
Conformité aux arrêtés de prescriptions générales					x						
Ecrans thermiques (murs)					x			x			
Intervention du personnel avec extincteur						x					
Système de désenfumage						x					
Intervention des services de secours						x					
Compartimentage (murs et PCF 2 h)						x					
Collecte et rétention des eaux incendie							x				
Capot de protection									x		
Brûleurs à démarrage séquentiel									x		
Protection contre les agressions mécaniques										x	
Contrôle régulier étanchéité										x	
Ventilation											x
Vanne de coupure manuelle gaz											x
2 vannes indépendantes et redondantes de coupure gaz assujetties chacune à un pressostat et un détecteur gaz											x
Système de détection gaz permettant en cas de fuite de couper automatiquement l'alimentation électrique et l'arrivée en combustible											x
Alimentation gaz coupée automatiquement en cas de variations de plus de 10% de la pression de gaz aux postes de détente										x	
Alarme défaut											x

## 5.6 Mesures de maîtrise des risques et dispositifs de sécurité par fonction

---

Les mesures de maîtrise des risques sont un ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité.

Une mesure de maîtrise des risques peut être assurée par un ou plusieurs dispositifs de sécurité.

### 5.6.1 **Fonction « éviter l'inflammation par une cigarette »**

Il sera strictement interdit de fumer sur le site. Des consignes de sécurité rappelant l'interdiction de fumer hors des zones dédiées seront affichées dans le bâtiment.

### 5.6.2 **Fonction « éviter les dysfonctionnements d'appareils électriques »**

Les installations électriques feront l'objet d'un contrôle annuel par une société spécialisée. Les rapports de contrôle seront conservés sur le site.

### 5.6.3 **Fonction « éviter les échauffements par point chaud »**

Des consignes de sécurité rappelant l'interdiction d'apporter une flamme nue seront affichées dans le bâtiment. Un permis feu sera obligatoire pour tout travail par point chaud.

### 5.6.4 **Fonction « prévenir l'inflammation liée à la manutention »**

Les engins de levage utilisés dans les cellules de stockage feront l'objet d'une maintenance semestrielle effectuée par le fournisseur.

### 5.6.5 **Fonction « protéger contre la foudre »**

Le bâtiment sera équipé d'une installation de protection contre les effets directs et indirects de la foudre. Cette installation sera conforme aux normes en vigueur et régulièrement contrôlée par une société agréée.

Une protection contre les effets directs de la foudre sera mise en œuvre au moyen de paratonnerres à dispositif d'amorçage (PDA).

Cette protection devra permettre l'écoulement et la dispersion dans le sol des courants de foudre tout en assurant :

- La limitation à des valeurs non dangereuses des différences de potentiel consécutives à ces courants,
- La limitation la meilleure possible des inductions magnétiques et électriques produites par ces courants dans les zones d'installations sensibles.

Le bâtiment sera équipé de dispositifs de capture composés chacun d'une pointe captatrice, d'un dispositif d'amorçage, d'une tige support et d'un mât rallonge.

Les conducteurs de descente des dispositifs de capture seront placés à l'extérieur du bâtiment. Ils seront constitués d'un rond massif en acier inoxydable de 10 mm de diamètre minimum.

Un joint de contrôle cuivre sera installé à 2 mètres environ du sol environ, il assurera la liaison du conducteur de descente à celui de la prise de terre.

Un compteur de foudre série (avec afficheur) sera placé au-dessus du joint de contrôle.

La protection contre les effets indirects sera assurée par un parafoudre de type 1 dans le TGBT, par un parafoudre de type 2 dans chaque armoire divisionnaire alimentant des équipements importants pour la sécurité.

#### **5.6.6 Fonction « éviter les effets dominos »**

L'incendie d'une cellule pourrait provenir éventuellement d'un départ de feu dans le local de charge ou dans la salle des machines.

- **Le local de charge**

Le local de charge des batteries de chariots élévateurs sera équipé d'une ventilation mécanique asservie à l'opération de charge des batteries.

Il sera isolé de la zone d'entreposage adjacente par un mur coupe-feu de degré 2 heures (REI 120) et une porte coupe-feu de degré 2 heures (EI 120), à fermeture automatique.

- **La salle des machines**

La salle des machines sera uniquement accessible depuis l'extérieur.

Elle sera isolée de la cellule de stockage adjacente par un mur en maçonnerie coupe-feu de degré deux heures (REI 120).

#### **5.6.7 Fonction « éviter la propagation à la cellule et éteindre l'îlot/rack »**

Le personnel sera régulièrement formé à l'utilisation des engins de lutte contre l'incendie (RIA et extincteurs). Des exercices incendie seront organisés annuellement pour les employés du site.

- **Les extincteurs**

Sauf dans la cellule 7 (stockage sous température négative), des extincteurs adaptés aux produits stockés seront répartis dans les cellules de stockage du bâtiment à raison d'un appareil pour 200 m<sup>2</sup> de surface.

Ces équipements seront contrôlés annuellement par une société spécialisée.

- **Les RIA**

Sauf dans la cellule 7 (stockage sous température négative), des Robinets d'incendie armés seront répartis dans les cellules de stockage de telle sorte que chaque point de l'entrepôt puisse être atteint par deux jets de lance.

Les vérifications périodiques de maintenance seront faites tous les ans et la révision tous les cinq ans.

- **L'installation sprinkler**

Sauf dans la cellule 7 (stockage sous température négative), le bâtiment sera équipé d'un réseau d'extinction automatique d'incendie de type sprinkler.

Les têtes sprinkler sont thermofusibles, elles s'activent à partir d'une certaine valeur de la température (par exemple 75°C). Elles peuvent donc être assimilées à un détecteur thermostatique. A la différence d'une détection incendie classique (détecteurs de fumée), le sprinklage présente l'avantage d'intervenir directement sur le feu tout en activant une alarme sur le site (sonore) et un report d'alarme (à la société de télésurveillance).

Pour l'entrepôt, l'installation comprendra :

- Un local équipé d'une motopompe autonome diesel en charge à démarrage automatique,
- Une cuve d'eau d'un volume de 800 m<sup>3</sup> pour les réseaux « extinction automatique et RIA »,
- Une pompe électrique maintenant l'installation à une pression statique constante de 10 bars environ,
- Une armoire d'alarme avec renvoi en télésurveillance.

« Le rôle d'une installation de sprinklers est de détecter un foyer d'incendie et de l'éteindre à ses débuts ou au moins de le contenir de façon que l'extinction puisse être menée à bien par des moyens de l'établissement protégé ou par les pompiers » (définition donnée par la règle R1 de l'APSA, compatible avec la norme NF S 61-210).

Ainsi, une installation fixe d'extinction automatique de type sprinkler, dimensionnée correctement et en état de marche détecte, signale et limite tout départ d'incendie (l'extension du feu est limitée et les alentours sont refroidis ce qui augmente la durée de stabilité des matériaux) et remplit ainsi le rôle d'une installation de détection automatique d'incendie.

La cellule 7 sera équipée d'une installation de détection de fumées haute sensibilité dont l'alarme sera reportée en télésurveillance.

#### **5.6.8 Fonction « contenir l'incendie dans la cellule »**

Pour contenir l'incendie dans une cellule, plusieurs mesures de maîtrise des risques sont nécessaires.

- **Le désenfumage associé au cantonnement**

Le désenfumage sera assuré à raison de 2% de surface utile d'exutoires de fumées dont l'ouverture sera assurée par une commande automatique à CO<sub>2</sub> et manuelle placée à proximité des issues de secours.

Les lanterneaux seront implantés à plus de 7 mètres des murs coupe-feu séparatifs.

Chaque cellule sera recoupée en partie supérieure par des écrans de cantonnement d'un mètre de hauteur, en matériaux M0 (bardage métallique) stables au feu de degré un quart d'heure.

Ces écrans formant des cantons de 1 650 m<sup>2</sup> maximum permettent d'éviter la diffusion latérale des fumées, en cas d'incendie.

- **Les Poteaux incendie pour intervention des Sapeurs-Pompiers**

La sécurité incendie du bâtiment sera assurée par neuf poteaux incendie implantés sur son pourtour. Les poteaux incendie seront disposés de manière à ce que chaque cellule soit défendue par un premier poteau situé à moins de 100 mètres d'une entrée de la surface considérée.

Ces poteaux seront alimentés par le réseau public d'adduction d'eau de la commune du Coudray-Montceaux.

Le débit disponible sur le site sera conforme au besoin de de 360 m<sup>3</sup>/h pendant 2 heures demandé par la D9.

- **Le compartimentage du bâtiment par des murs et portes coupe-feu 2 heures**

Le bâtiment sera divisé en cellules de moins de 7 500 m<sup>2</sup> par des murs coupe-feu de degré deux heures et des portes coupe-feu de degré 2 heures.

➤ **La structure**

La structure porteuse (poteaux, poutres) – sauf les pannes – présentera une stabilité au feu d'une heure (SF60).

➤ **La couverture**

La couverture sera réalisée à partir de bacs acier galvanisé avec une isolation en laine de roche et une étanchéité multicouche. L'ensemble de la toiture satisfait au classement au feu Broof t3.

➤ **Les murs coupe-feu**

Les cellules seront séparées entre elles par des murs coupe-feu de degré 2 heures (REI120). Les murs séparatifs dépasseront d'un mètre en toiture et seront prolongés latéralement aux murs extérieurs sur une largeur de 1 m ou de 0,5 m en saillie de la façade dans la continuité de la paroi. Ce compartimentage permet d'éviter une propagation de l'incendie d'une cellule vers la cellule voisine.

➤ **Les portes coupe-feu**

Chaque ouverture dans un mur REI 120 sera équipée d'une porte EI120.

Les portes coupe-feu coulissantes de degré 2 heures (EI 120) seront équipées de détecteurs autonomes de déclenchement situés en partie haute de l'entrepôt et assurant leur fermeture automatique en cas d'incendie. Les portes « piétons » seront équipées de ferme-portes.

### **5.6.9 Fonction « éviter la pollution des eaux et des sols »**

La rétention des eaux d'extinction incendie sera assurée :

- dans les quais (volume retenu 1 557 m<sup>3</sup>) pour un linéaire de quais de 660 m sans que la hauteur de stockage au point le plus haut ne dépasse 20 cm,
- dans les réseaux pour 260 m<sup>3</sup> (1 320 m linéaires de canalisation diamètre 500),
- pour le reste (878 m<sup>3</sup>) dans le bassin d'orage étanche des eaux pluviales.

La capacité de rétention de l'établissement est suffisamment dimensionnée pour retenir le volume d'eau d'extinction incendie déterminé avec la méthode D9A (Voir annexe n°4), soit 2 695 m<sup>3</sup>.

Une vanne de barrage sera implantée en aval du bassin d'orage étanche des eaux pluviales de voiries de 5 470 m<sup>3</sup>. En cas d'incendie, cette vanne sera fermée afin de retenir les eaux d'extinction dans ce bassin.

Le local de charge disposera également d'une rétention permettant de collecter les éventuelles fuites d'acide des batteries des chariots élévateurs.

### **5.6.10 Fonctions « éviter une fuite d'ammoniac »**

L'ensemble de l'installation sera conforme aux normes en vigueur.

L'installation fera l'objet d'une maintenance préventive et visant à prévenir les dysfonctionnements.

Cette gamme de maintenance pourra être par exemple :

Installations	Vérification	Périodicité
Compresseurs	Vérification des indicateurs de pression, des indicateurs de température, des niveaux d'huile	Toutes les 72 heures
	Inspection des parties mobiles Inspection des dispositifs de sécurité	Tous les 3 mois
	Alignement des courroies Inspection des boulons d'ancrage	Tous les 6 mois
	Changement d'huile Nettoyage et changement des filtres et des épurateurs Démontage des soupapes et des têtes de cylindre Toute autre activité prescrite par le fabricant	Tous les ans
Soupapes et dispositifs de détection	Examen et réparation des tiges et des corps des soupapes non protégées	Tous les 6 mois
	Vérification des éléments suivants : - tiges, corps et état extérieur des robinets d'arrêt - fonctionnement des soupapes de commande - nettoyage des filtres - dispositifs de sécurité	Tous les ans
	Vérification du fonctionnement des robinets d'arrêt	Tous les 4 ans
Soupapes de surpression	Inspection externe des lignes d'évent	Tous les 6 mois
	Examen complet des soupapes et remplacement au besoin	Tous les 5 ans
Tuyauterie	Inspection des supports et des isolants	Tous les ans
Vaisseaux et échangeurs de chaleur	Vérification de l'état extérieur, du niveau des liquides de transfert Drainage de l'huile	Toutes les semaines
	Inspection des serpentins et des échangeurs de chaleur	Tous les 6 mois
	Inspection de l'état extérieur, de l'isolant, de la tuyauterie	Tous les ans
	Essai de pression si nécessaire	Tous les 4 ans

#### 5.6.11 **Fonction « éviter l'accumulation d'ammoniac et favoriser sa dispersion »**

Un extracteur sera mis en place en toiture afin d'extraire du local la chaleur produite par l'installation. Le débit de cet extracteur est estimé à 30 000 m<sup>3</sup>/h. Il ne sera pas ATEX et sera mis hors tension en cas de détection d'ammoniac.

Cet extracteur thermique permet de conserver une température ambiante satisfaisante dans le local technique durant les périodes de fortes chaleurs.

Un second extracteur ADF sera mis en place en toiture, il sera asservi à la détection d'ammoniac mise en place dans la salle des machines. Son débit d'extraction sera égal à 7 000 m<sup>3</sup>/h.

Une alarme deux seuils permettra d'alerter le personnel. En cas de déclenchement du premier seuil (2 000 ppm), l'extracteur de secours sera mis en œuvre. En cas d'atteinte du deuxième seuil (4 000 ppm), l'installation sera mise en sécurité par coupure de l'alimentation électrique de la salle des machines (des compresseurs, des pompes et de l'ensemble des circuits électriques non ADF). Un éclairage d'urgence ATEX sera mis en place permettant au personnel d'évacuer la salle des machines en cas de fuite NH<sub>3</sub>.

Concernant les alarmes, le premier seuil de détection ammoniac doit déclencher une alarme sonore ou visuelle, tandis que le second seuil doit en plus déclencher une alarme audible en tous points de l'établissement.

L'ammoniac gazeux est explosif entre une concentration de 16% et 25%. Il n'existe donc pas de risque ATEX dans la salle des machines avant l'atteinte du second seuil de détection ammoniac.

Le personnel sera formé aux risques et à l'intervention et disposera des équipements de sécurité nécessaires (douche et rince œil de sécurité, masques, gants, ARI...).

Afin de favoriser la dispersion de l'ammoniac en cas de rejet accidentel, la hauteur de la cheminée sera dimensionnée à une hauteur suffisante.

#### **5.6.12 Lutte contre la malveillance**

L'accidentologie relative aux entrepôts montre qu'une majorité des incendies d'entrepôts est initiée par des actes de malveillance. Le site sera clôturé et gardienné par télésurveillance.

La société de télésurveillance disposera de l'ensemble des renvois d'alarme :

- Alarme du réseau d'extinction automatique,
- Alarmes techniques.

Parmi les équipements importants pour la sécurité listés dans le tableau ci-après, les mesures de maîtrise des risques retenues sont le sprinkler ainsi que les murs et portes coupe-feu 2 h.

Equipements important pour la sécurité								
Fonction de sécurité	EIPS	Efficacité	Temps de réponse à partir des premières fumées	Niveau de confiance	Mode de déclenchement Indépendance	Vérification périodique	Tolérance à la première défaillance	Gestion en mode dégradé
Eviter les sources d'inflammation	Paratonnerre	100%	Immédiat	2	Automatique	Visite annuelle		Limitation des activités à risque pendant la période d'orage effective
	Installations électriques	99%	Immédiat		Automatique	Visite annuelle - Thermographie	Disjoncteur différentiel	Coupeure des zones en défaut en attendant la remise en conformité
	Télésurveillance	99%	Immédiat		Automatique Dépend de l'électricité	Test de Boucle journalier	Report d'alarme au centre de télésurveillance en cas de défaut	Astreinte technique
Eviter la propagation de l'incendie à la cellule et éteindre l'îlot /rack	Extincteurs	90%	30 secondes		Manuel	Visite annuelle	/	RIA et sprinkler
	RIA	90%	1 minute		Manuel	Visite annuelle	/	Extincteurs et sprinkler
	Système sprinkler	95%	4 minutes	1 à 2	Automatique Dépend de DI, électricité, batteries, gasoil, eau	Test hebdomadaire de fonctionnement Visite semestrielle hydraulique Visite annuelle motopompe Visite triennale de l'installation complète	Moteur de secours Démarrage manuel des moteurs si coupure électrique Report d'alarme (fuite, défaut...) en télésurveillance pour intervention	Arrêt de travaux par point chaud – Gardiennage sur site + consignes particulières de vigilance et mise en place d'extincteurs supplémentaires  Détection incendie + extincteurs et RIA
Contenir l'incendie dans la cellule	Poteaux incendie	100%	5 minutes	1	Manuel	Visite annuelle	Camions citerne des SP	RIA et sprinkler
	Portes coupe feu	95%	2 minutes	2	Automatique Dépend de capteurs au niveau des portes, électricité	Vérification trimestrielle interne Vérification annuelle	Fermeture manuelle La porte se ferme par manque d'utilité	Action de vérification de fermeture effective via serre file en heure ouvrée et astreinte durant les périodes de fermeture
	Murs coupe feu	99%	Immédiat	2	Automatique		/	Mortier ou autre produit intumescent prêt à l'emploi sur site
	Exutoires de fumée	99%	1 minute	1	Eléments fusibles sous une certaine T°(93°C)	Visite annuelle	Manuel	
Eviter la pollution des eaux et des sols	Electrovannes	100%	1 s après déclenchement sprinkler 10 s pour fermeture	2	Automatique Dépend du déclenchement sprinkler	Test de bon fonctionnement trimestriel Contrôle étanchéité	Fermeture manuelle Les vannes se ferment par manque d'utilité	Consignes particulières de vigilance

## 6 ETUDE DE LA CINETIQUE

### 6.1 Cinétique de l'incendie

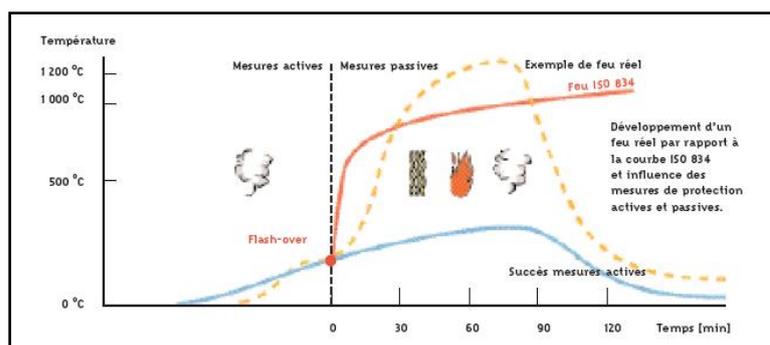
Ce chapitre est destiné à étudier l'adéquation des mesures de maîtrise des risques des fonctions de sécurité avec le déroulement prévisible d'un incendie.

Les produits étant conditionnés en colis fermés, le feu se propage dans un premier temps de façon relativement lente par contact et convection naturelle le long d'une palette.

Ensuite, la propagation du feu s'accélère lorsque le feu passe d'une palette à l'autre, favorisée par l'espacement entre les palettes et la convection qui échauffe préalablement les cartons. L'inflammation des faces externes atteint ensuite les produits conditionnés. On peut obtenir alors une propagation rapide du feu à tous les racks.

La variation de température avec le temps lors d'un incendie est modélisée par la courbe ISO ci-dessous.

Après 15 minutes, la température est de 745 °C et augmente de 100°C à chaque fois que l'on double le temps.



Dans le cas d'un incendie d'entrepôt, on sait que la vitesse de propagation (différente de la vitesse de combustion) est telle que dans la majorité des cas, l'embrasement généralisé à la totalité de la surface est atteint en moins d'une heure après l'allumage. La rapidité d'intervention est donc capitale.

#### 6.1.1 Phase de démarrage du feu, puis déclenchement

La rapidité est fonction du combustible, de sa forme, de la ventilation et du type de source d'allumage. Durant la phase de feu couvant, la température est localisée au point d'ignition. Les premiers gaz et la fumée apparaissent. Dans le local, la température varie d'un point à un autre.

Ensuite, le foyer devient vif mais reste encore localisé. Le rayonnement ou le contact des flammes atteint les matières proches ; les gaz chauds se dégagent et emplissent le volume.

Dans les premières minutes, avant le flash over, les dispositifs de sécurité correspondant à la fonction « Eviter la propagation de l'incendie à la cellule et éteindre l'îlot/rack » sont le système d'extinction automatique et l'intervention du personnel avec extincteur ou RIA,

- **Le système de détection et d'extinction automatique**

Les sprinklers de type ESFR (Early Supression Fast Response) servent réellement à éteindre l'incendie. Ils lâchent un plus grand volume d'eau avec une plus grande puissance, directement dans et sur la colonne de feu. Le déflecteur de l'ESFR crée un large champ d'arrosage ; de ce fait un incendie entre les sprinklers peut être maîtrisé. Entre temps, l'orifice d'arrosage maintient sa grande force vers le bas pour atteindre et éteindre le foyer qui se trouve directement dessous.

Les têtes sont généralement calibrées pour déclencher vers 68°C. Ainsi, la tête déclenche moins de 50 secondes après le début de l'inflammation, ce qui permet une extinction quasi immédiate du départ de feu.

Pour un sprinkler de type ESFR, 12 à 16 têtes à fort débit peuvent être alimentées durant 60 minutes. L'ensemble du système est dimensionné pour fonctionner pendant au moins 2 heures.

Sur une période de 25 ans en Europe, on constate que sur 7651 incendies, 73% sont maîtrisés avec 5 têtes de sprinkler ou moins, 95% avec 30 têtes ou moins.

En France, 50% des sinistres ont été maîtrisés avec une tête, 85% avec 5 têtes ou moins, 97% avec 30 têtes ou moins.

- **L'intervention humaine avec extincteurs et RIA**

Le délai de mise en œuvre dépend de la formation du personnel à ce genre de manœuvres.

Un extincteur classique a une durée d'action de 15 à 30 s. En règle générale, un départ de feu avec extincteur à proximité peut être maîtrisé en 10 à 20 s.

Type d'extincteur	Durée d'utilisation	Distance d'attaque
Eau pulvérisée 6 litres	40 s	3 m
Eau pulvérisée + additifs 6 litres	40 s	3 à 4 m
Poudre 6 kg	16 s	4 à 5 m
CO <sub>2</sub> 2 kg	7 s	1 m

Les RIA sont un complément à l'intervention avec extincteur. Leur temps de mise en œuvre est plus long mais leur durée d'utilisation est par contre de plusieurs heures (contre quelques secondes pour les extincteurs).

Au-delà des premières minutes, le feu est trop développé pour que le personnel de l'établissement intervienne.

### 6.1.2 **Embrassement généralisé**

Les gaz chauds accumulés portent les combustibles présents à leur température d'inflammation et l'ensemble du volume s'embrase brutalement (flash over). L'incendie atteint son point maximal. La présence de gaz inflammables peut également provoquer des déflagrations plus ou moins violentes. La température dans le local en feu augmente, les couches supérieures de gaz s'enflamment, le front des flammes qui se propage le long du plafond est le roll over, il précède, aux environs de 500°C un embrassement spontané. Le feu se développe totalement.

Les dispositifs de sécurité pour la fonction « Contenir l'incendie dans la cellule » sont le compartimentage coupe-feu 2 h, le système de désenfumage et l'intervention des services de secours.

- **Compartimentage coupe-feu 2 h**

La tenue au feu des éléments de toiture étant de l'ordre d'une demi-heure, la couverture va rapidement tomber. La chute de la toiture gêne la progression de l'incendie et abaisse son intensité en entravant l'arrivée d'air dans les foyers de combustion.

Une analyse du TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO), en français : Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique appliquée) sur un dossier entrepôt indiquait que « même dans le cas d'un incendie d'une durée supérieure à 2 h, la chute de la toiture réduit l'intensité du feu par rapport à un incendie dans un compartiment fermé qui est simulé par la courbe ISO. Il est donc probable que le mur séparatif reste debout pendant beaucoup plus de 2 h ».

En effet, un mur coupe-feu est un mur qui remplit ses fonctions pendant au moins le temps prescrit quand il est exposé aux conditions d'un feu dit standard, c'est-à-dire un feu dont la température suit la courbe ISO 834. Or les modélisations ont montré que le développement d'un feu réel n'est jamais identique à celui de l'incendie conventionnel défini par la courbe ISO 834 où la température augmente indéfiniment dans le temps.

Les portes sont également au minimum coupe-feu de degré 2 h et leur fermeture (compartimentage de la cellule) sera asservie au déclenchement de l'installation d'extinction automatique d'incendie (installation sprinkler) sauf pour la cellule 7 où leur fermeture sera asservie à l'installation de détection de fumées haute sensibilité.

Selon les normes NFS 61-937 -1,2 et 3, le temps de fermeture de ces portes est de 30 secondes environ, délai permettant une fermeture des portes avant que le feu ne puisse se propager à la cellule adjacente.

- **Le système de désenfumage**

De par sa nature confinée, un entrepôt est sujet à des problèmes importants de visibilité lors d'un incendie.

Le désenfumage permet d'améliorer la visibilité, de réduire la concentration en gaz toxiques, de réduire la température et le flux de chaleur, de conserver un taux d'oxygène acceptable dans la cellule.

Les cantonnements qui s'opposent à l'écoulement latéral des fumées permettent une meilleure efficacité des exutoires.

Selon la norme NF EN 1201-2 et la règle R17 de l'APCAD, le temps d'ouverture des exutoires est d'environ 60 secondes. Le fusible est calibré pour que l'ouverture ne se produise qu'après le fonctionnement du sprinkler.

En cas de non déclenchement des exutoires, les commandes manuelles permettent d'assurer leur ouverture.

- **L'intervention des Services de Secours**

Le Service Départemental d'Incendie et de Secours est susceptible de mettre en œuvre des moyens provenant du ou des départements voisins.

## 6.2 La cinétique de l'explosion dans la chaufferie

---

Une explosion de gaz mélangé à l'air est une explosion résultant d'une combustion à vitesse élevée. Une flamme se propage dans le mélange à une vitesse de 1 à 10 m/s selon la réactivité du combustible et les proportions du mélange.

Cette flamme projette devant elle des ions propageant la réaction de combustion dans le mélange frais. Les gaz résultant de la combustion (CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O notamment) sont répartis à l'arrière du front de flamme, sur laquelle ils exercent une poussée.

Les effets thermiques d'une explosion sont dus au rayonnement de la flamme et des gaz chauds de combustion.

De par la cinétique particulièrement rapide d'une explosion, il est fondamental d'agir en amont.

Les mesures mises en place sont :

- un dispositif de coupure manuelle de l'arrivée en combustible disposé à l'extérieur du local
- deux vannes indépendantes et redondantes de coupure de l'alimentation gaz assujetties chacune à un pressostat et un détecteur gaz
- un système de détection gaz permettant en cas de fuite de couper automatiquement l'alimentation électrique et l'arrivée de combustible
- un brûleur à démarrage séquentiel
- coupure de l'alimentation en cas de variations de plus de 10% de la pression de gaz aux postes de détente

Ces mesures permettent, en combinaison avec la ventilation, de réduire considérablement les risques d'accumulation de gaz.

## 6.3 La cinétique de la fuite d'ammoniac

---

La dispersion d'ammoniac résulte d'une fuite plus ou moins importante sur un équipement de production de froid de la salle des machines.

La principale barrière de sécurité pour limiter l'accumulation d'ammoniac et favoriser sa dispersion est la détection ammoniac.

La détection d'ammoniac mise en œuvre dans la salle des machines possède deux seuils d'alerte :

- 2 000 ppm : déclenchement d'une alarme sonore et mise en service de la ventilation de secours ADF,
- 4 000 ppm : déclenchement d'une alarme sonore audible dans l'ensemble de l'établissement, mise en sécurité des installations (coupure des installations électriques non ADF et de la production de froid) et transmission de l'alarme au poste de garde.

Le temps de réponse d'un détecteur d'ammoniac est le délai entre le moment où le capteur est mis en présence d'une concentration connue de gaz et le moment où l'indication de la mesure de concentration donnée par le détecteur atteint un certain pourcentage de l'indication finale

correspondant à cette concentration. Il est courant de prendre ce pourcentage égal à 90% (t90) ou bien 50% (t50).

La réactivité de la chaîne complète de détection est essentiellement limitée par le temps de réponse du capteur. Ce temps de réponse dépend de la réactivité de l'élément sensible et de la vitesse avec laquelle la concentration en gaz s'établit par diffusion autour ou à la surface de cet élément.

Pour un détecteur fixe de gaz ammoniac, l'élément sensible, qui est en fait une électrode, est exposé directement à l'atmosphère à surveiller à travers différentes membranes de protection (filtres, grille, film anti-condensation) qui génèrent un délai de diffusion des gaz important.

Le temps de réponse d'un détecteur fixe de gaz ammoniac dépend du contexte d'utilisation, il peut varier de quelques secondes à quelques minutes.

Après détection de l'ammoniac dans la salle des machines, la mise en œuvre de l'extracteur et de l'alarme sonore est effective en quelques secondes.

---

## 6.4 Conclusion

Dans la mesure où les équipements sont entretenus régulièrement, les mesures de maîtrise des risques permettant d'éviter la propagation du feu sur un rack à la cellule sont en adéquation avec la cinétique d'un incendie et permettent d'éteindre le feu avant son développement.

En cas de non fonctionnement du sprinklage, la structure des cellules est faite pour que les murs tiennent au moins 2 heures au feu, ce qui est tout à fait compatible avec les délais d'intervention des Sapeurs-Pompiers.

Concernant la chaufferie, si la cinétique d'une explosion est incompatible avec une intervention, toutes les mesures sont prises en amont pour réduire au maximum le risque d'accumulation de gaz dans une chaufferie.

Concernant l'ammoniac, les mesures mises en place doivent permettre de limiter le temps de fuite à quelques secondes.

## 7 ETUDE DES EFFETS DE SURPRESSION : L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIERE

Dans la chaufferie, une fuite de gaz se développe

### 7.1 Méthode utilisée

---

L'objectif de l'étude est de déterminer les effets de surpression perçus par l'environnement lors d'une explosion dans la chaufferie.

#### 7.1.1 Hypothèses

Plusieurs hypothèses fondamentales sont nécessaires pour envisager la détermination des conséquences de l'explosion.

- **Détection gaz**

Il faut supposer que le système de détection gaz a été totalement défaillant et qu'il n'a pas permis d'arrêter l'alimentation en gaz de la chaufferie, ni d'alerter le personnel.

- **Ventilation**

Il faut considérer que la ventilation n'a pas permis d'évacuer le gaz et que la proportion de gaz accumulée est comprise entre la LIE et la LSE.

- **Synthèse**

Nous considérons, pour l'explosion :

- Une faible fuite de méthane entraîne la formation d'une poche de gaz, stagnant au plafond,
- La totalité du volume est remplie d'un mélange air/méthane à la stoechiométrie

#### 7.1.2 Remarques sur les valeurs retenues

En ce qui concerne les effets sur l'homme, les valeurs retenues correspondent aux valeurs de référence relatives aux seuils d'effet thermiques définies dans l'arrêté du 29 septembre 2005.

En ce qui concerne les effets sur les structures, la valeur référence retenue dans la modélisation correspond au seuil des effets domino :

- **Seuils d'effets de surpression : effets sur l'homme (arrêté du 29 septembre 2005)**

Rayonnement reçu	Conséquences
20 mbar	Seuil des effets irréversibles délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme
50 mbar	Seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine
140 mbar	Seuil des effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine
200 mbar	Seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine

- **Seuils d'effets de surpression : effets sur les structures (arrêté du 29 septembre 2005)**

Rayonnement reçu	Conséquences
20 mbar	Seuil des destructions de vitres significatives.
50 mbar	Seuil des dégâts légers sur les structures
140 mbar	Seuil des dégâts graves sur les structures
200 mbar	Seuil des effets domino
300 mbar	Seuil des dégâts très graves sur les structures

## 7.2 Calculs des effets de surpression

### 7.2.1 Méthode utilisée

La méthode de calcul utilisée est le modèle multi-énergie. Celui-ci se base sur le principe que l'explosion d'un nuage de gaz ne se fait que dans la portion de gaz inflammable qui est partiellement confinée.

Le principe est de convertir le volume égal à la zone encombrée par le nuage en une demi-sphère de concentration stœchiométrique et de volume équivalent.

### 7.2.2 Caractéristiques de la chaufferie

Les caractéristiques de la chaufferie sont :

	Surface	Hauteur	Volume
Chaufferie	100 m <sup>2</sup>	4 mètres	400 m <sup>3</sup>

### 7.2.3 Calcul des effets de surpression

On utilise la formule suivante :

$$\bar{R} = R \times \left( \frac{P_0}{E} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Où :

$\bar{R}$  est la distance réduite (sans dimension)

R est le rayon caractéristique (m)

$P_0$  est la pression atmosphérique (Pa)

E est l'énergie produite (J)

- **Détermination du volume du nuage explosible**

Dans notre cas, le volume du nuage explosible pris en compte est le volume global de la chaufferie, soit 400 m<sup>3</sup>.

- **Choix du degré de sévérité (ou indice de violence)**

L'indice de violence correspond au niveau de surpression maximal produit par l'explosion. A chaque indice de violence est associée une courbe de décroissance des surpressions aériennes. Dans le cas de la méthode multi énergie, les indices sont notés de 1 à 10 et correspondent aux niveaux de surpression suivants :

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	2000	20000

Kinsella, en 1993 a proposé de choisir les indices de violence d'explosion en considérant :

- l'énergie d'inflammation,
- le degré d'encombrement dû aux obstacles solides,
- et le degré de confinement.

Energie d'inflammation		Le degré d'encombrement			Le degré de confinement		Indice
Faible	Forte	Fort	Faible	Inexistant	Existant	Inexistant	
							7-10
							7-10
							5-7
							5-7
							4-6
							4-6
							4-5
							4-5
							3-5
							2-3
							1-2
							1

Dans ce tableau, l'énergie d'inflammation est à considérer comme :

- forte lorsqu'une explosion confinée peut être à l'origine de l'inflammation du nuage
- faible lorsque la source d'inflammation potentielle se limite aux sources courantes comme les surfaces chaudes, les étincelles

Le degré d'encombrement est

- fort lorsque le volume des obstacles correspond à plus de 30% du volume total de la zone encombrée, l'espace entre obstacles étant inférieur ou égal à 3 m
- faible lorsque des obstacles existent mais que les conditions précédentes ne sont pas simultanément satisfaites
- inexistantes lorsqu'il n'y a pas d'obstacle dans le nuage inflammable

Le confinement est à considérer de façon binaire comme :

- existant lorsque le nuage inflammable est confiné par des surfaces solides sur 2 à 3 faces
- inexistant si la seule surface solide à considérer est le sol

Suivant le tableau présenté ci-dessus, nous avons déterminé pour la chaufferie de l'établissement :

- **Une énergie d'inflammation faible** : une énergie d'inflammation est à considérer comme faible lorsque la source d'inflammation potentielle se limite aux sources courantes comme les surfaces chaudes ou les étincelles ce qui est le cas pour la chaufferie.
- **Un degré d'encombrement faible** : en cas de formation d'un nuage explosible dans la chaufferie, le seul obstacle présent sera la chaudière elle-même. Cet obstacle représente moins de 30% du volume global de la chaufferie (204m<sup>3</sup>).
- **Un degré de confinement existant** puisque le nuage inflammable est confiné dans la chaufferie.

Le tableau de Kinsella nous donne suivant ces trois critères un indice de violence compris entre 3 et 5.

Nous avons retenu pour la modélisation un indice de sévérité médian : **5**.

- **Calcul de l'énergie de combustion**

Il faut calculer l'énergie de l'explosion de gaz à partir de l'équation de Brode (en Joules).

$$E = 3 \times V \times (P_{max}-P_a)$$

Avec V : volume de l'enceinte considérée (ici 204 m<sup>3</sup>)

P<sub>max</sub>-P<sub>a</sub> = surpression maximale dans le nuage en Pa

Dans notre cas, la surpression maximale est de 200 mbar

- **Calcul du rayon caractéristique**

Il faut calculer l'énergie de l'explosion de gaz à partir de l'équation de Brode (en Joules).

$$R_c = (E / P_0)^{1/3}$$

Avec P<sub>0</sub> étant la pression atmosphérique en Pascal

Dans notre cas, le rayon caractéristique est de 4,94

- **Détermination de  $\bar{R}$  aux différentes surpressions**

Il s'agit d'utiliser la courbe multi énergie indice 5 pour déterminer  $\bar{R}$  associé aux surpressions de 20, 50, 140 et 200 mbar.

Surpression	$\bar{R}$ correspondant
20 mbar	5
50 mbar	2
140 mbar	0,8
200 mbar	Non perçu

- **Résultats**

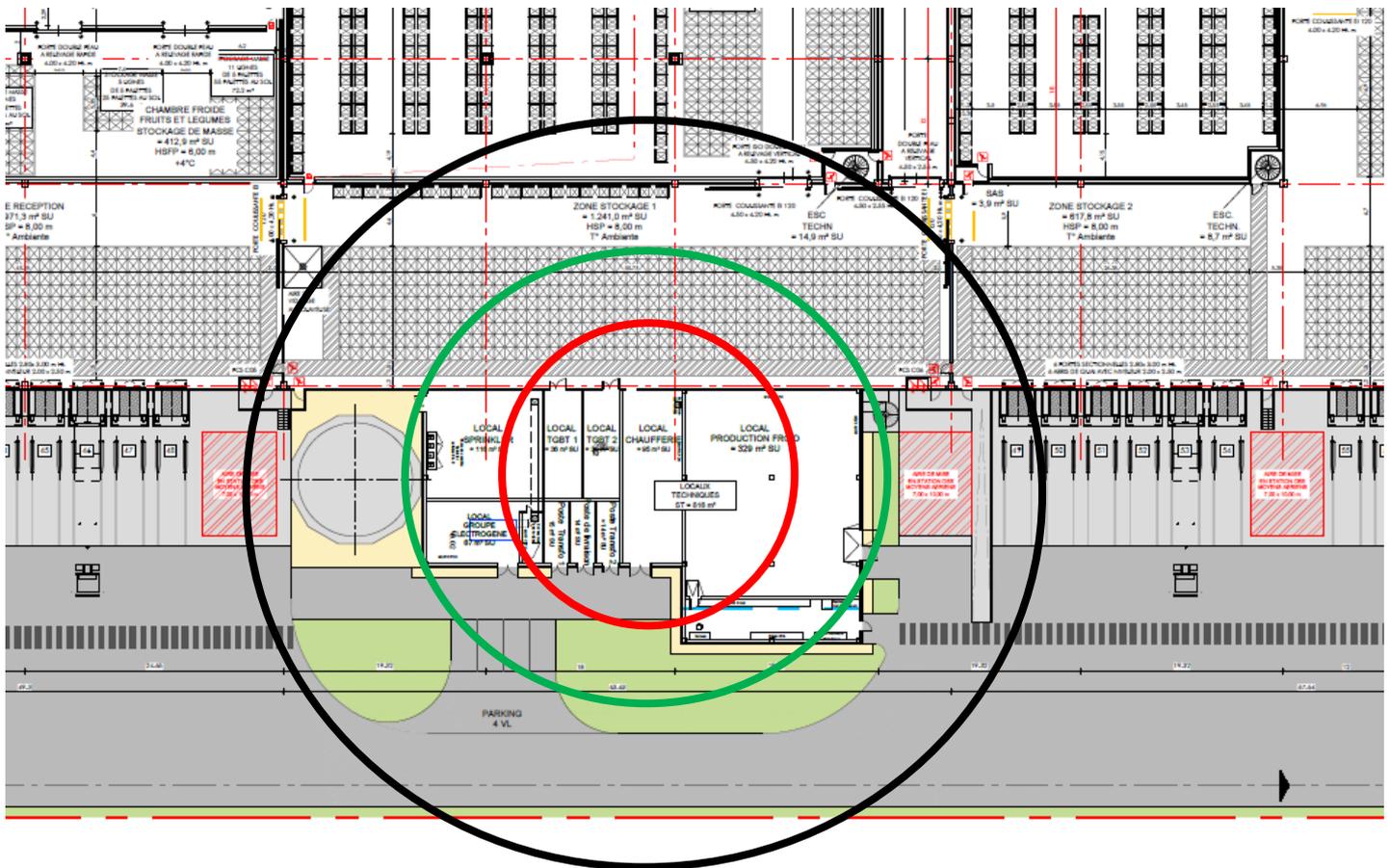
La distance X entre le centre du nuage et le seuil de surpression est défini selon :

$$X = \bar{R} \times R_c$$

Surpression	Distance d'effets
20 mbar	31 mètres
50 mbar	13 mètres
140 mbar	5 mètres
200 mbar	A l'intérieur du local uniquement

• Conclusions

Les zones Z1 et Z2 ne sortent pas des limites de propriété.



**Visualisation des zones de surpression**

Légende :

— (black line)	20 mbar
— (green line)	50 mbar
— (red line)	140 mbar

• Résultats

Le plan ci-dessous permet de constater que les effets létaux (seuil de 140 mbar) et les effets irréversibles (seuil de 50 mbar) ne seront pas perçus en dehors des limites de propriétés.

Le seuil des effets dominos (200 mbar) n'est pas perçu hors de la chaufferie.

Le seuil des effets irréversibles par effets indirects par bris de vitres sur l'homme sort d'environ 10 mètres côté Est de l'établissement.

## 8 ETUDE DES EFFETS THERMIQUES : L'INCENDIE

Dans une des cellules du bâtiment, un incendie se développe.

L'objectif de l'étude est de déterminer les flux thermiques perçus par différentes surfaces exposées au rayonnement généré par un incendie dans une cellule.

### 8.1 Incendie d'une cellule de produits combustibles

---

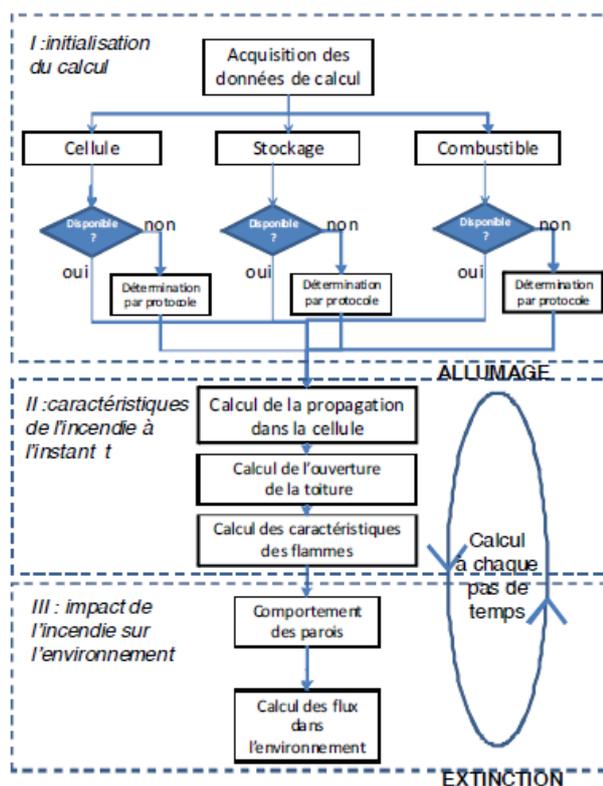
Pour l'incendie des cellules de stockage des produits combustibles, la modélisation a été réalisée à partir de la méthode de calcul FLUMILOG V5.1.1.0 (outil de calcul V5.01).

#### 8.1.1 *Présentation de la méthode de calcul FLUMILOG*

La méthode, développée par l'INERIS, le CNPP, le CTICM, l'IRSN et EFECTIS France à partir d'essais grandeur réelle concerne principalement les entrepôts entrant dans les rubriques 1510, 1511, 1530, 1532, 2662 et 2663 de la nomenclature ICPE et plus globalement aux rubriques comportant des combustibles solides.

Les différentes étapes de la méthode sont présentées sur le logigramme ci-après :

- Acquisition et initialisation des données d'entrée,
  - données géométriques de la cellule, nature des produits entreposés,
  - le mode de stockage.
  - Et détermination des données d'entrées pour le calcul : débit de pyrolyse en fonction du temps, comportement au feu des toitures et parois...
- Détermination des caractéristiques des flammes en fonction du temps (hauteur moyenne et émittance). Ces valeurs sont déterminées à partir de la propagation de la combustion dans la cellule, de l'ouverture de la toiture.
- Calcul des distances d'effet en fonction du temps. Ce calcul est réalisé sur la base des caractéristiques des flammes déterminées précédemment et de celles des parois résiduelles susceptibles de jouer le rôle d'obstacle au rayonnement.



Description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt Partie A

### 8.1.2 Principe général

Nous avons réalisé des modélisations de flux thermiques, pour les 9 cellules de stockage de l'établissement sur la base d'un stockage de produits combustibles courants (rubriques 1510, 1530, 1532, 2662 et 2663,) en utilisant la méthode FLUMILOG.

L'objectif de ces modélisations est de déterminer les distances de perception des flux thermiques de :

- **8 kW/m<sup>2</sup>** pour le seuil des effets domino correspondant au seuil de dégâts grave sur les structures.
- **5 kW/m<sup>2</sup>** pour le seuil des effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
- **3 kW/m<sup>2</sup>** pour le seuil des effets irréversibles délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine.

Les modélisations sont réalisées sur la base des dispositions constructives décrites ci-après.

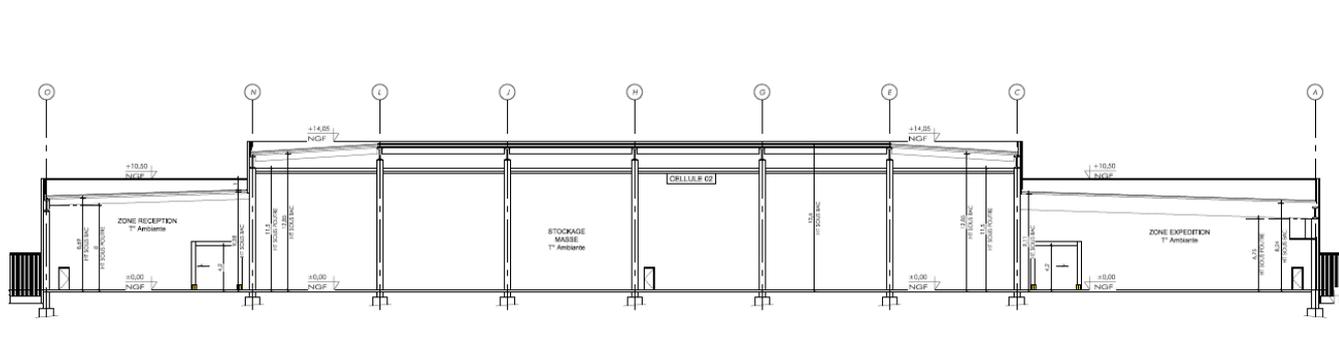
### 8.1.3 Données d'entrée

- **Caractéristiques géométriques des cellules de stockage**

Cellules 1 à 5	
Longueur	120,5 m
Largeur	49,3 m
Hauteur sous bac moyenne	13,20 m

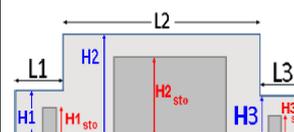
Le bâtiment présentera des hauteurs différentes entre la zone de réception, la zone de stockage et la zone d'expédition.

La coupe de principe des cellules 1 à 5 est présentée ci-dessous :



Ces hauteurs multiples ont été intégrées dans les modélisations FLUMILOG :

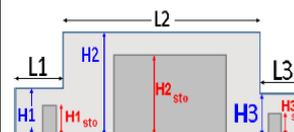
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	20,0	81,1	19,4
H (m)	8,7	13,2	9,0
H sto (m)	6,8	11,9	8,0



Cellule 6	
Longueur	120,5 m
Largeur	63,6 m
Hauteur sous bac moyenne	13,20 m

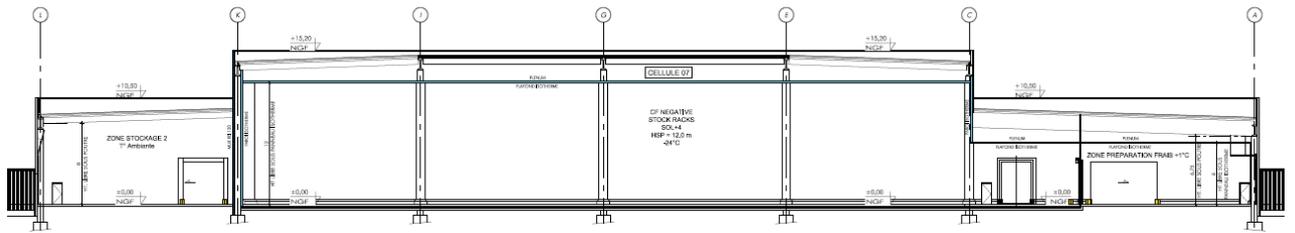
La coupe de principe de la cellule 6 est identique à celle des cellules 1 à 5 présentée plus avant. Ces hauteurs multiples ont été intégrées dans les modélisations FLUMILOG :

Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	20,0	81,1	19,4
H (m)	8,7	13,2	9,0
H sto (m)	6,8	11,9	8,0



Cellule 7	
Longueur	100,5 m
Largeur	38,6 m
Hauteur sous bac moyenne	14,20 m

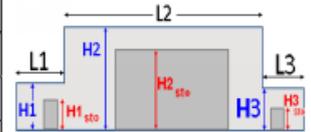
La cellule 7 présentera une hauteur plus importante que les autres cellules de l'établissement. La coupe de principe de cette cellule est présentée ci-dessous :



(17-10-09) - 0864 - COUPE DE PRINCIPE F-F  
Echelle : 1/300 ème

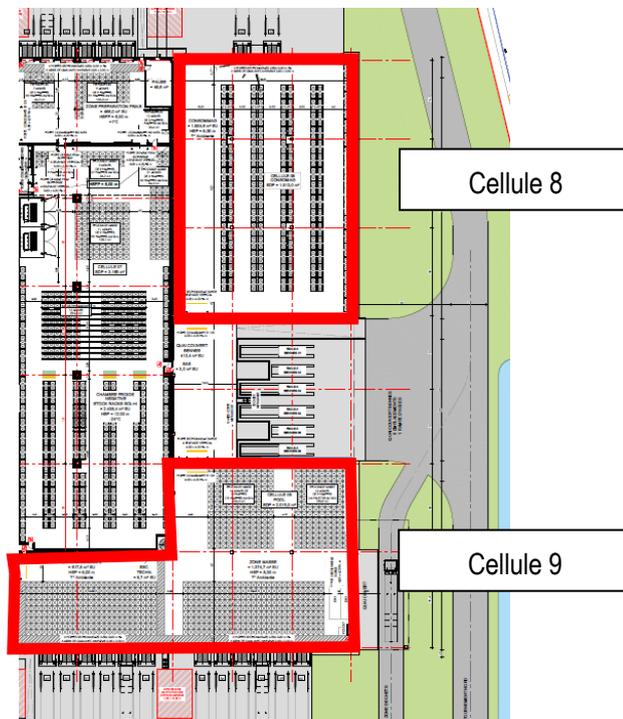
Ces hauteurs multiples ont été intégrées dans les modélisations FLUMILOG :

Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0,0	81,1	19,4
H (m)	0,0	14,2	9,0
H sto (m)	0,0	12,0	8,0



Les cellules 8 et 9 ne présentent pas de hauteurs multiples : elles auront une hauteur sous bac moyenne de 9 mètres pour une hauteur de stockage maximale de 8 mètres.

Ces cellules seront séparées par un quai de 29 mètres de long sur 12,76 mètres de large. Sur ce quai, le stockage en masse sera envisageable sur deux hauteurs de palettes.



Cellule 8	
Longueur	51.5 m
Largeur	36,2 m
Hauteur sous bac moyenne	9 m

Cellule 9	
Longueur	38 m
Largeur	68 m
Hauteur sous bac moyenne	9 m

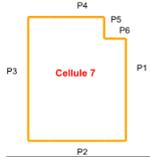
- **Caractéristiques de l'entrepôt**

Résistance au feu des poutres	60 min
Résistance au feu des pannes	30 min
Matériaux constituant la couverture	Bac acier avec étanchéité multicouche
% d'exutoires en surface utile	2 %

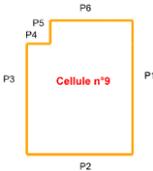
- **Caractéristiques des parois extérieures**

Cellules 1 à 5				
<b>Géométrie de la cellule</b>				
<b>Caractéristiques des parois</b>	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4
<b>Composantes de la paroi</b>	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
<b>Structure support</b>	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton
<b>Nombre de portes de quais</b>	0	10	0	10
<b>Matériau</b>	Béton armé / cellulaire	Bardage double peau	Béton armé / cellulaire	Bardage double peau
<b>R(i) : Résistance structure (min)</b>	120	60	120	60
<b>E(i) : Etanchéité aux gaz (min)</b>	120	15	120	15
<b>I(i) : Critère d'isolation de la paroi (min)</b>	120	15	120	15
<b>Y(i) : Résistances des fixations (min)</b>	120	15	120	15

Cellule 6				
Géométrie de la cellule				
Caractéristiques des parois	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4
Composantes de la paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure support	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton
Nombre de portes de quais	0	0	0	13
Matériau	Béton armé / cellulaire	Béton armé / cellulaire	Béton armé / cellulaire	Bardage double peau
R(i) : Résistance structure (min)	120	120	120	60
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	120	120	15
I(i) : Critère d'isolation de la paroi (min)	120	120	120	15
Y(i) : Résistances des fixations (min)	120	120	120	15

Cellule 7						
Géométrie de la cellule						
Caractéristiques des parois	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4	Paroi 5	Paroi 6
Composantes de la paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure support	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton
Nombre de portes de quais	6	0	0	0	0	0
Matériau	Bardage double peau	Béton armé / cellulaire				
R(i) : Résistance structure (min)	60	120	120	120	120	120
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	15	120	120	120	120	120
I(i) : Critère d'isolation de la paroi (min)	15	120	120	120	120	120
Y(i) : Résistances des fixations (min)	15	120	120	120	120	120

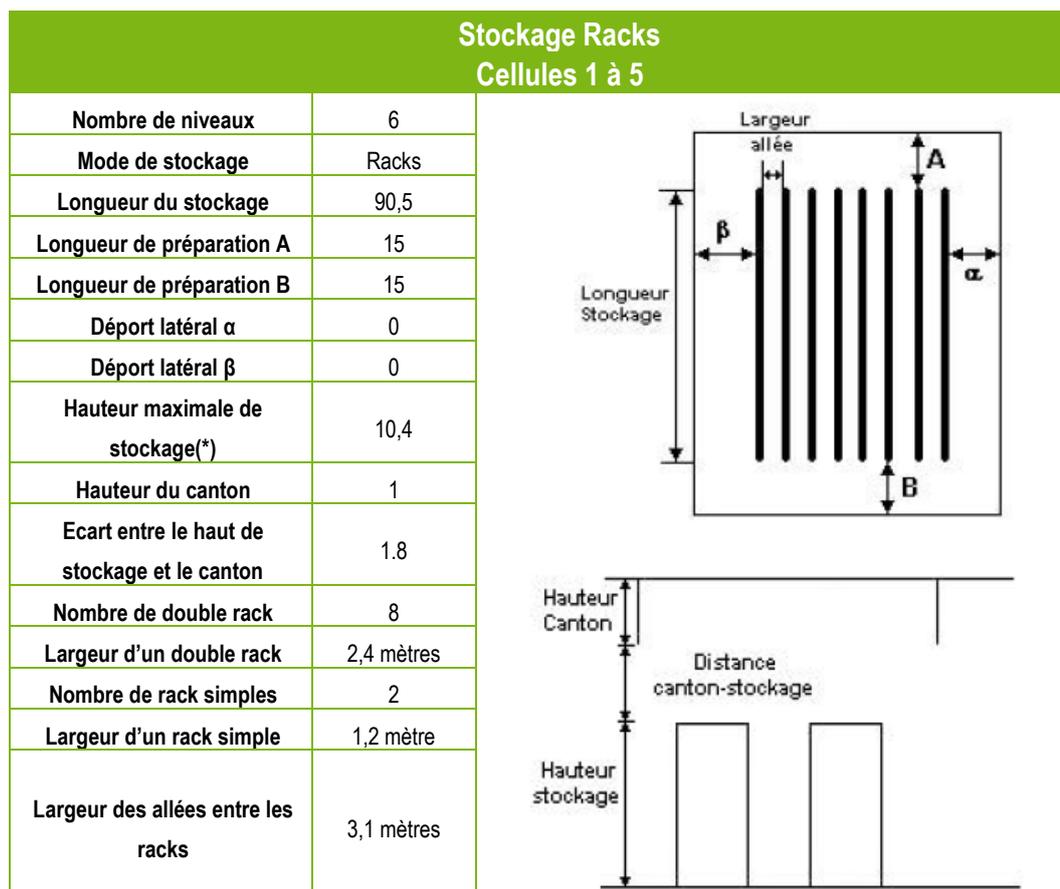
Cellule 8				
Géométrie de la cellule				
Caractéristiques des parois	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4
Composantes de la paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure support	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton
Nombre de portes de quais	0	0	0	2
Matériau	Béton armé / cellulaire	Béton armé / cellulaire	Béton armé / cellulaire	Bardage double peau
R(i) : Résistance structure (min)	120	120	120	60
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	120	120	15
I(i) : Critère d'isolation de la paroi (min)	120	120	120	15
Y(i) : Résistances des fixations (min)	120	120	120	15

Cellule 9						
Géométrie de la cellule						
Caractéristiques des parois	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4	Paroi 5	Paroi 6
Composantes de la paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure support	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton
Nombre de portes de quais	0	12	0	0	0	0
Matériau	Béton armé / cellulaire	Bardage double peau	Béton armé / cellulaire			
R(i) : Résistance structure (min)	120	60	120	120	120	120
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	15	120	120	120	120
I(i) : Critère d'isolation de la paroi (min)	120	15	120	120	120	120
Y(i) : Résistances des fixations (min)	120	15	120	120	120	120

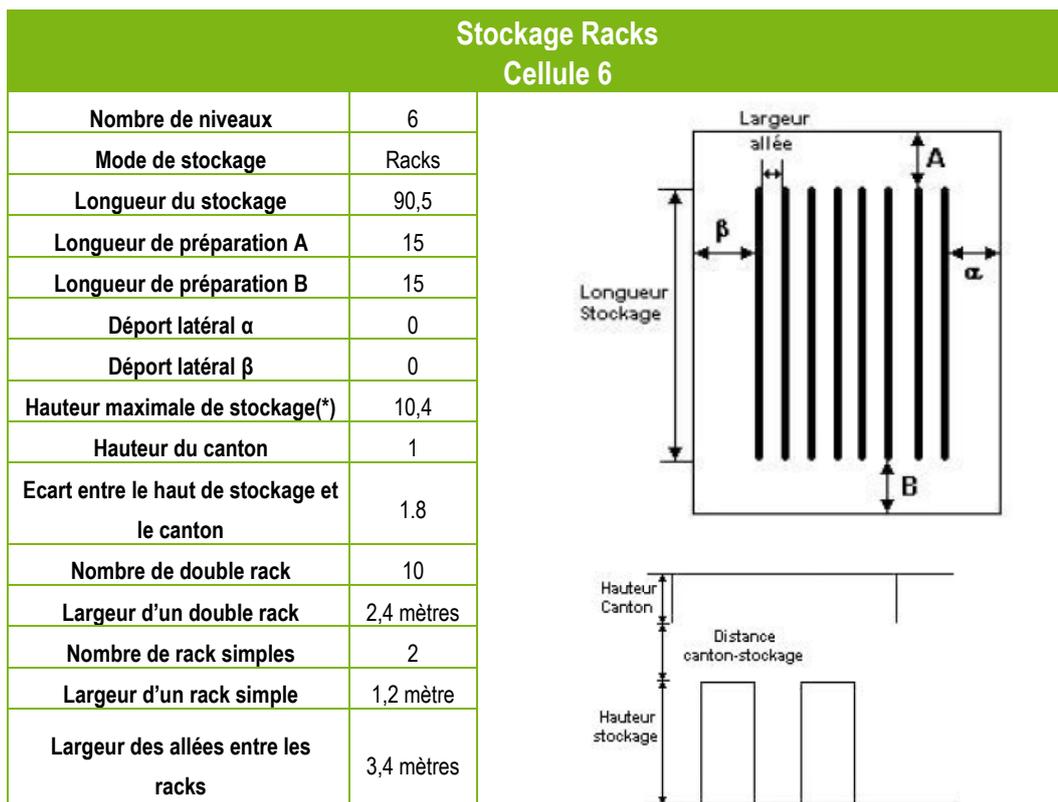
• Modes de stockage dans les cellules

Dans toutes les cellules de l'établissement, le stockage pourra se faire en masse ou sur racks. Le stockage sur racks permet de stocker le plus grand nombre de palettes. Il est donc le stockage majorant en termes de flux thermiques.

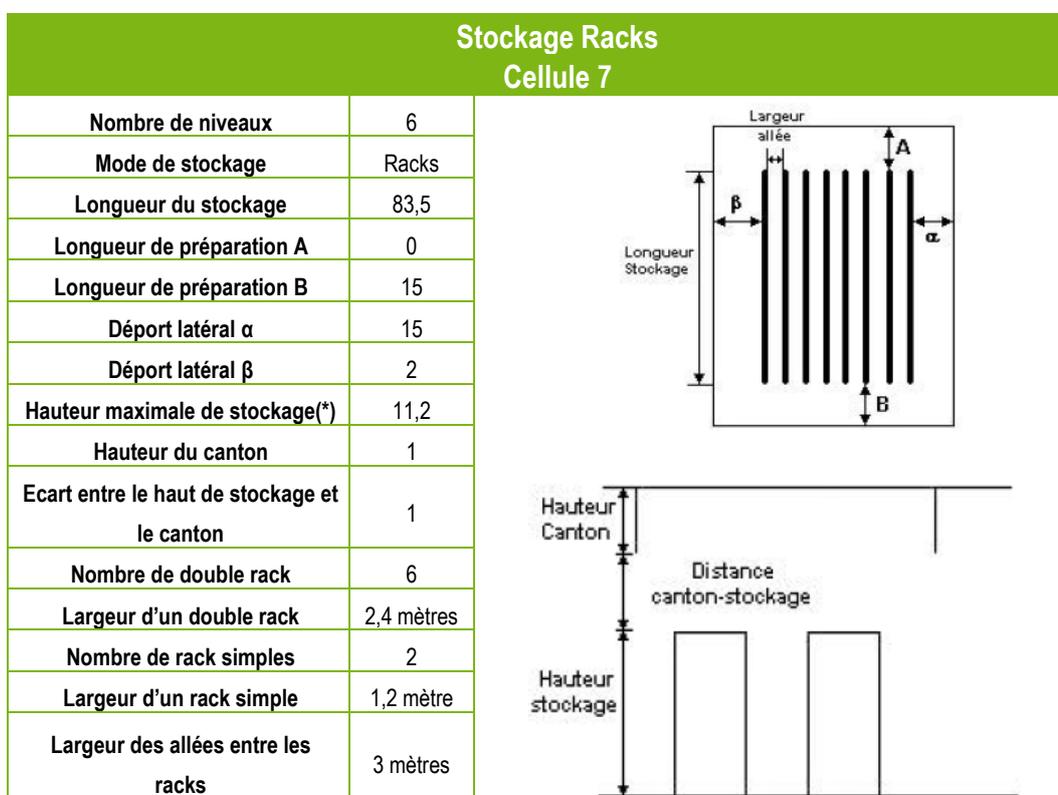
Néanmoins, les modélisations FLUMILOG ont été réalisées sur la base d'un stockage sur racks et d'un stockage en masse.



(\*) La hauteur moyenne de stockage est calculée par le logiciel FLUMILOG sur la base des hauteurs multiples de l'entrepôt précédemment décrites.

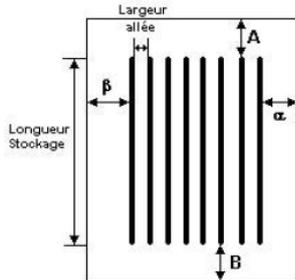
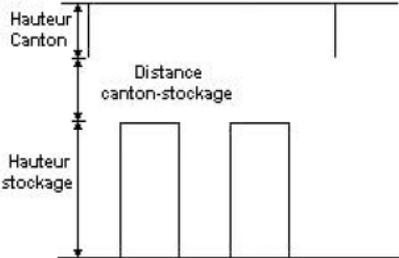


(\*) La hauteur moyenne de stockage est calculée par le logiciel FLUMILOG sur la base des hauteurs multiples de l'entrepôt précédemment décrites.



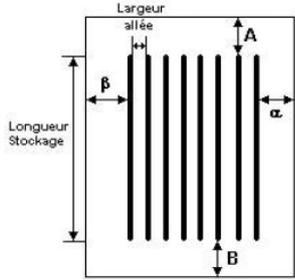
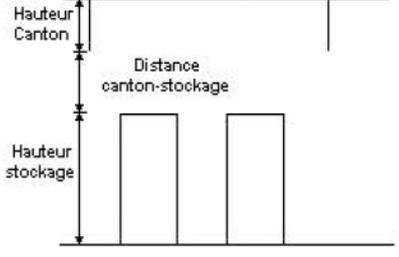
(\*) La hauteur moyenne de stockage est calculée par le logiciel FLUMILOG sur la base des hauteurs multiples de l'entrepôt précédemment décrites.

Stockage Racks Cellule 8	
Nombre de niveaux	5
Mode de stockage	Racks
Longueur du stockage	45
Longueur de préparation A	3
Longueur de préparation B	3.5
Déport latéral $\alpha$	0
Déport latéral $\beta$	0
Hauteur maximale de stockage(*)	8
Hauteur du canton	1
Ecart entre le haut de stockage et le canton	0
Nombre de double rack	5
Largeur d'un double rack	2,4 mètres
Nombre de rack simples	2
Largeur d'un rack simple	1,2 mètre
Largeur des allées entre les racks	3,6 mètres

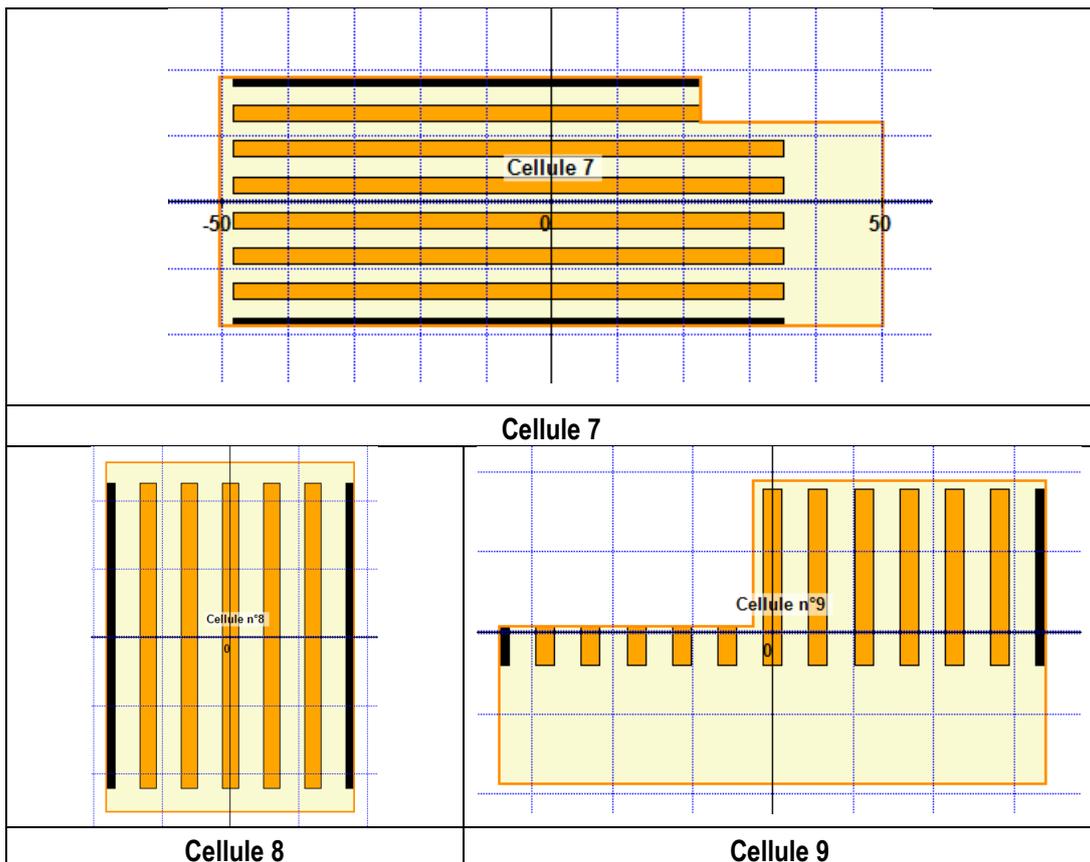
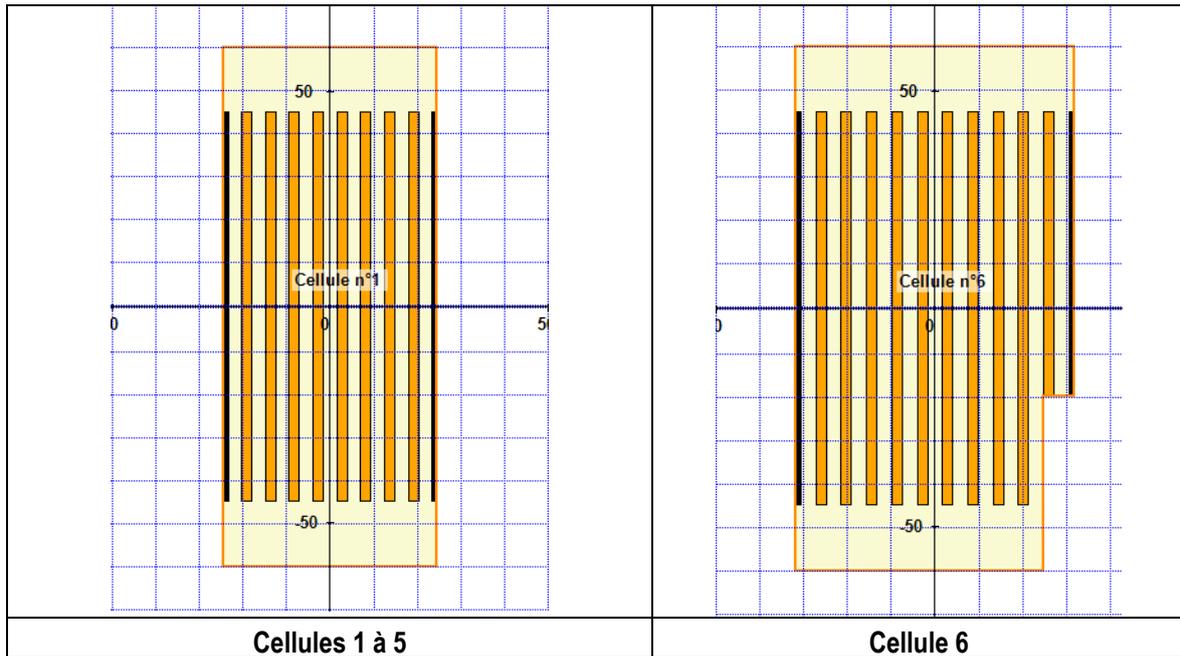
(\*) La hauteur moyenne de stockage est calculée par le logiciel FLUMILOG sur la base des hauteurs multiples de l'entrepôt précédemment décrites.

Stockage Racks Cellule 9	
Nombre de niveaux	5
Mode de stockage	Racks
Longueur du stockage	22
Longueur de préparation A	1
Longueur de préparation B	15
Déport latéral $\alpha$	0
Déport latéral $\beta$	0
Hauteur maximale de stockage(*)	8
Hauteur du canton	1
Ecart entre le haut de stockage et le canton	0
Nombre de double rack	11
Largeur d'un double rack	2,4 mètres
Nombre de rack simples	2
Largeur d'un rack simple	1,2 mètre
Largeur des allées entre les racks	3,6 mètres

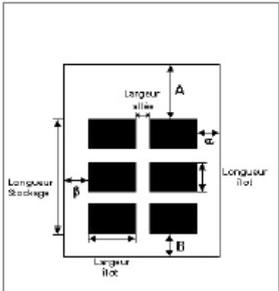
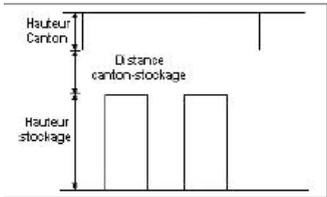



(\*) La hauteur moyenne de stockage est calculée par le logiciel FLUMILOG sur la base des hauteurs multiples de l'entrepôt précédemment décrites.

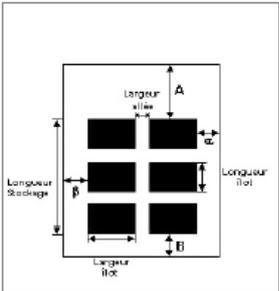
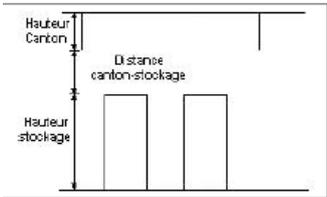
Ce stockage correspond aux plans de rackage suivants :



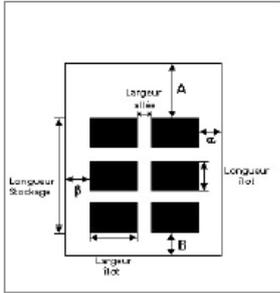
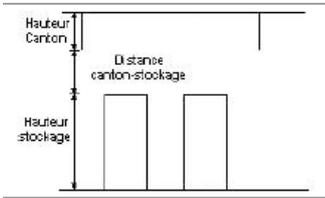
Stockage Masse Cellules 1 à 5	
Mode de stockage	Masse
Longueur de préparation A	1
Longueur de préparation B	1,5
Déport latéral $\alpha$	1
Déport latéral $\beta$	0,3
Hauteur du canton	1
Nombre d'îlots dans le sens de la longueur	6
Nombre d'îlots dans le sens de la largeur	2
Largeur des îlots	23 mètres
Longueur des îlots	18 mètres
Hauteur des îlots	8 mètres
Largeur des allées entre les îlots	2 mètres

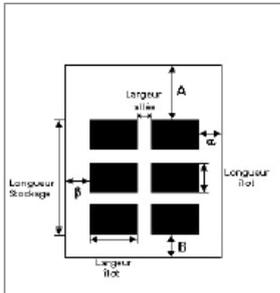
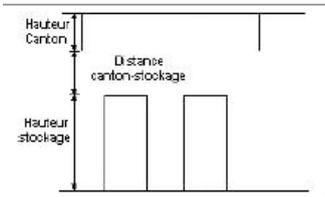
Stockage Masse Cellule 6	
Mode de stockage	Masse
Longueur de préparation A	0
Longueur de préparation B	2,5
Déport latéral $\alpha$	0
Déport latéral $\beta$	0,6
Hauteur du canton	1
Nombre d'îlots dans le sens de la longueur	6
Nombre d'îlots dans le sens de la largeur	2
Largeur des îlots	30 mètres
Longueur des îlots	18 mètres
Hauteur des îlots	8 mètres
Largeur des allées entre les îlots	2 mètres

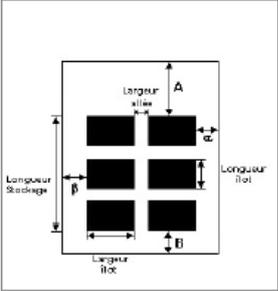
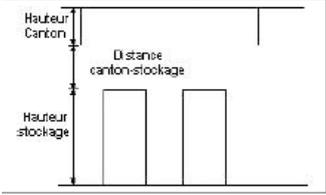
Stockage Masse Cellule 7	
Mode de stockage	Masse
Longueur de préparation A	1
Longueur de préparation B	3
Déport latéral $\alpha$	1
Déport latéral $\beta$	1,5
Hauteur du canton	1
Nombre d'îlots dans le sens de la longueur	3
Nombre d'îlots dans le sens de la largeur	2
Largeur des îlots	48 mètres
Longueur des îlots	10 mètres
Hauteur des îlots	8 mètres
Largeur des allées entre les îlots	2 mètres

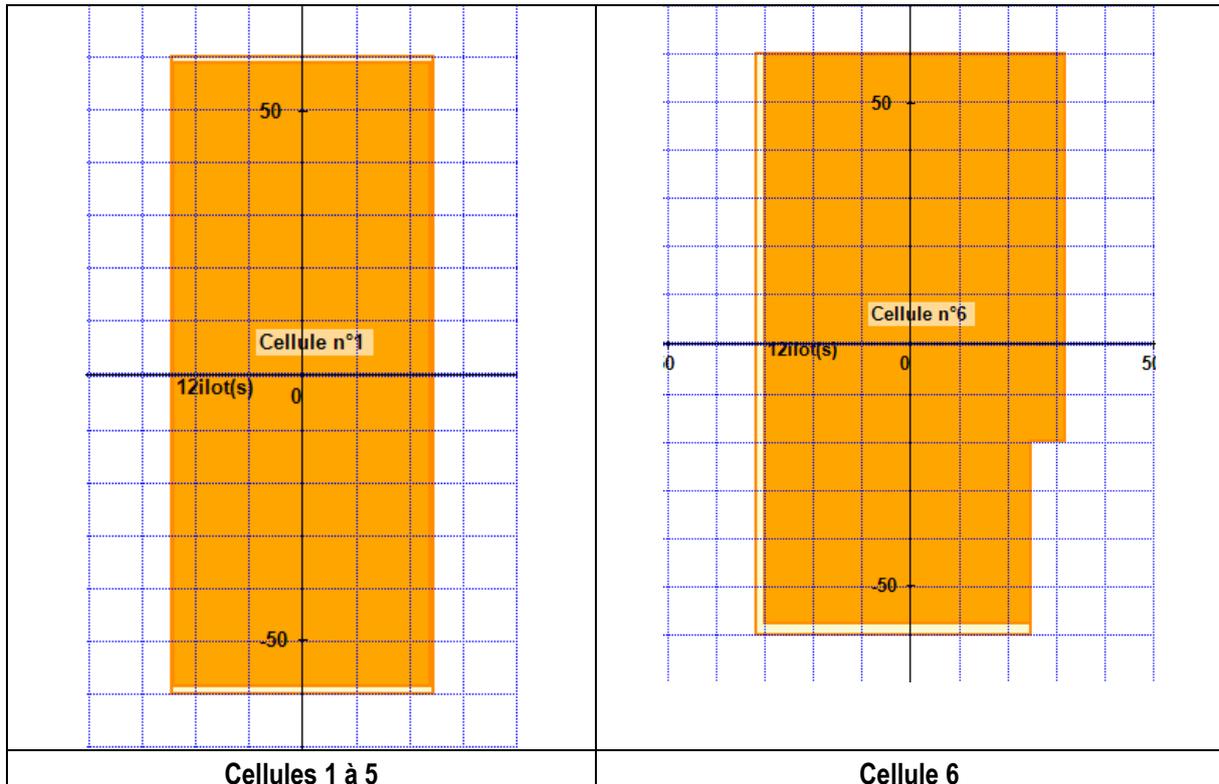
Stockage Masse Cellule 8	
Mode de stockage	Masse
Longueur de préparation A	1
Longueur de préparation B	0,5
Déport latéral $\alpha$	0
Déport latéral $\beta$	2,2
Hauteur du canton	1
Nombre d'îlots dans le sens de la longueur	2
Nombre d'îlots dans le sens de la largeur	2
Largeur des îlots	16 mètres
Longueur des îlots	24 mètres
Hauteur des îlots	8 mètres
Largeur des allées entre les îlots	2 mètres

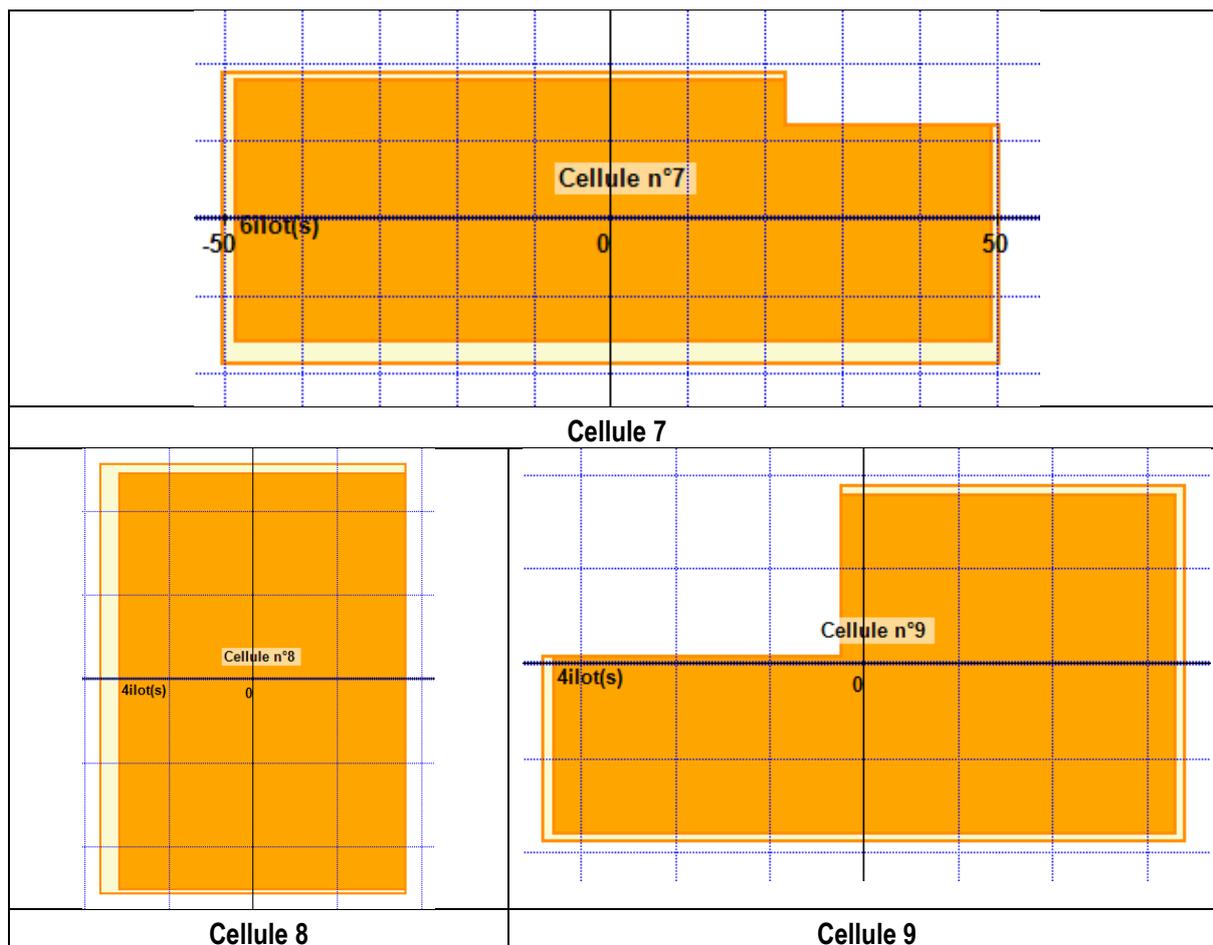



Stockage Masse Cellule 9	
Mode de stockage	Masse
Longueur de préparation A	1
Longueur de préparation B	1
Déport latéral $\alpha$	1
Déport latéral $\beta$	1
Hauteur du canton	1
Nombre d'îlots dans le sens de la longueur	2
Nombre d'îlots dans le sens de la largeur	2
Largeur des îlots	17 mètres
Longueur des îlots	17 mètres
Hauteur des îlots	8 mètres
Largeur des allées entre les îlots	2 mètres

Ce stockage correspond aux plans suivants :





- **Marchandises entreposées**

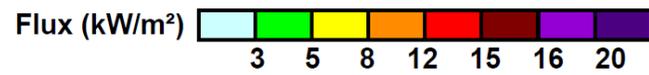
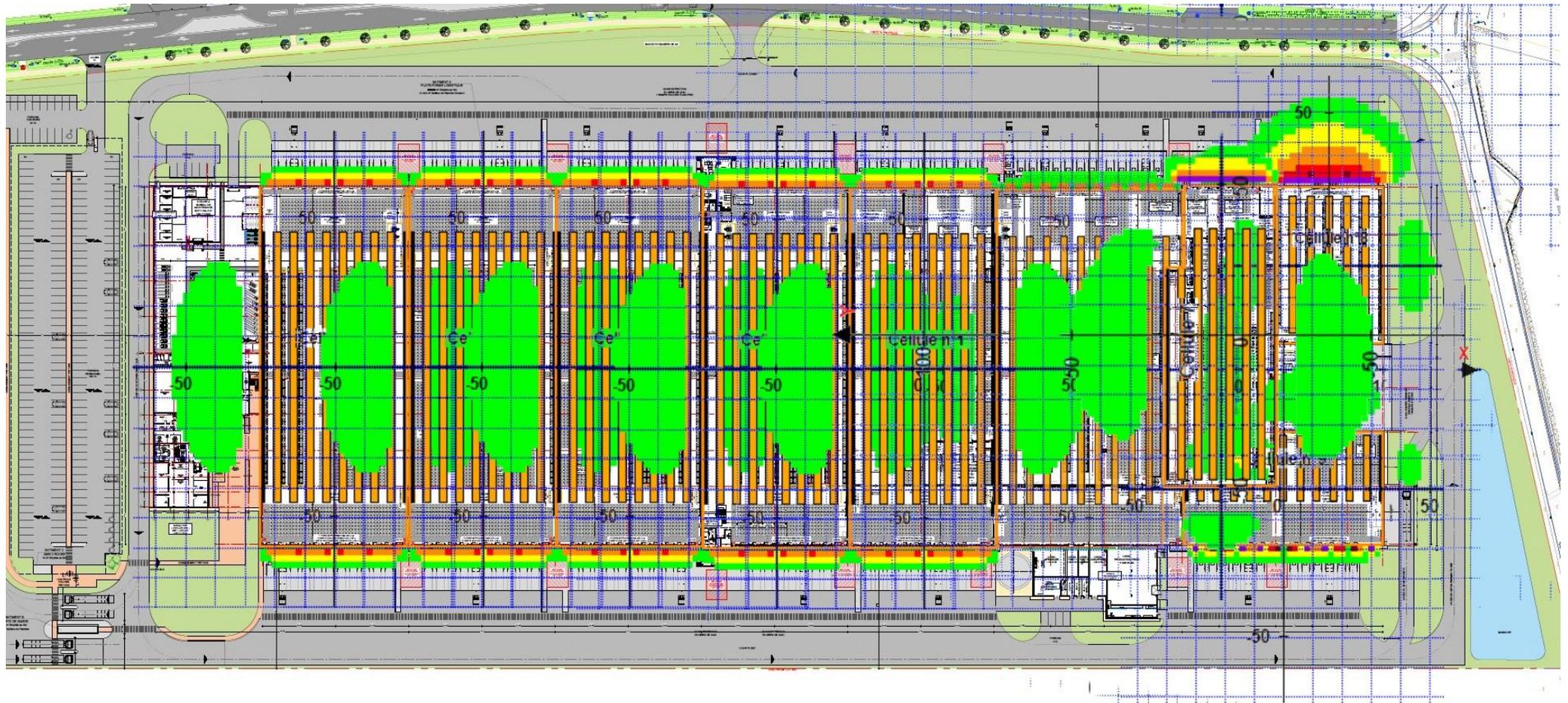
Pour chaque type de produits, la composition de la palette retenue pour la modélisation diffère :

- Modélisation 1510 : palette type 1510,
- Modélisation 2662 : palette type 2662,
- Modélisation 1530 : palette de 200 kg constituée à 100% de carton,
- Modélisation 1532 : palette de 200 kg constituée à 100% de bois,
- Modélisation 2663 : palette de 500 kg constituée de 225 kg polyéthylène, de 90 kg de PVC, 135 kg de caoutchouc et de 50 kg de bois.

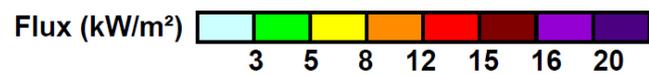
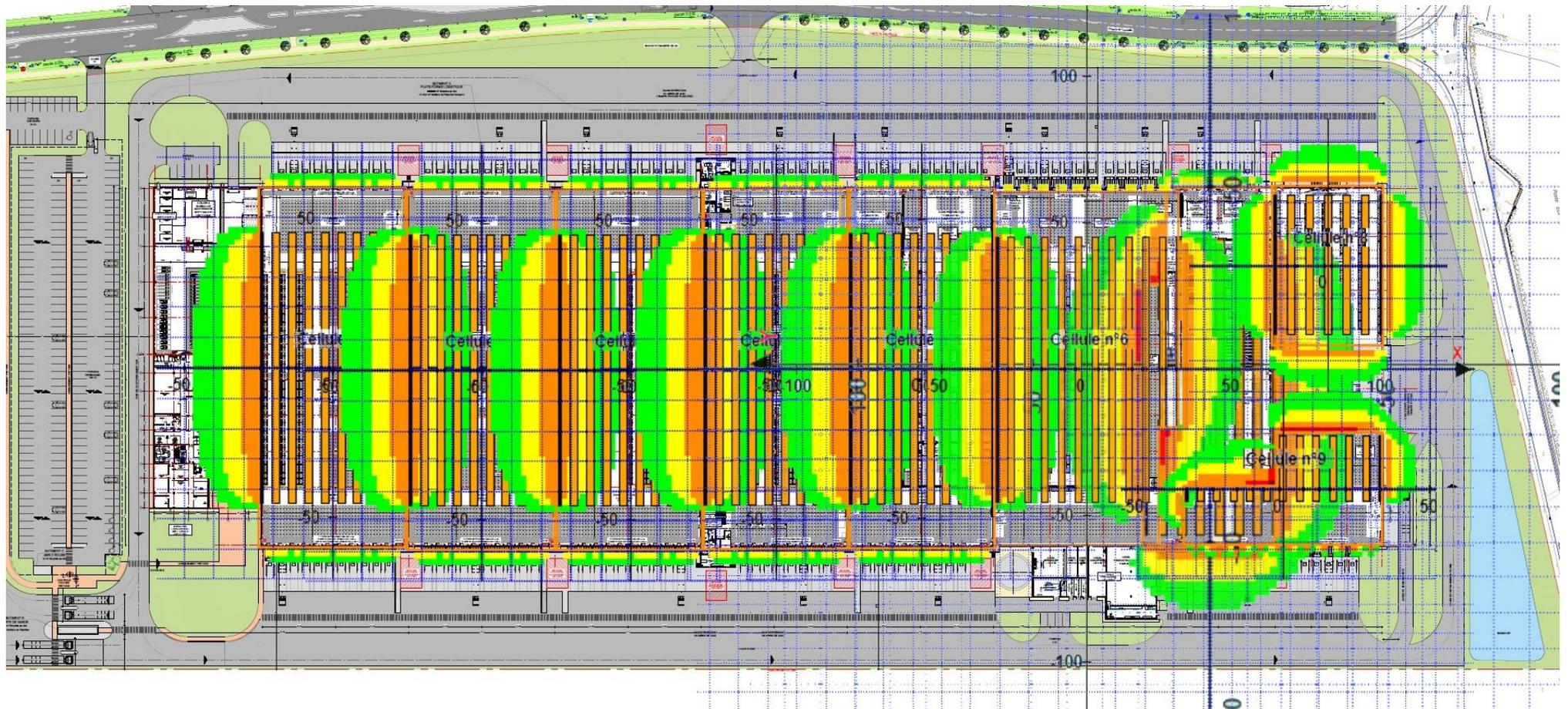
#### 8.1.4 Résultats obtenus

Les fichiers de résultats obtenus pour l'incendie des cellules de stockage étudiées sont présentés en annexe n° 19.

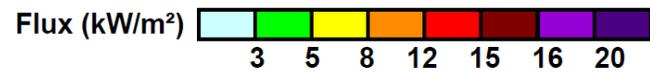
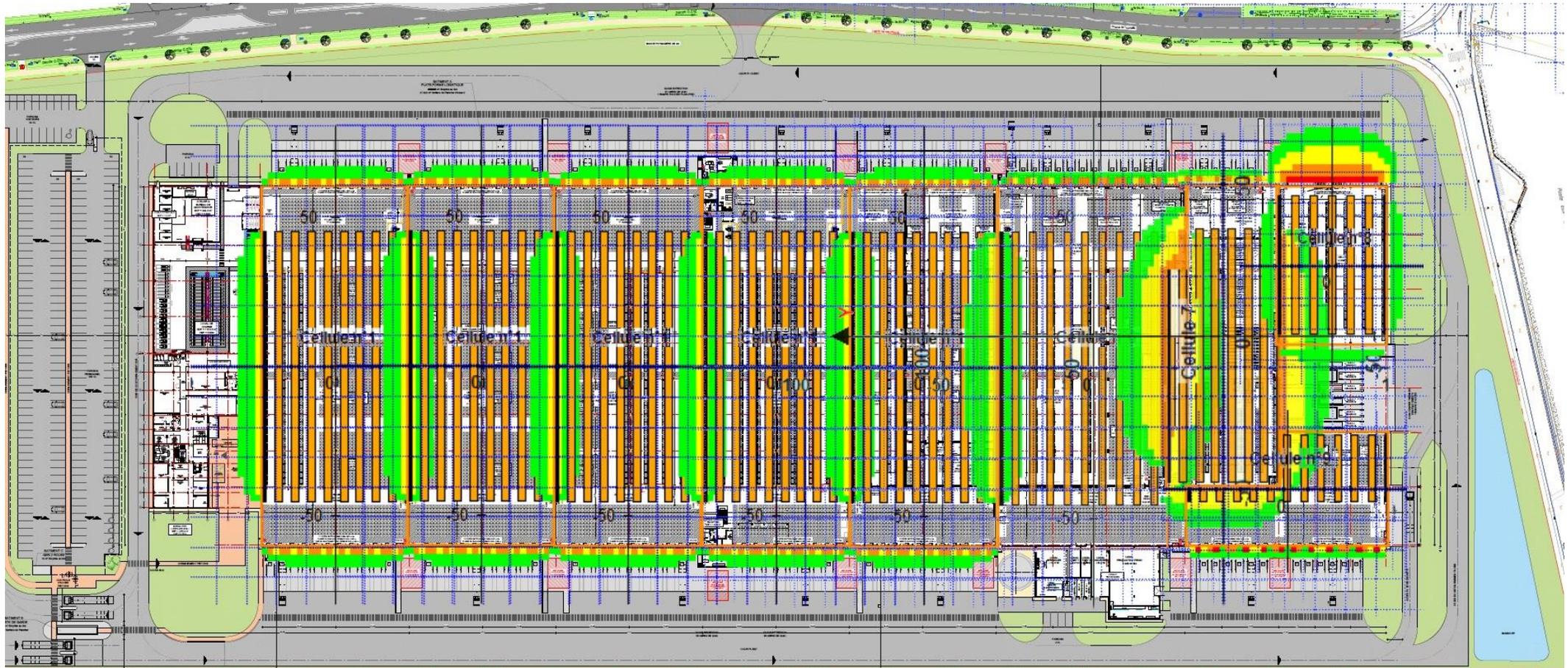
Les plans joints en pages suivantes permettent de visualiser les distances de perception des flux thermiques.



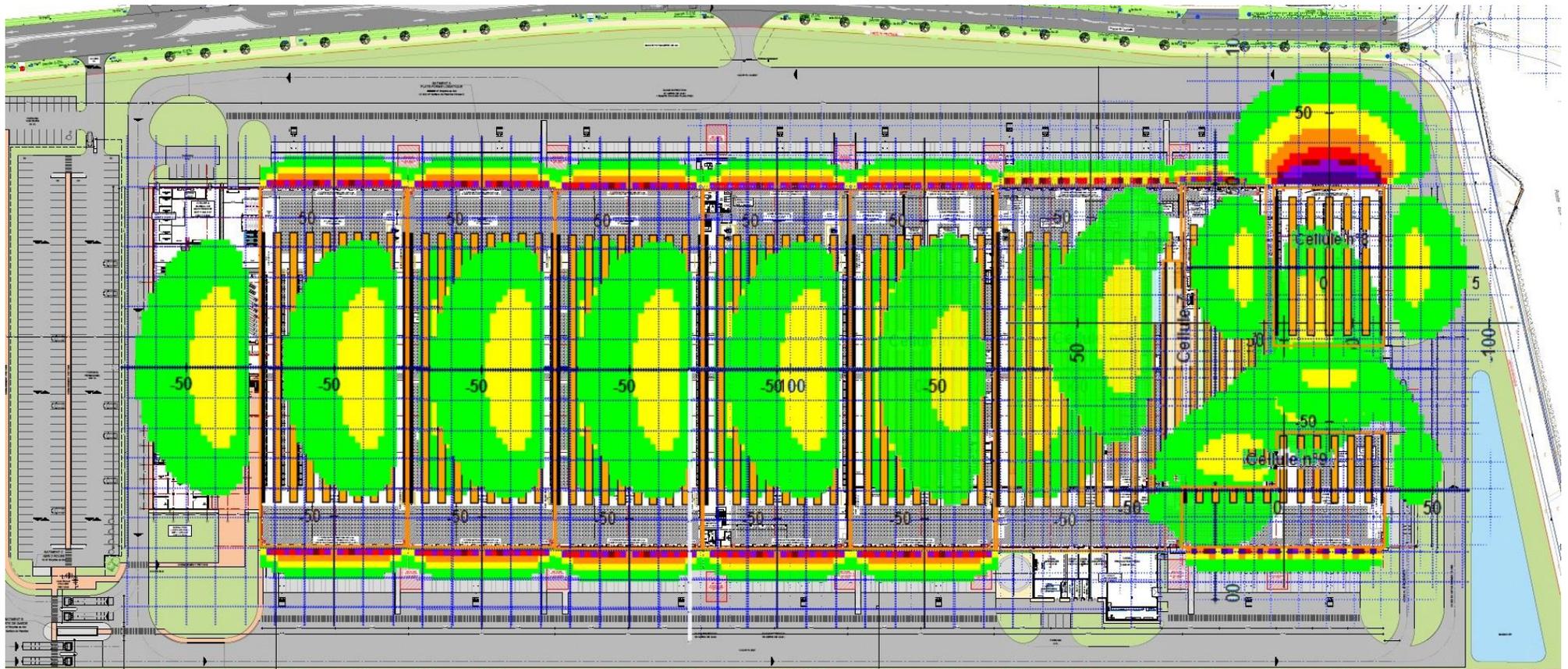
Incendie d'une cellule de stockage  
Stockage 1510



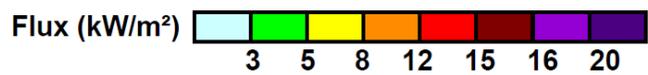
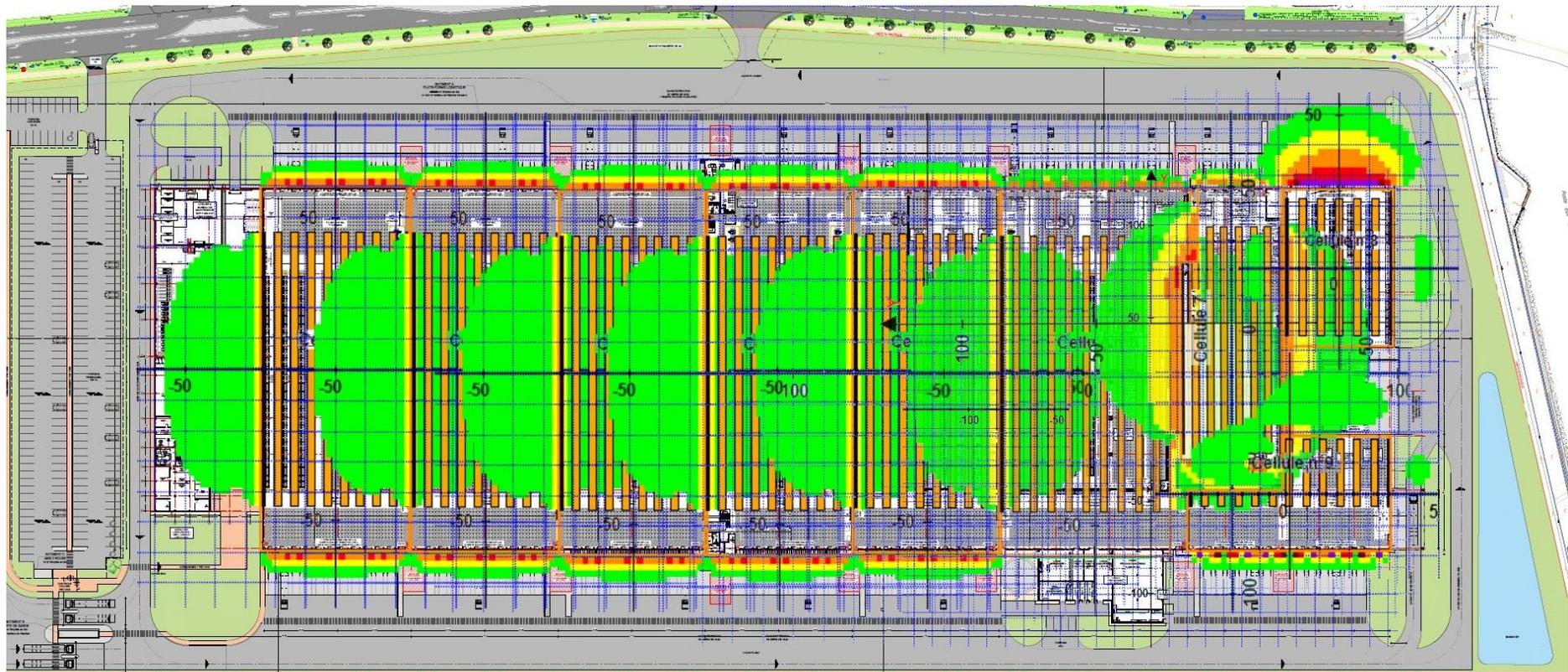
Incendie d'une cellule de stockage  
Stockage 1530



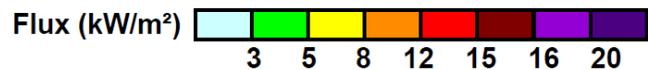
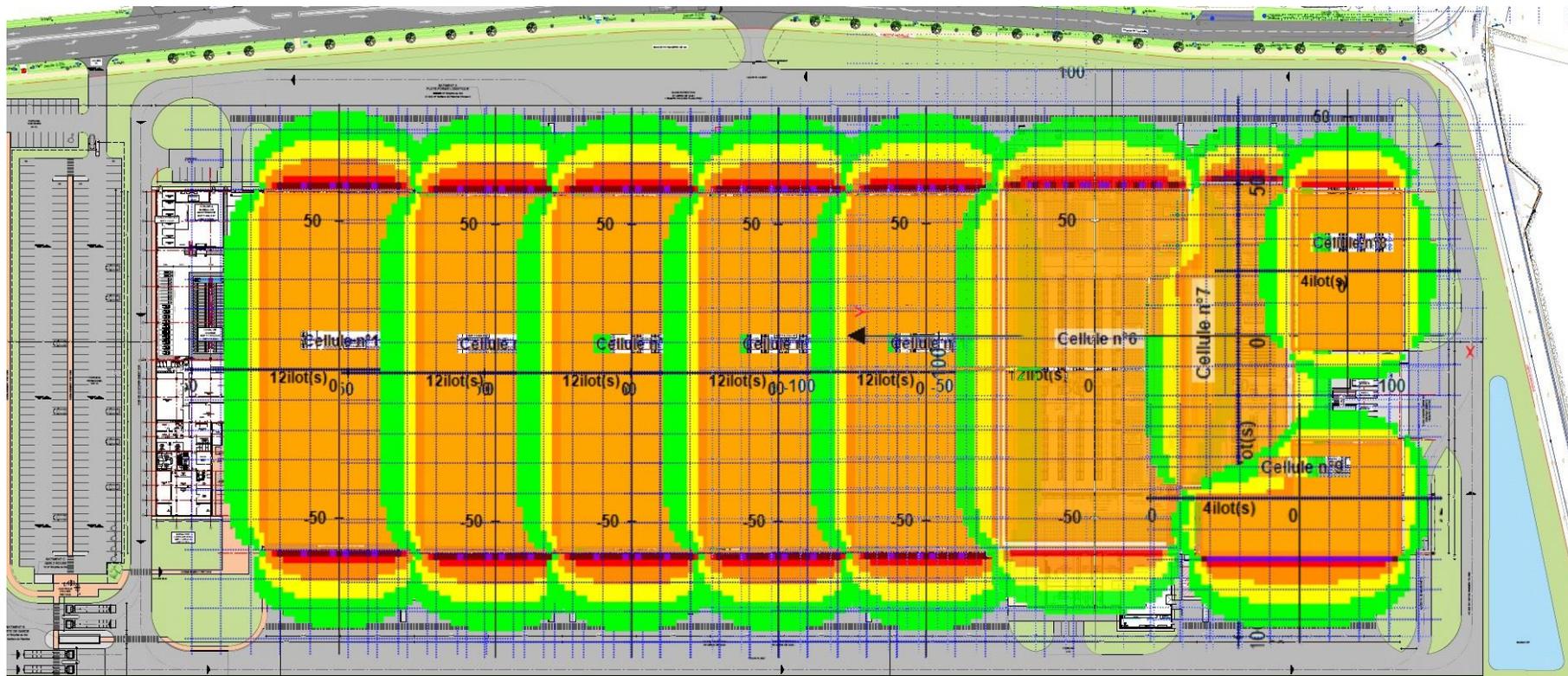
Incendie d'une cellule de stockage  
Storage 1532



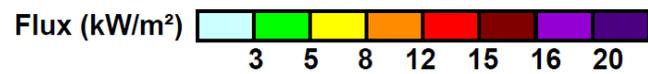
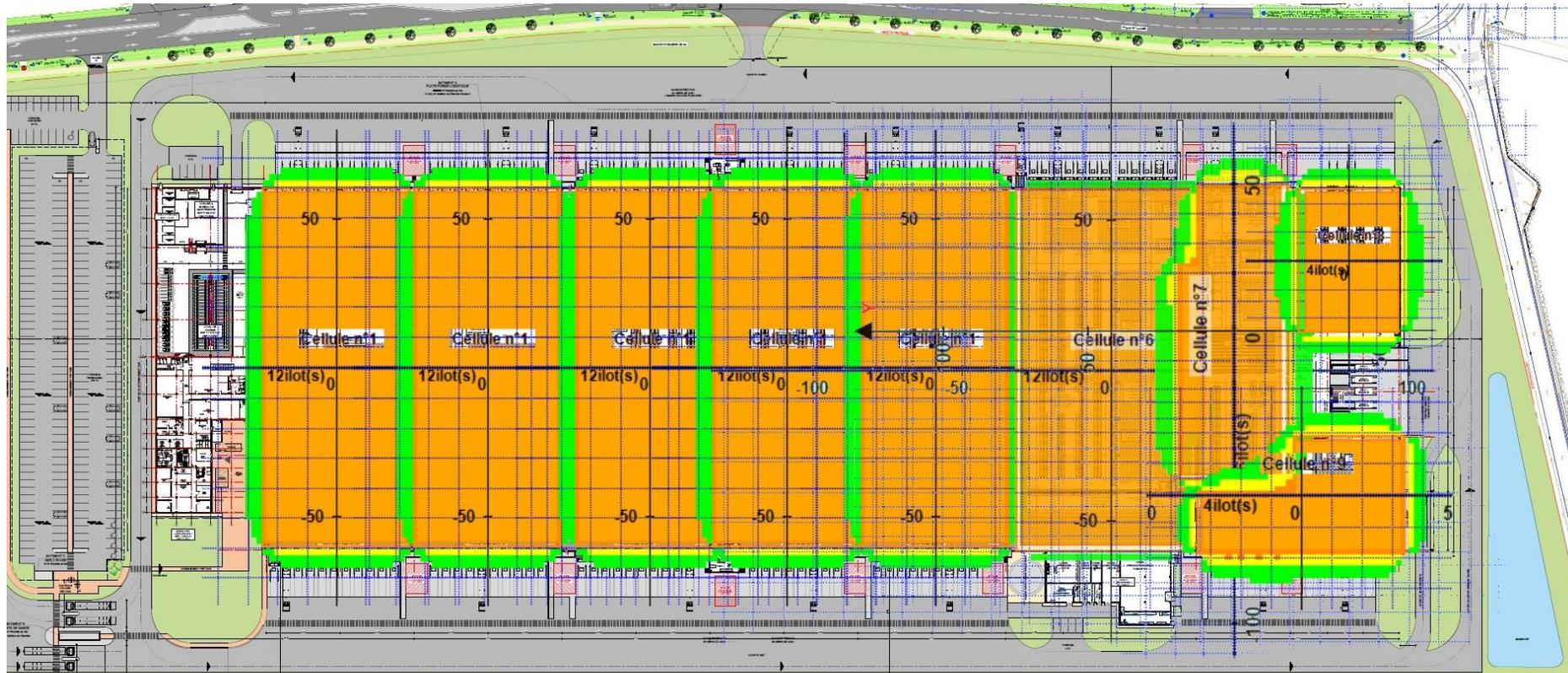
Incendie d'une cellule de stockage  
Stockage 2662



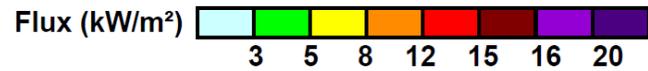
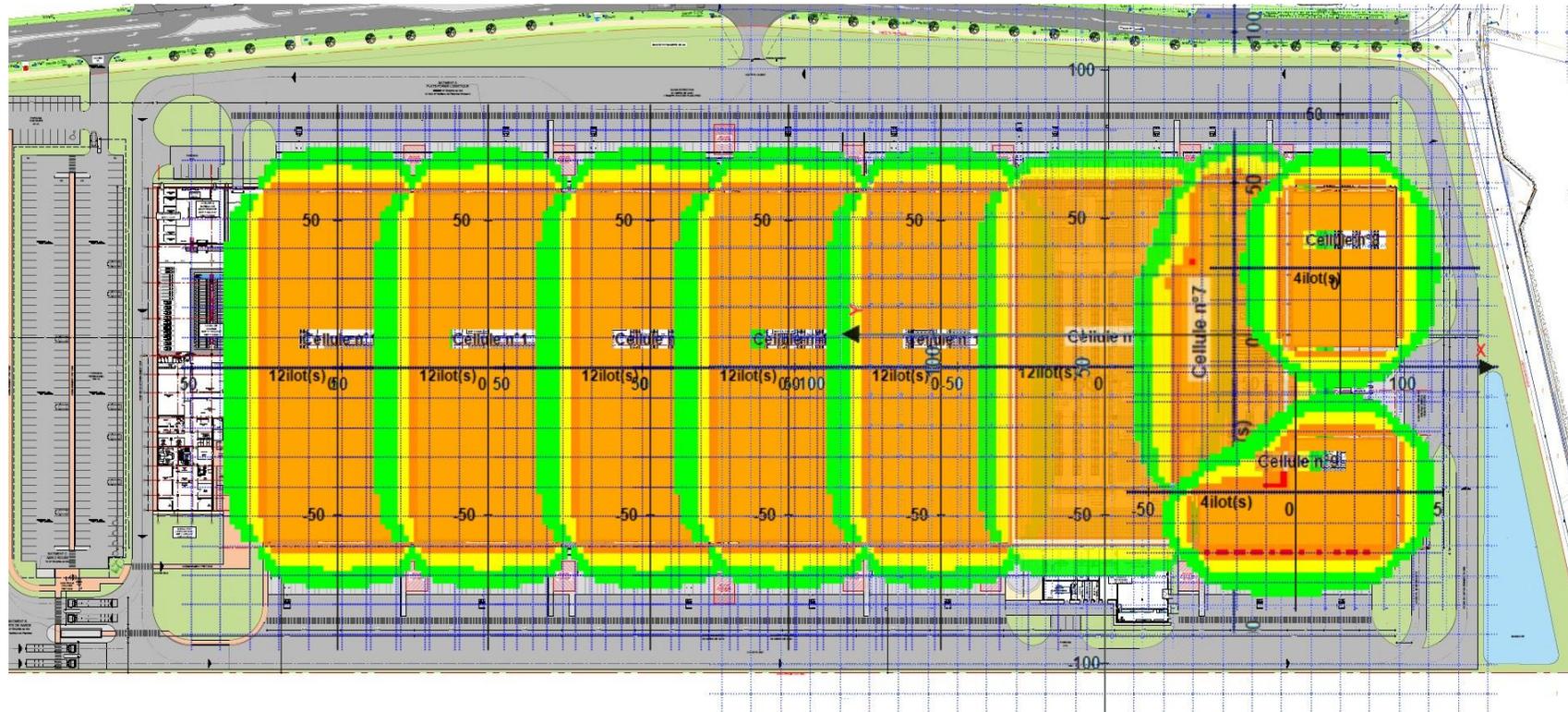
Incendie d'une cellule de stockage  
Stockage 2663



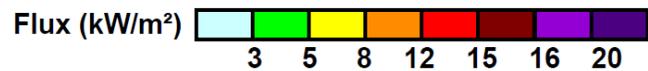
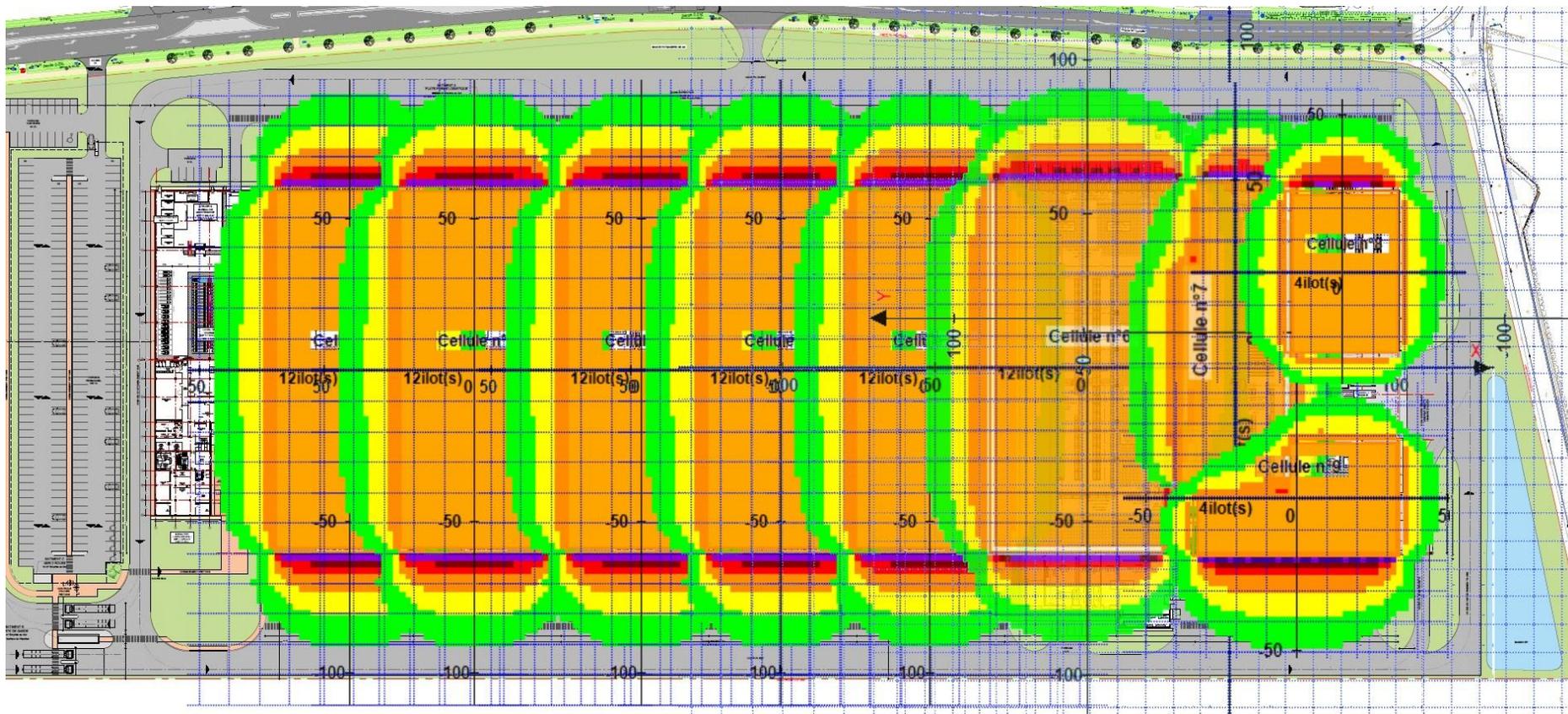
Incendie d'une cellule de stockage  
Stockage 1510 - Masse



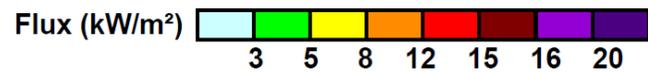
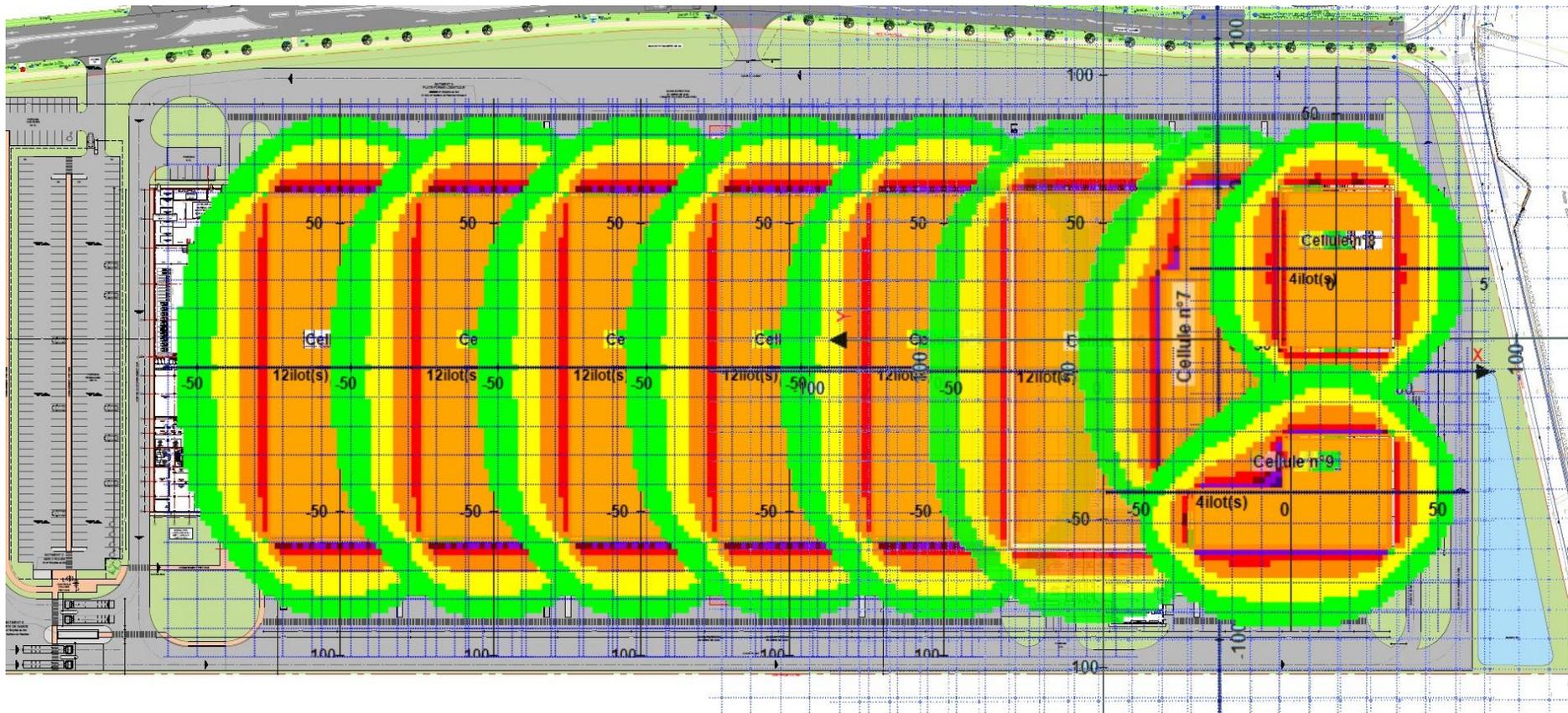
Incendie d'une cellule de stockage  
Stockage 1530 - Masse



**Incendie d'une cellule de stockage**  
**Stockage 1532 - Masse**



Incendie d'une cellule de stockage  
Stockage 2662 - Masse



Incendie d'une cellule de stockage  
Stockage 2663 - Masse

• **Conclusion**

Les schémas de visualisation des flux thermiques ci-avant permettent de constater que, quelle que soit la cellule étudiée et quelle que soit la typologie de produits stockés, en cas d'incendie d'une cellule de stockage :

- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 8 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 5 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 3 kW/m<sup>2</sup> sort côté Nord du site et impacte la Rue du Bois de l'Ecu sur une longueur de 50 mètres environ.

**8.2 Incendie d'une cellule de denrées alimentaires**

Les cellules 5, 6A et 7 de l'établissement pourront abriter un stockage de denrées alimentaires sous température dirigée : température positive pour les cellules 5 et 6A et température négative pour la cellule 7.

Pour l'incendie du stockage de denrées alimentaires dans ces trois cellules, la modélisation a été réalisée à partir de la méthode de calcul FLUMILOG V5.1.1.0 (outil de calcul V5.01).

**8.2.1 Données d'entrée**

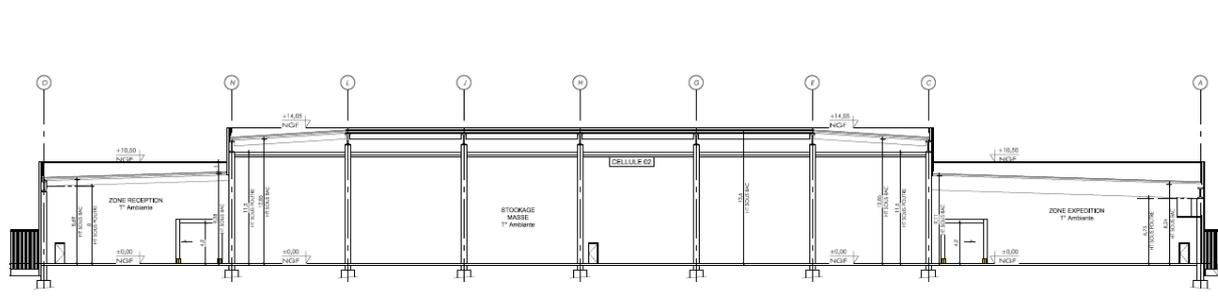
Les caractéristiques des cellules restent inchangées par rapport aux modélisations décrites plus avant. Seule peut changer la hauteur de stockage du fait de la présence de plafond isolant la cellule de stockage des combles.

• **Caractéristiques géométriques des cellules de stockage**

Cellule 5	
Longueur	120,5 m
Largeur	49,3 m
Hauteur sous bac moyenne	13,20 m

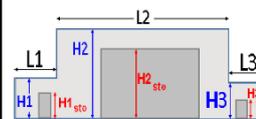
Le bâtiment présentera des hauteurs différentes entre la zone de réception, la zone de stockage et la zone d'expédition.

La coupe de principe de la cellule 5 est présentée ci-dessous :



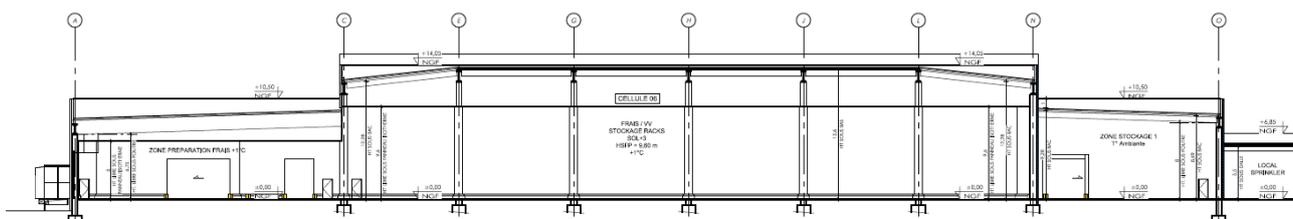
Ces hauteurs multiples ont été intégrées dans la modélisation FLUMILOG :

Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	20,0	81,1	19,4
H (m)	8,7	13,2	9,0
H sto (m)	6,8	11,9	8,0



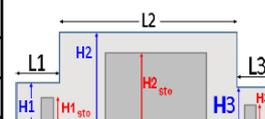
Cellule 6	
Longueur	120,5 m
Largeur	63,6 m
Hauteur sous bac moyenne	13,20 m

La coupe de principe de la cellule 6 est présentée ci-dessous :



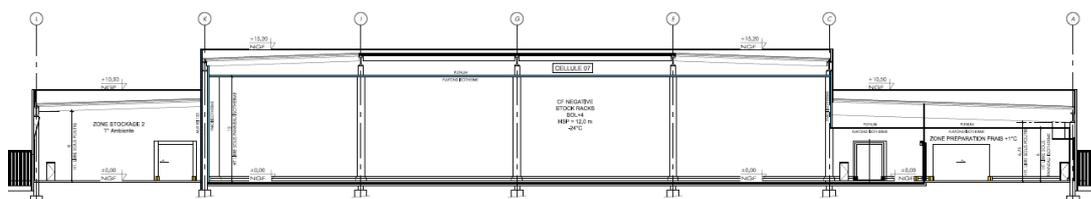
Ces hauteurs multiples ont été intégrées dans la modélisation FLUMILOG :

Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	20,0	81,1	19,4
H (m)	8,7	13,2	9,0
H sto (m)	6,8	9,6	8,0



Cellule 7	
Longueur	100,5 m
Largeur	38,6 m
Hauteur sous bac moyenne	14,20 m

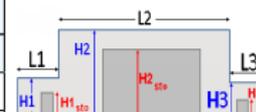
La cellule 7 présentera une hauteur plus importante que les autres cellules de l'établissement. La coupe de principe de cette cellule est présentée ci-dessous :



(17-10-09) - 0864 - COUPE DE PRINCIPE F-F  
Echelle : 1/300 ème

Ces hauteurs multiples ont été intégrées dans les modélisations FLUMILOG :

Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0,0	81,1	19,4
H (m)	0,0	14,2	9,0
H sto (m)	0,0	12,0	8,0



• Modes de stockage dans les cellules

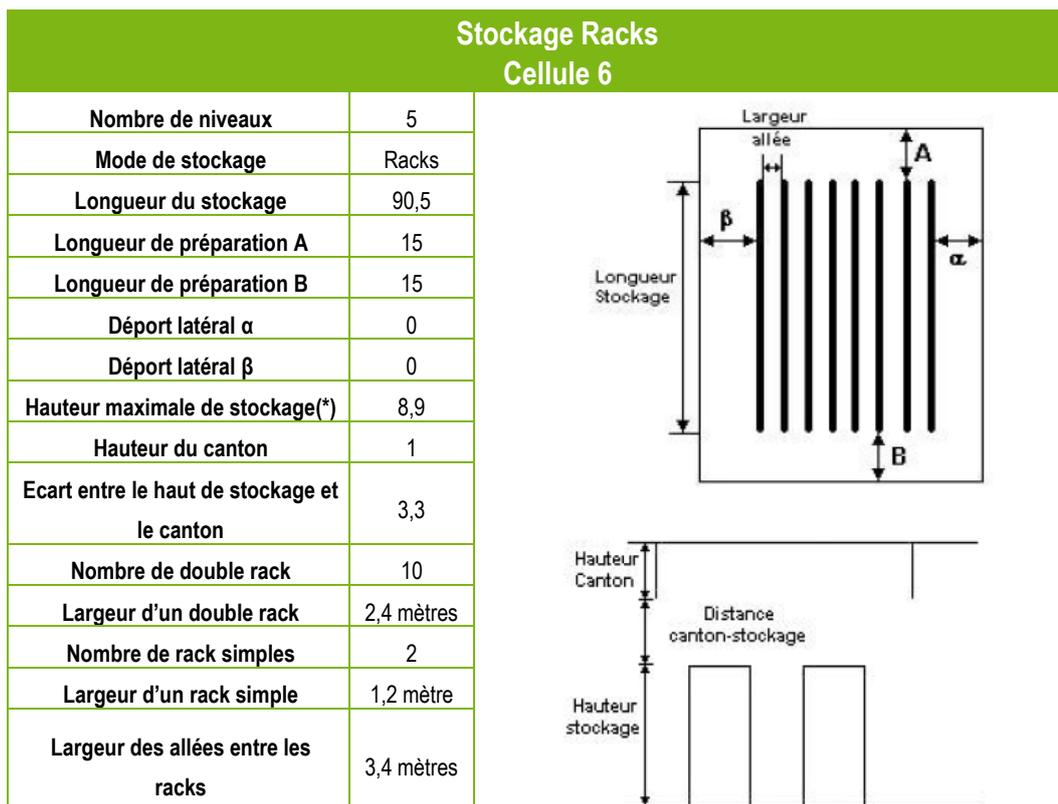
Dans les cellules de l'établissement sous température dirigée, le stockage des denrées alimentaires pourra se faire en masse ou sur racks. Le stockage sur racks permet de stocker le plus grand nombre de palettes. Il est donc le stockage majorant en termes de flux thermiques.

Néanmoins, les modélisations FLUMILOG ont été réalisées sur la base d'un stockage sur racks et d'un stockage en masse.

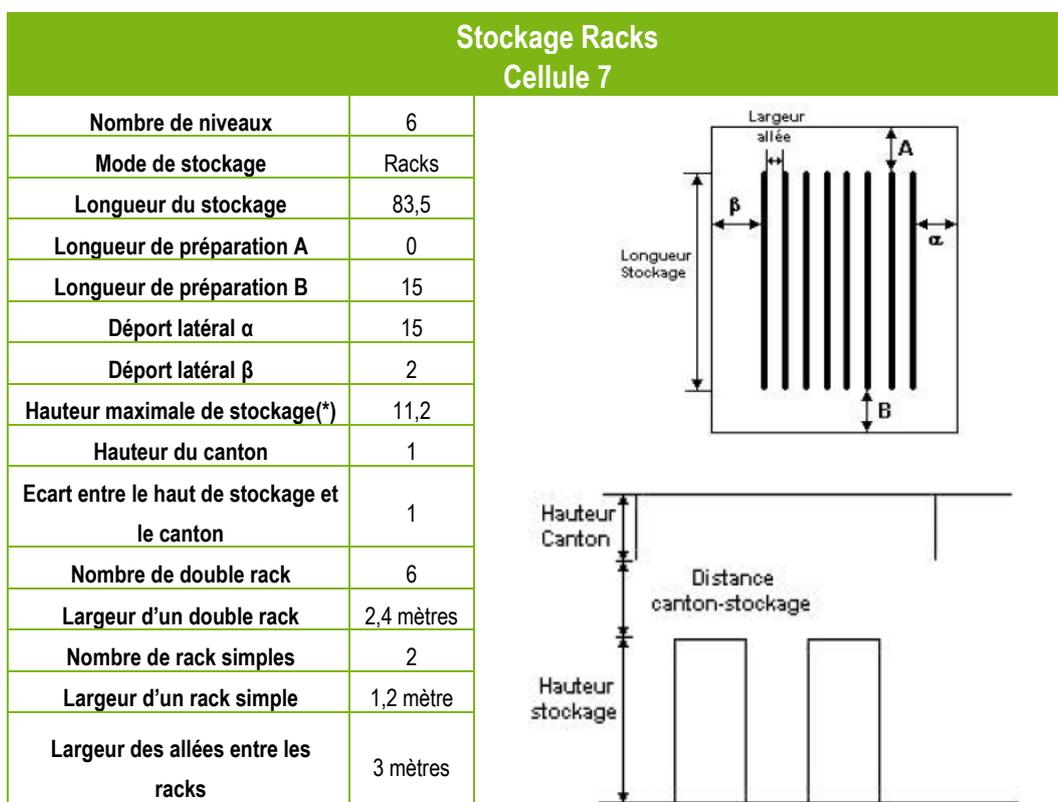
**Stockage Racks  
Cellule 5**

Nombre de niveaux	6	
Mode de stockage	Racks	
Longueur du stockage	90,5	
Longueur de préparation A	15	
Longueur de préparation B	15	
Déport latéral $\alpha$	0	
Déport latéral $\beta$	0	
Hauteur maximale de stockage(*)	10,4	
Hauteur du canton	1	
Ecart entre le haut de stockage et le canton	1.8	
Nombre de double rack	8	
Largeur d'un double rack	2,4 mètres	
Nombre de rack simples	2	
Largeur d'un rack simple	1,2 mètre	
Largeur des allées entre les racks	3,1 mètres	

(\*) La hauteur moyenne de stockage est calculée par le logiciel FLUMILOG sur la base des hauteurs multiples de l'entrepôt précédemment décrites.

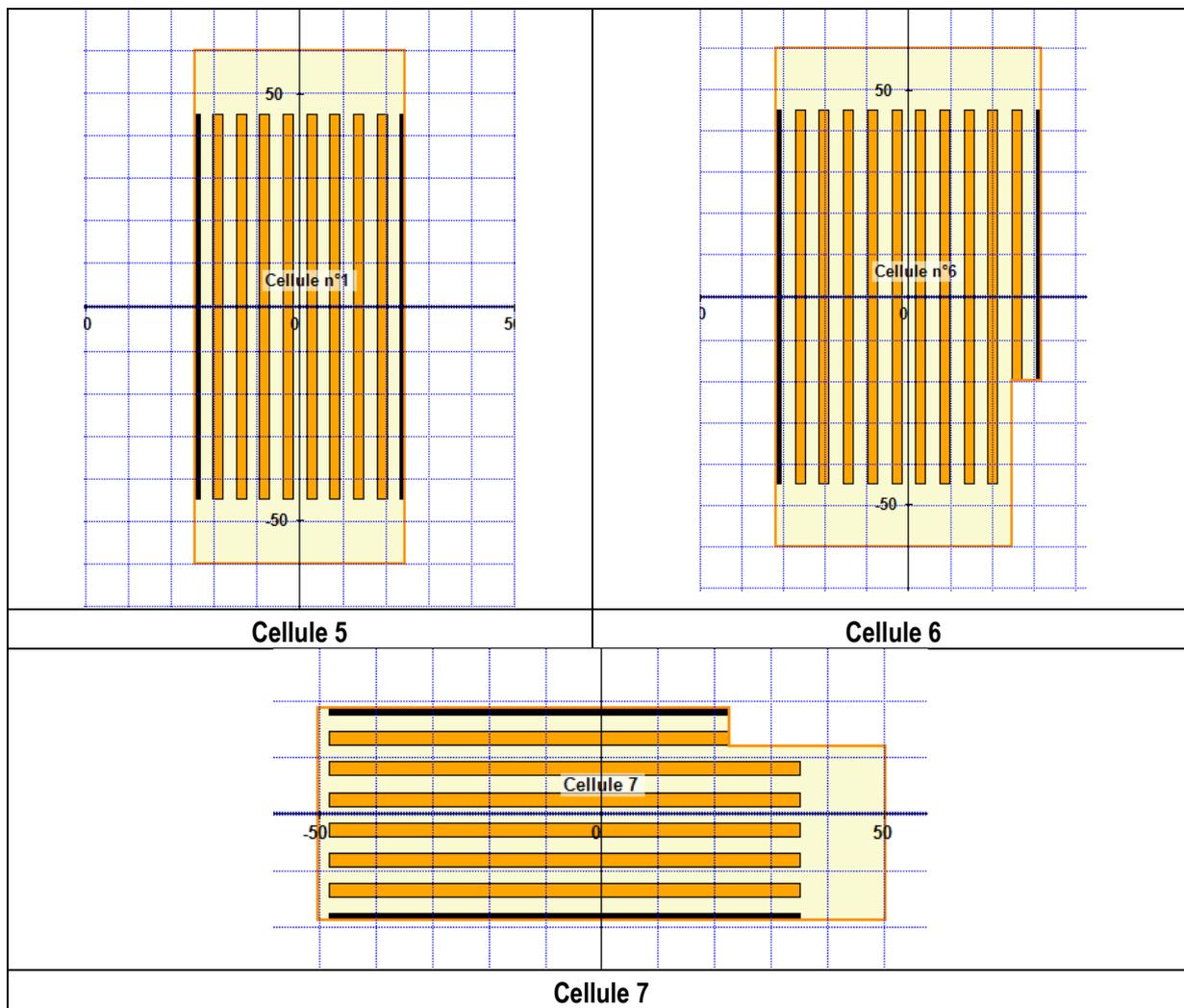


(\*) La hauteur moyenne de stockage est calculée par le logiciel FLUMILOG sur la base des hauteurs multiples de l'entrepôt précédemment décrites.



(\*) La hauteur moyenne de stockage est calculée par le logiciel FLUMILOG sur la base des hauteurs multiples de l'entrepôt précédemment décrites.

Ce stockage correspond aux plans de racking suivants :

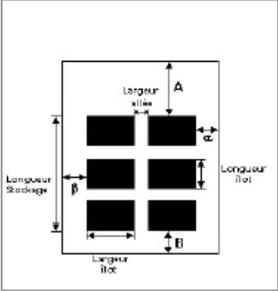
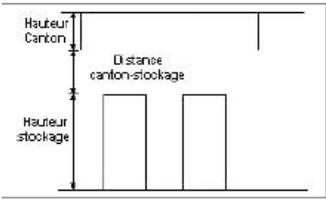


Stockage Masse Cellule 5	
Mode de stockage	Masse
Longueur de préparation A	1
Longueur de préparation B	1,5
Déport latéral $\alpha$	1
Déport latéral $\beta$	0,3
Hauteur du canton	1
Nombre d'îlots dans le sens de la longueur	6
Nombre d'îlots dans le sens de la largeur	2
Largeur des îlots	23 mètres
Longueur des îlots	18 mètres
Hauteur des îlots	8 mètres
Largeur des allées entre les îlots	2 mètres

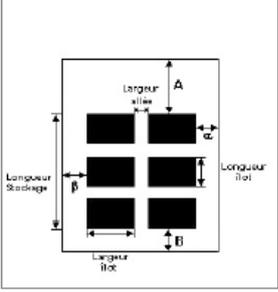
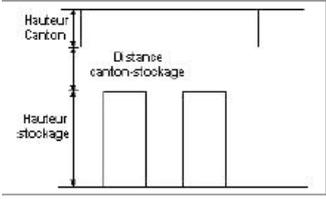
A top-down layout diagram showing a 2x6 grid of storage blocks. The grid is labeled with 'Longueur îlot' (island length) and 'Largeur îlot' (island width). Dimensions A and B are shown for the grid. Lateral offsets alpha and beta are also indicated.

A side view diagram of the storage blocks. It shows the 'Hauteur canton' (canton height) and the 'Hauteur stockage' (storage height). The 'Distance canton-stockage' (canton-storage distance) is also indicated.

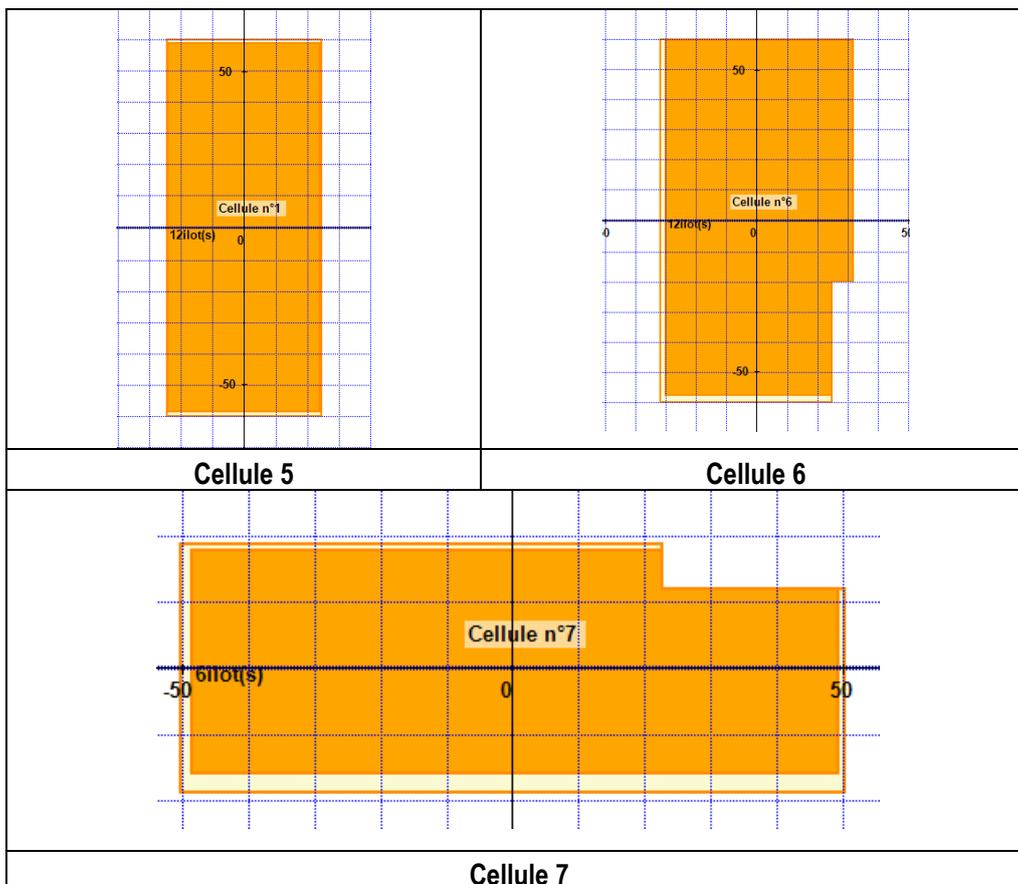
Stockage Masse Cellule 6	
Mode de stockage	Masse
Longueur de préparation A	0
Longueur de préparation B	2,5
Déport latéral $\alpha$	0
Déport latéral $\beta$	1,6
Hauteur du canton	1
Nombre d'îlots dans le sens de la longueur	6
Nombre d'îlots dans le sens de la largeur	2
Largeur des îlots	30 mètres
Longueur des îlots	18 mètres
Hauteur des îlots	8 mètres
Largeur des allées entre les îlots	2 mètres

Stockage Masse Cellule 7	
Mode de stockage	Masse
Longueur de préparation A	1
Longueur de préparation B	3
Déport latéral $\alpha$	1
Déport latéral $\beta$	1,5
Hauteur du canton	1
Nombre d'îlots dans le sens de la longueur	3
Nombre d'îlots dans le sens de la largeur	2
Largeur des îlots	48 mètres
Longueur des îlots	10 mètres
Hauteur des îlots	8 mètres
Largeur des allées entre les îlots	2 mètres

Ce stockage correspond aux plans suivants :

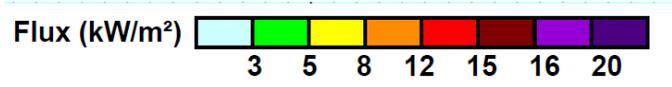


- **Marchandises entreposées**

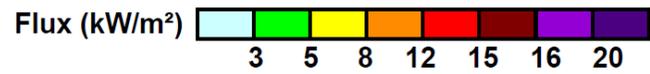
Ces modélisations sont basées sur la palette type 1511.

### 8.2.2 Résultats obtenus

Les fichiers de résultats obtenus pour l'incendie des cellules de stockage étudiées sont présentés en annexe n° 20.



Incendie d'une cellule de stockage  
Stockage 1511



Incendie d'une cellule de stockage  
Stockage 1511 - Masse

- **Conclusion**

Les schémas de visualisation des flux thermiques ci-avant permettent de constater que, quelle que soit la cellule étudiée, en cas d'incendie d'une cellule de stockage de denrées alimentaires :

- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 8 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 5 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 3 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.

## 8.3 Incendie de la zone de stockage des générateurs aérosols

---

### 8.3.1 *Calculs de rayonnement thermique*

- **Méthode utilisée**

Pour les incendies d'aérosols, la méthode de modélisation FLUMILOG n'est pas adaptée.

Pour cette typologie de produits, la méthode de calcul utilisée est le modèle de la flamme solide à une zone.

Il s'agit d'une modélisation de l'incendie sous la forme d'un feu de nappe impliquant des matières fondues épandues au sol sur toute la surface de la cellule.

Dans cette méthode, la flamme est assimilée à un volume de forme simple (parallélépipède) dont l'ensemble de la surface rayonne uniformément ce qui revient à considérer une température et une composition homogènes sur toute la surface de la flamme.

La hauteur de flamme est calculée à partir de la corrélation de Thomas.

Les distances auxquelles les seuils de 5 kW/m<sup>2</sup> et de 3 kW/m<sup>2</sup> sont perçus sont calculées à partir de la formule de Sparrow et Cess présentée ci-après.

- **Calcul de la hauteur de flamme**

L'incendie de générateurs d'aérosols a fait l'objet d'une campagne d'étude de l'INERIS, synthétisée dans le rapport « Modélisation d'un incendie affectant un stockage de générateurs d'aérosols ».

Cette étude montre qu'un incendie se développant dans un stockage de générateurs d'aérosols se caractérise par un développement très rapide et par un rayonnement intense de la flamme : il se produit une succession de BLEVE individuels de chaque générateur qui donne lieu à l'apparition d'une boule de feu de faible diamètre au moment de l'éclatement de chaque boîtier, compte tenu des volumes unitaires mis en jeu.

Au plus fort de l'incendie, la cadence des BLEVE est telle qu'il s'en produit plusieurs quasi simultanément et la boule de feu résultante se présente sous la forme d'un mur de flammes dont les dimensions sont en proportion de cette cadence.

Le mur de flammes présente, pendant le régime maximal du feu, des caractéristiques géométriques relativement stables (longueur et hauteur) ainsi qu'une puissance rayonnée apparemment élevée.

L'INERIS indique que les essais réalisés permettent de retenir les hypothèses suivantes :

- le flux de chaleur émis par la boule de feu a été estimé ; les interprétations des essais conduisent à retenir une valeur moyenne de 70 à 100 kW/m<sup>2</sup>, pour une propulsion au G.P.L. ou au DME,
- la hauteur des flammes au-dessus des palettes a été estimée à environ 5 m pour une palette, 8 m pour trois palettes et 10 m pour deux niveaux de trois palettes. Il semblerait

que l'on puisse retenir, de façon plausible, une hauteur d'une dizaine de mètres au-dessus du dernier niveau de stockage.

En conséquence nous considérerons pour la modélisation de l'incendie de la cellule de stockage des aérosols une hauteur de flamme de 21,9 m pour une émissivité de la source égale à 100 kW/m<sup>2</sup>

### 8.3.2 Calcul du flux perçu

Le flux perçu est calculé par la formule suivante :

$$\Phi = \Phi_0 \times F \times \tau$$

Où :

F est le facteur de vue,

$\Phi_0$  est la radiation émise à la surface de la flamme

$\tau$  est le coefficient de transmission atmosphérique

- **Estimation de la radiation émise par la flamme  $\Phi_0$**

Le pouvoir émissif de la flamme correspond à la quantité de chaleur rayonnée par unité de surface de flamme et de temps.

C'est un paramètre prépondérant pour le calcul de la propagation du rayonnement.

Compte tenu de la quantité limitée de liquides inflammables pouvant être stockés dans les cellules dédiées par rapport au reste du stockage, l'émissivité de la flamme est prise égale à 50 kW/m<sup>2</sup>.

Cette hypothèse nous semble majorante. A titre d'exemple, suite aux résultats de l'opération Proserpine menée sur un feu de pétrole brut de Parentis d'une surface de 2 000 m<sup>2</sup>, le CES/CESTA propose de retenir à la suite de ces essais un pouvoir émissif de 30 kW/m<sup>2</sup>.

- **Estimation du coefficient de transmission atmosphérique**

Le rayonnement émis par une flamme est partiellement absorbé par l'air ambiant du fait de l'absorption des radiations infrarouges par la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone contenus dans l'atmosphère.

Le facteur de transmission atmosphérique est calculé à partir de la corrélation de Brzustowski et Sommer :

$$\tau = 0,79 \times \left( \frac{100}{c} \right)^{1/16} \times \left( \frac{30,5}{RH} \right)^{1/16}$$

Avec RH : taux d'humidité relative de l'air (en %)

C : distance entre le centre de la flamme et la cible en mètres

Pour la plupart des régions françaises, le taux moyen d'humidité relative de l'air est d'environ 70%.

Nous retiendrons donc pour le calcul du coefficient de transmission atmosphérique un taux d'humidité de l'air de 70%.

- **Calcul du facteur de forme F**

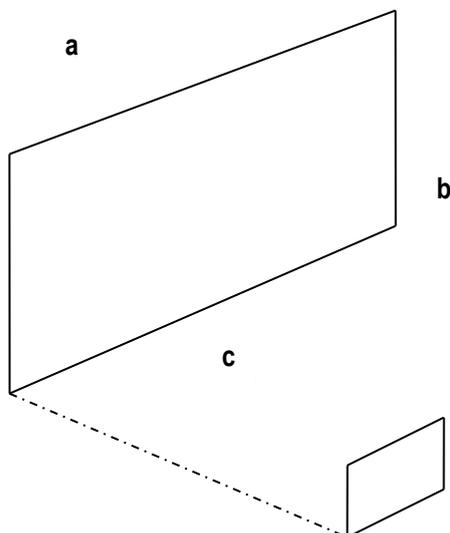
Le facteur de forme est la fraction d'énergie émise par une surface qui est perçue par une autre surface.

Dans le cas de deux surfaces parallèles, le facteur de forme est exprimé par la formule suivante :

$$Fv = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \operatorname{Arctg} \left( \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \operatorname{Arctg} \left( \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \right]$$

Où :

$X = a/d$  et  $Y = b/d$



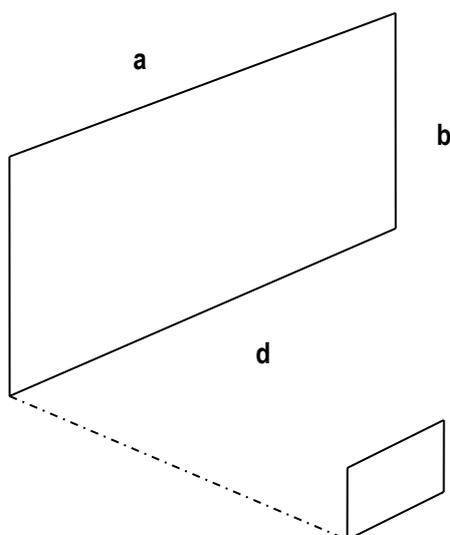
Pour une surface élémentaire orientée perpendiculairement au plan émetteur (cible horizontale), le facteur de forme est déduit à partir de la formule suivante :

$$Fh = \frac{1}{2\pi} \left( \operatorname{Arc} \tan \frac{1}{Y} - A * Y * \operatorname{Arc} \tan A \right)$$

Où :

$$A = \frac{1}{\sqrt{(X^2 + Y^2)}}$$

$X = a/b$  et  $Y = c/b$  et



Le facteur de forme maximal,  $F_{\max}$ , à une distance donnée est alors donné par la formule suivante :

$$F_{\max} = \sqrt{Fh^2 + Fv^2}$$

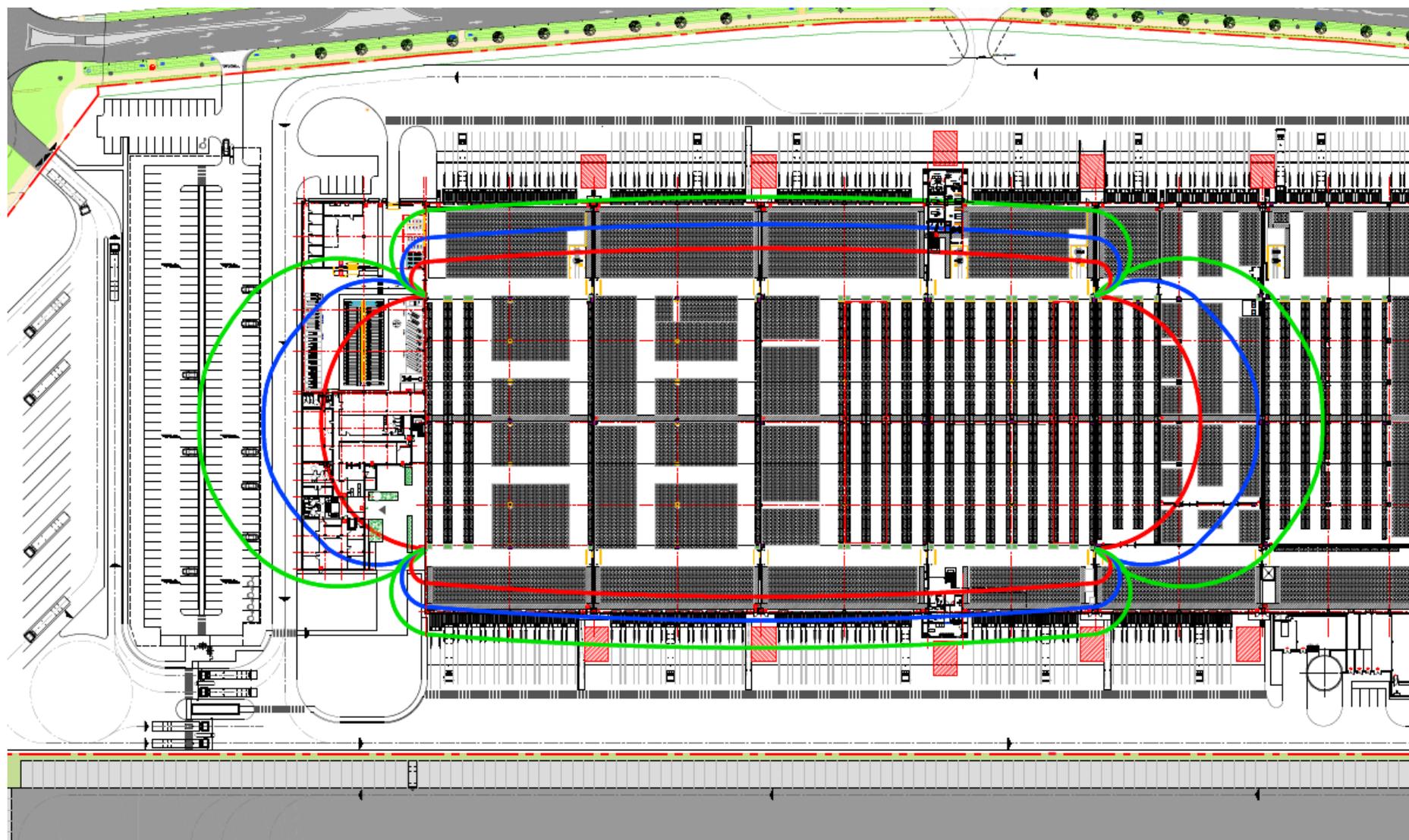
### 8.3.3 Résultats de la modélisation

Les distances maximales de perception des flux thermiques en **dehors de la zone grillagée** sont indiquées dans le tableau suivant :

Zone grillagée de stockage des aérosols		Flux de 8 kW/m <sup>2</sup>	Flux de 5 kW/m <sup>2</sup>	Flux de 3 kW/m <sup>2</sup>
Longueur 74 m Avec MCF 12 m	Centre	Non perçu	29 m	52 m
	Quart	27 m	44 m	64 m
	Angle	31 m	48 m	67 m
Largeur 6 m Sans écran thermique	Centre	14 m	21 m	29 m
	Quart	14 m	21 m	29 m
	Angle	14 m	21 m	29 m

Le plan joint en page suivante permet de visualiser les distances de perception des flux thermiques.

Les flux de 16, 20 et 200 kW/m<sup>2</sup> ne sont pas perçus dans le cas de l'incendie d'une cellule du bâtiment.



**Légende :**

-  Flux thermique 8 kW/m<sup>2</sup>
-  Flux thermique 5 kW/m<sup>2</sup>
-  Flux thermique 3 kW/m<sup>2</sup>

Incendie de la zone de stockage des aérosols

- **Conclusion**

Les schémas de visualisation des flux thermiques ci-avant permettent de constater que, quelle que soit la cellule étudiée, en cas d'incendie de la zone de stockage des aérosols :

- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 8 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 5 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 3 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.

#### **8.4 Incendie de la zone de stockage des alcools de bouche d'origine agricole**

Il est prévu de pouvoir stocker des alcools de bouche dans chaque cellule à l'exclusion des deux zones de préparation de commande de 24 m de large au droit des façades Est et Ouest de l'établissement.

Les alcools de bouche seront stockés sur des palettes, elles-mêmes stockées sur des racks. Les alcools de bouche pourront être entreposés sur toute la hauteur de stockage (11,90 m).

Le nombre d'équivalents palettes d'alcool de bouche stocké sur le site sera de l'ordre de 1 110.

Le poids moyen d'une palette d'alcool de bouche est en moyenne de 900 kg et chaque palette contient en moyenne 590 l de liquide.

Les alcools de bouche d'origine agricole seront entreposés sur des dispositifs de rétention internes dimensionnés pour permettre la rétention de 20% de la capacité globale des réservoirs associés.

Il n'existe pas de modélisation spécifique FLUMILOG pour les alcools de bouche (classement 4755). A défaut, il a été retenu une hypothèse majorante en utilisant la modélisation « liquides inflammables » sur le logiciel FLUMILOG.

Pour les liquides inflammables, il est important de noter que, contrairement aux feux de solides, les combustibles liquides sont supposés occuper toute la surface de la cellule au cours du calcul de sorte à obtenir un feu de nappe généralisé à l'ensemble de la surface la cellule. Ainsi, quelle que soit la configuration géométrique de stockage entrée par l'utilisateur, la nappe est supposée occuper toute la surface au sol de la cellule. Les dimensions d'îlot, de racks ou de palettes n'ont aucune influence sur les résultats. Il est à remarquer que, lorsque la longueur de la cellule est supérieure à 2,5 fois la largeur de celle-ci, alors le diamètre équivalent est pris égal à la largeur de la cellule.

Toutes les grandeurs physiques présentées sont constantes dans le temps. Le logiciel FLUMILOG n'intègre pas la cinétique mais prend en compte un feu de nappe au sol

- **Hypothèses**

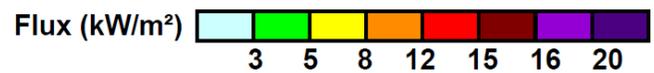
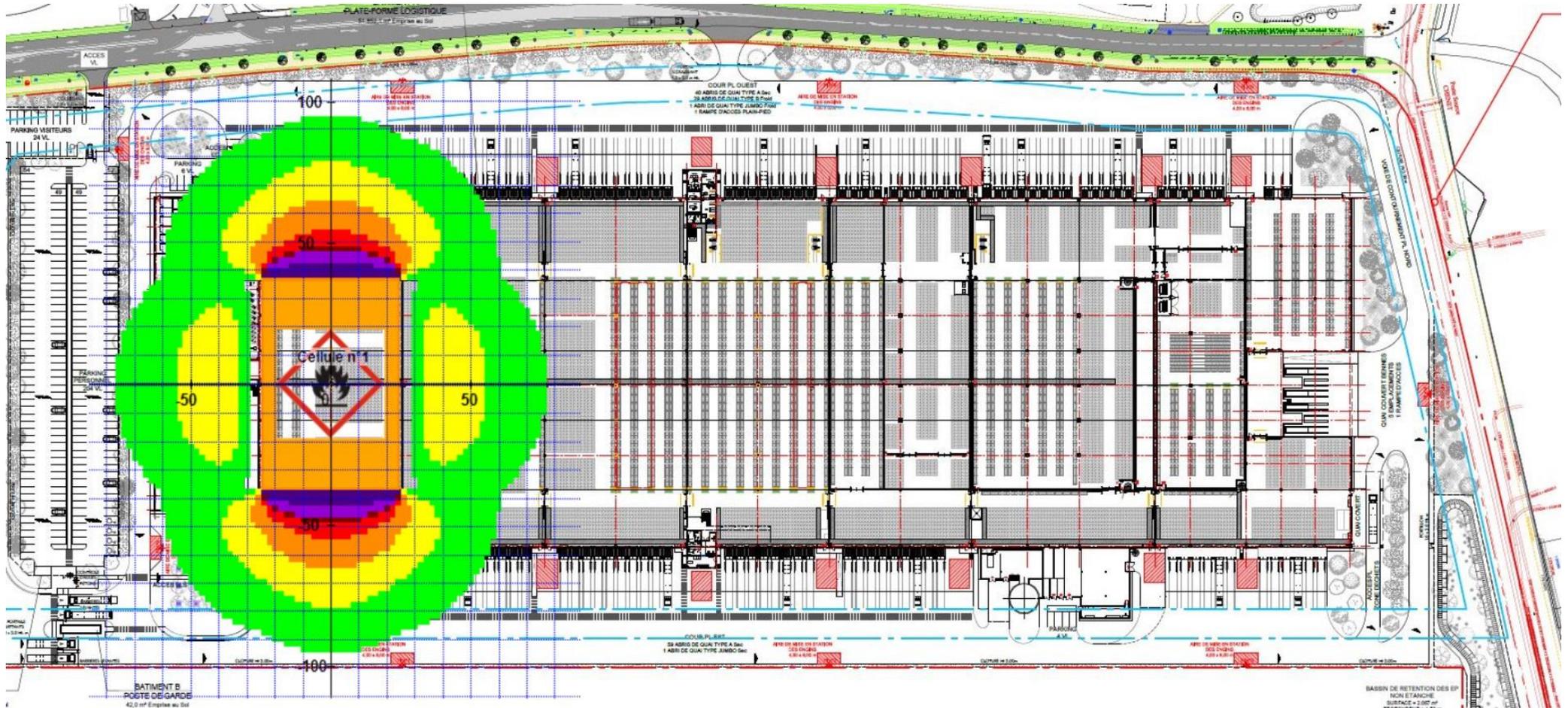
Les dimensions de la nappe en feu au sol, définies par les pentes dans les cellules sont !

<b>Cellules 1 à 3</b>	
Longueur	74 m
Largeur	49,3 m

Ces hypothèses sont extrêmement majorantes puisqu'on considère une occupation de la cellule exclusivement par des alcools de bouche ce qui est très au dessus du ratio réel d'alcool de bouche par rapport aux produits combustibles courants dans une cellule (1 100 palettes d'alcools de bouche dans une cellule pouvant contenir 12 000 palettes de produits combustibles courants).

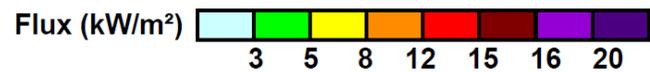
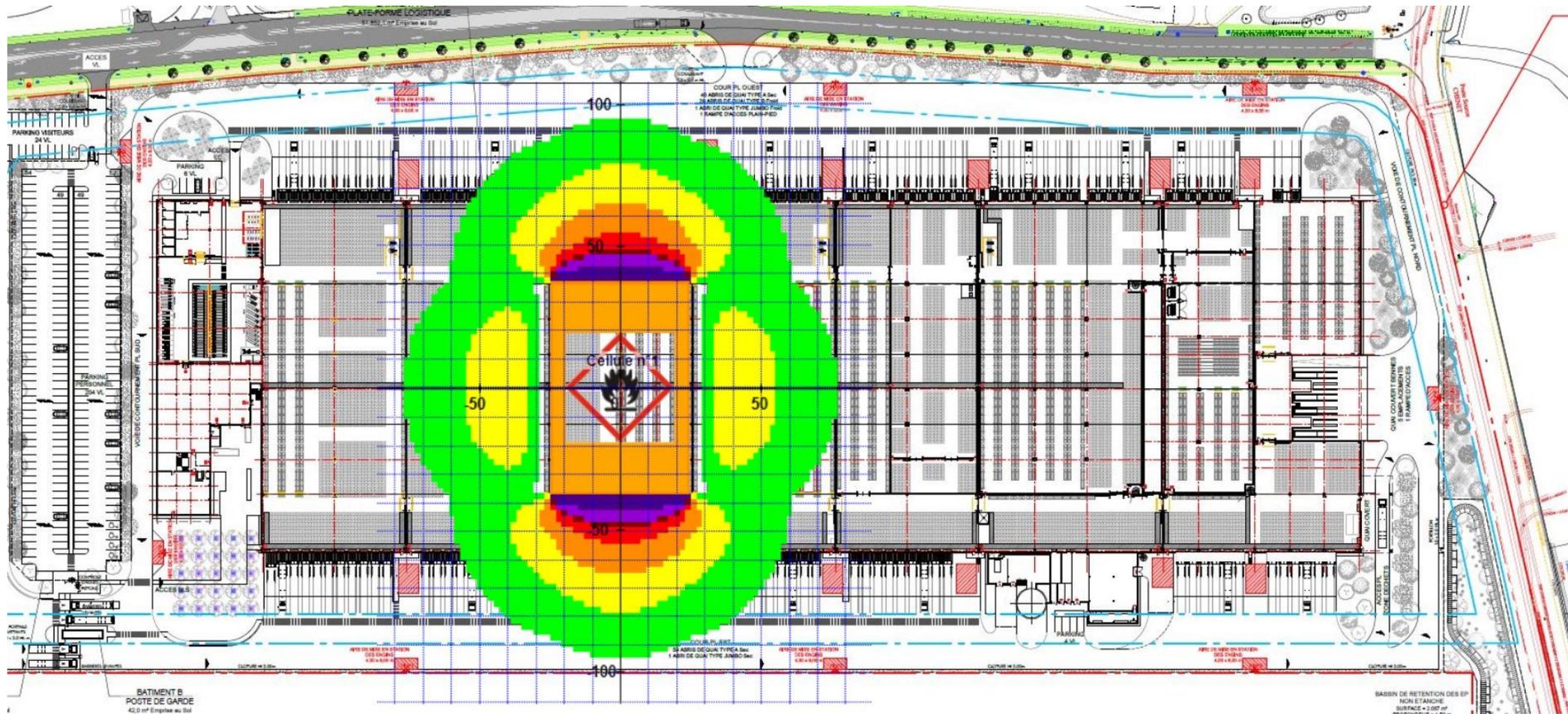
- **Résultats obtenus**

Les résultats obtenus sont représentés sur les schémas ci-après.



Incendie de la zone de stockage des alcools de bouche





Incendie de la zone de stockage des alcools de bouche

Les schémas de visualisation des flux thermiques ci-avant permettent de constater que, quelle que soit la cellule étudiée, en cas d'incendie de la zone de stockage des alcools de bouche :

- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 8 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 5 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 3 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.

## 8.5 Incendie de trois cellules de stockage de produits combustibles

Ce scénario est basé sur l'hypothèse d'une transmission de l'incendie d'une cellule aux deux cellules voisines. Nous considérons donc l'incendie simultané de trois cellules de stockages.

La méthode de calcul utilisée est la même que pour une seule cellule : la modélisation a été basée sur le logiciel FLUMILOG.

Le logiciel permet de modéliser la propagation dans le temps de l'incendie de la première cellule vers les cellules voisines.

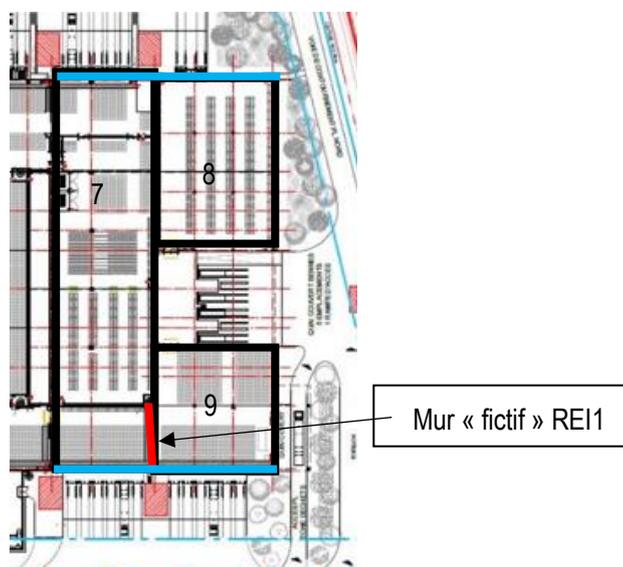
Il ne peut y avoir d'aérosols que dans une seule cellule de l'établissement, le scénario d'incendie de trois cellules de stockage de générateurs aérosols n'a donc pas été retenu.

Il ne peut y avoir d'alcools de bouche que dans une seule cellule de l'établissement, le scénario d'incendie de trois cellules de stockage d'alcools de bouche n'a donc pas été retenu.

### 8.5.1 Données d'entrée

Le logiciel FLUMILOG ne permet pas « d'imbriquer » les cellules 7 et 9.

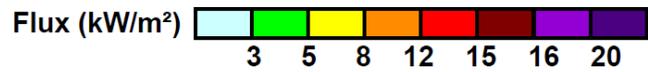
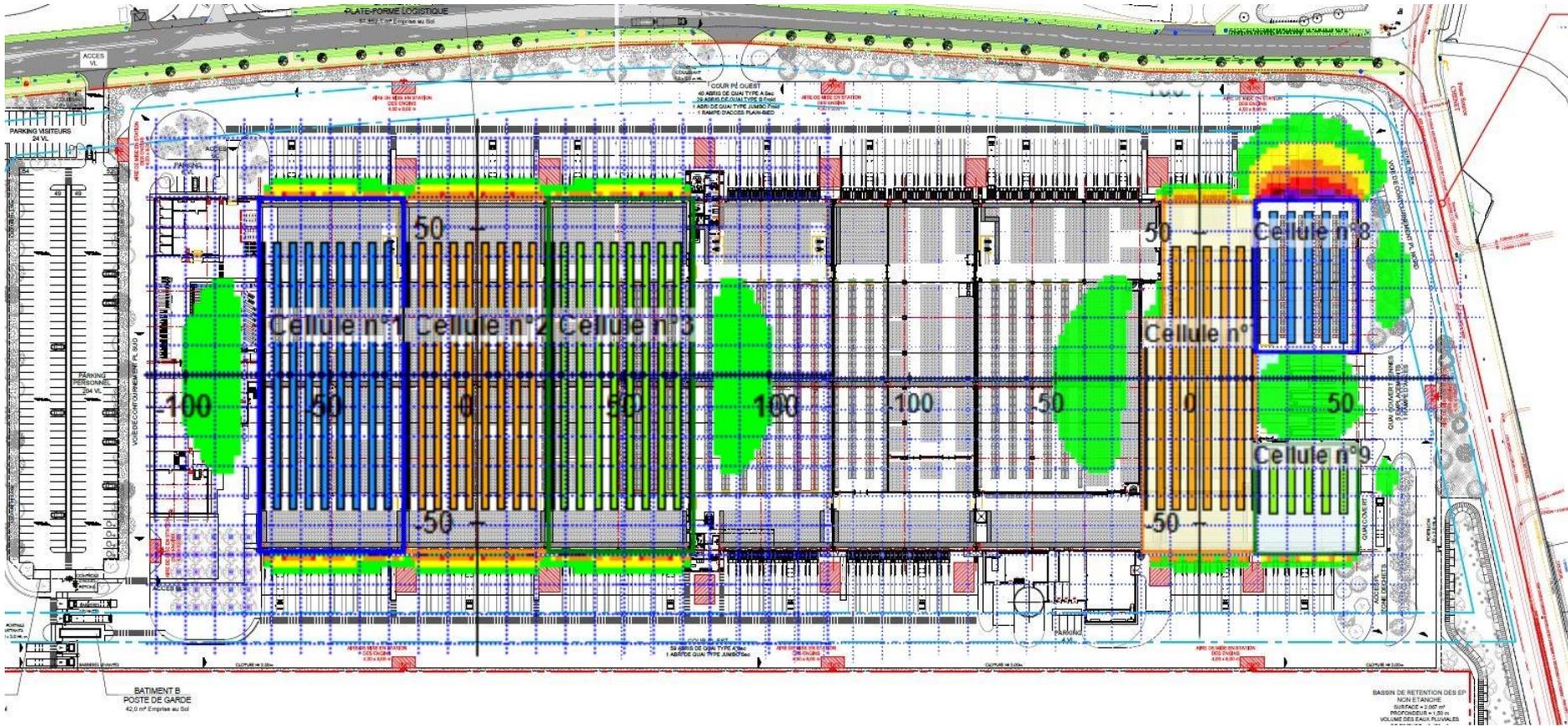
Nous avons donc modélisé le scénario selon le schéma ci-après :



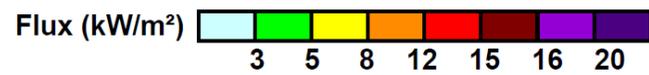
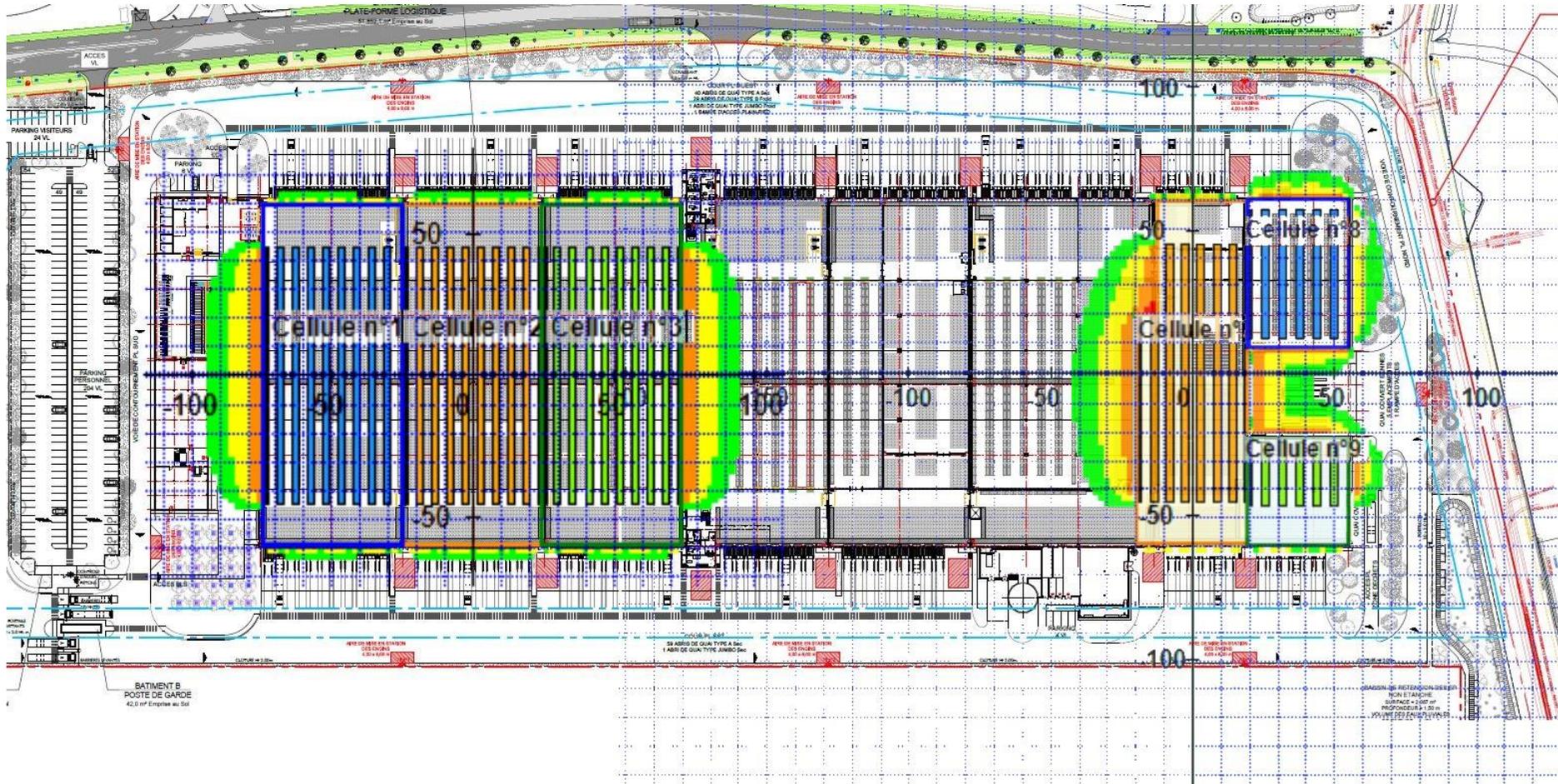
### 8.5.2 Résultats

Les fichiers de résultats sont en annexe n° 21.

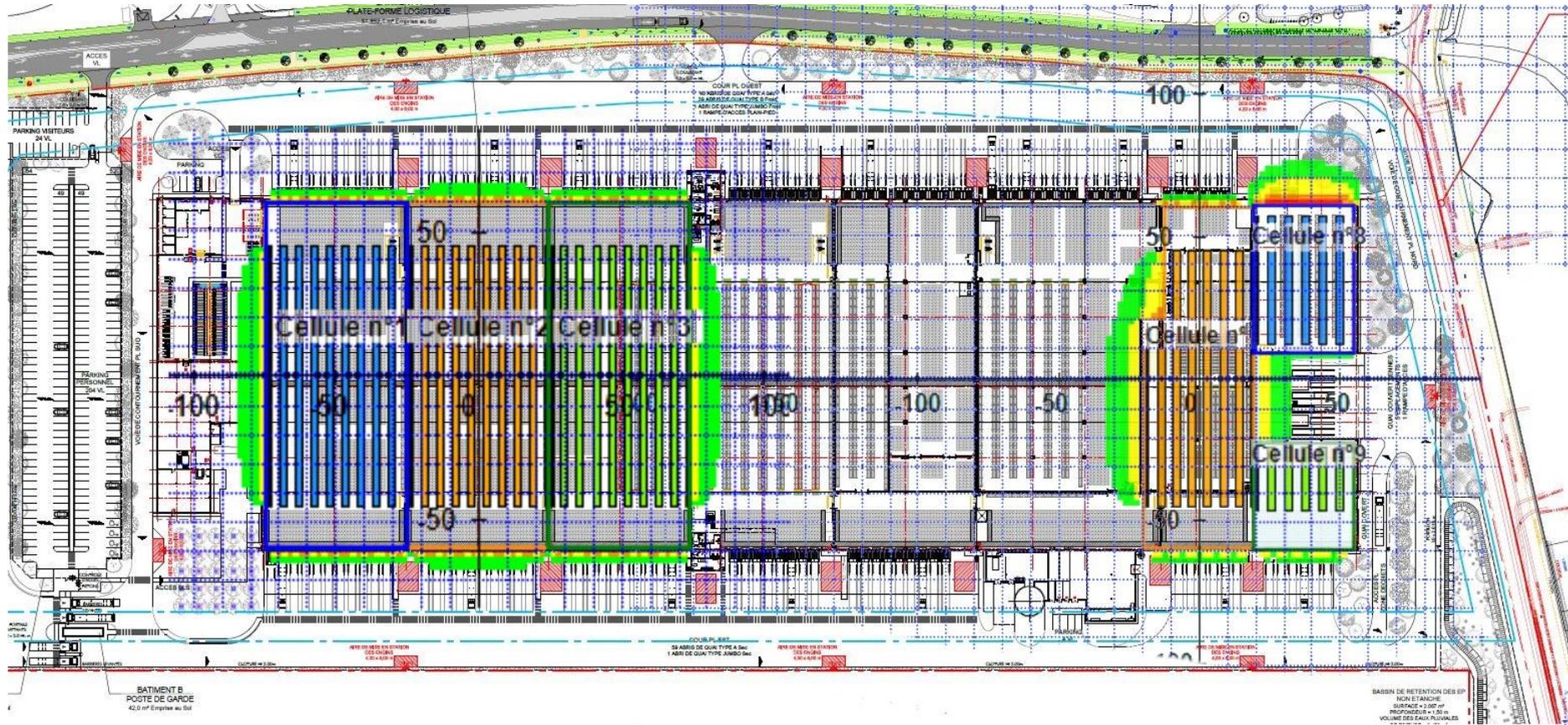
Les distances maximales de perception des flux thermiques à partir des murs périphériques du bâtiment sont visualisables sur les schémas ci-dessous :



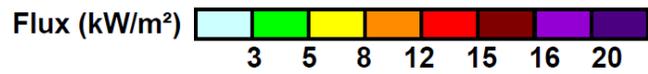
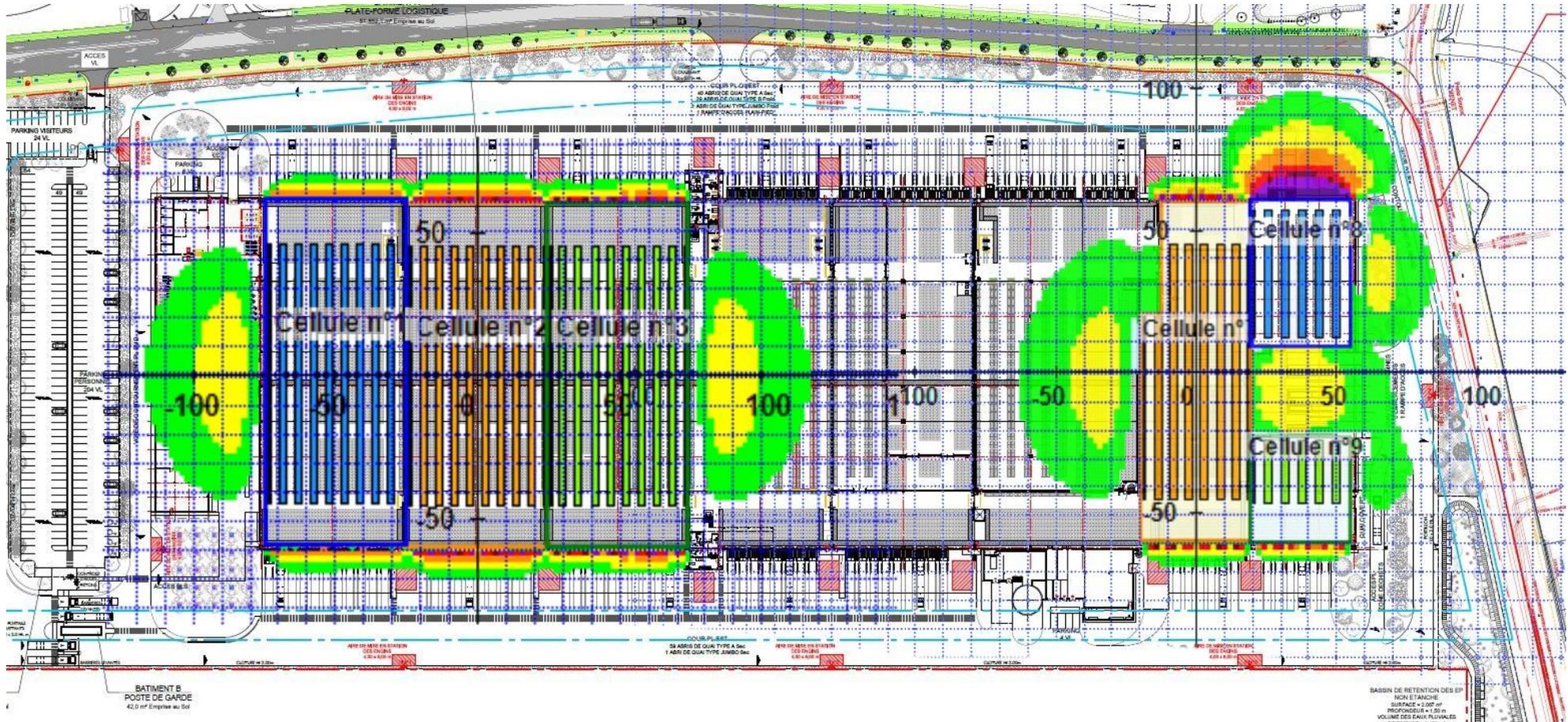
**Incendie de trois cellules de stockage  
Stockage 1510**



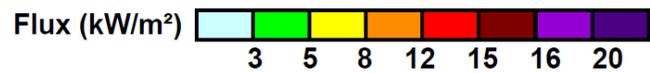
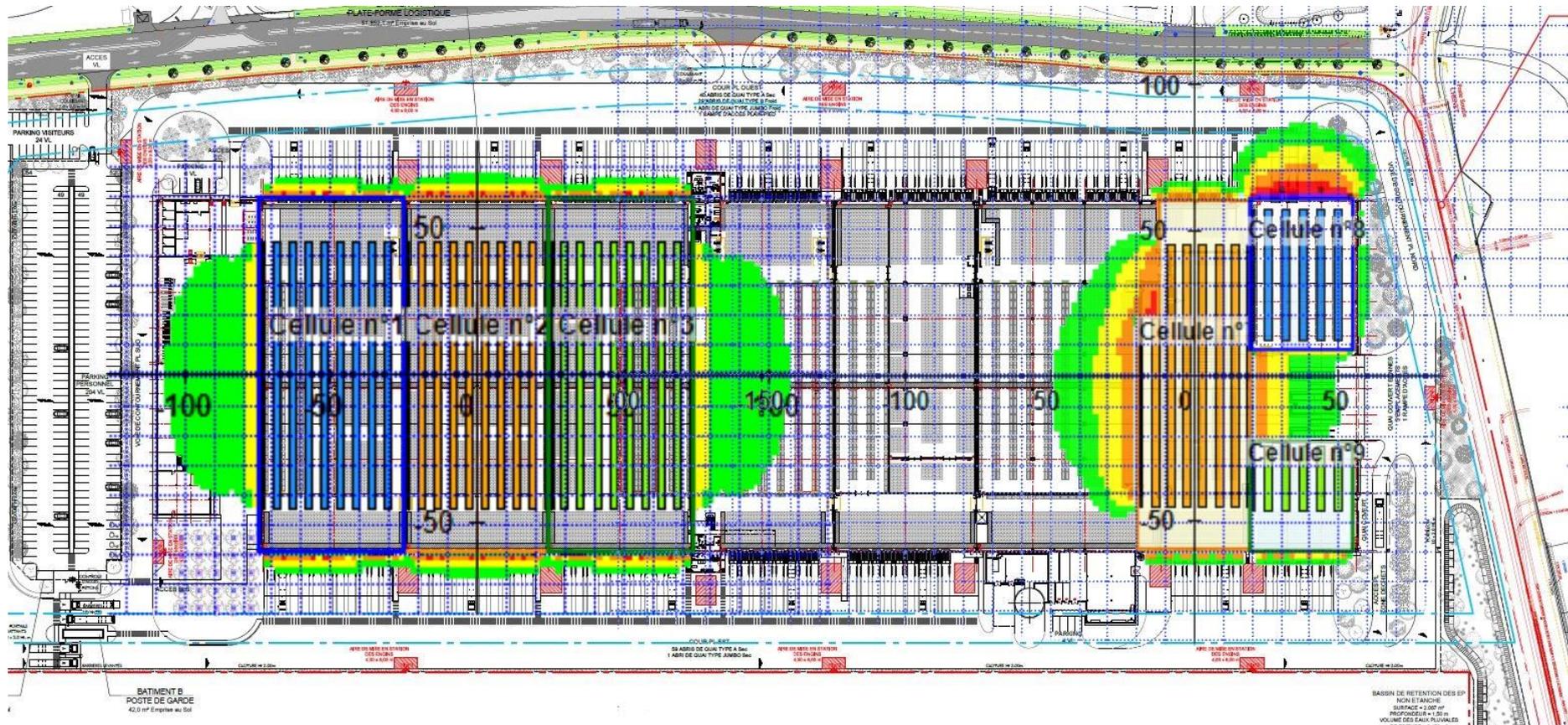
**Incendie de trois cellules de stockage  
Stockage 1530**



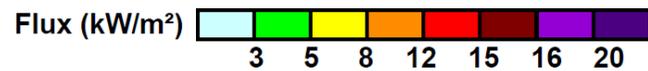
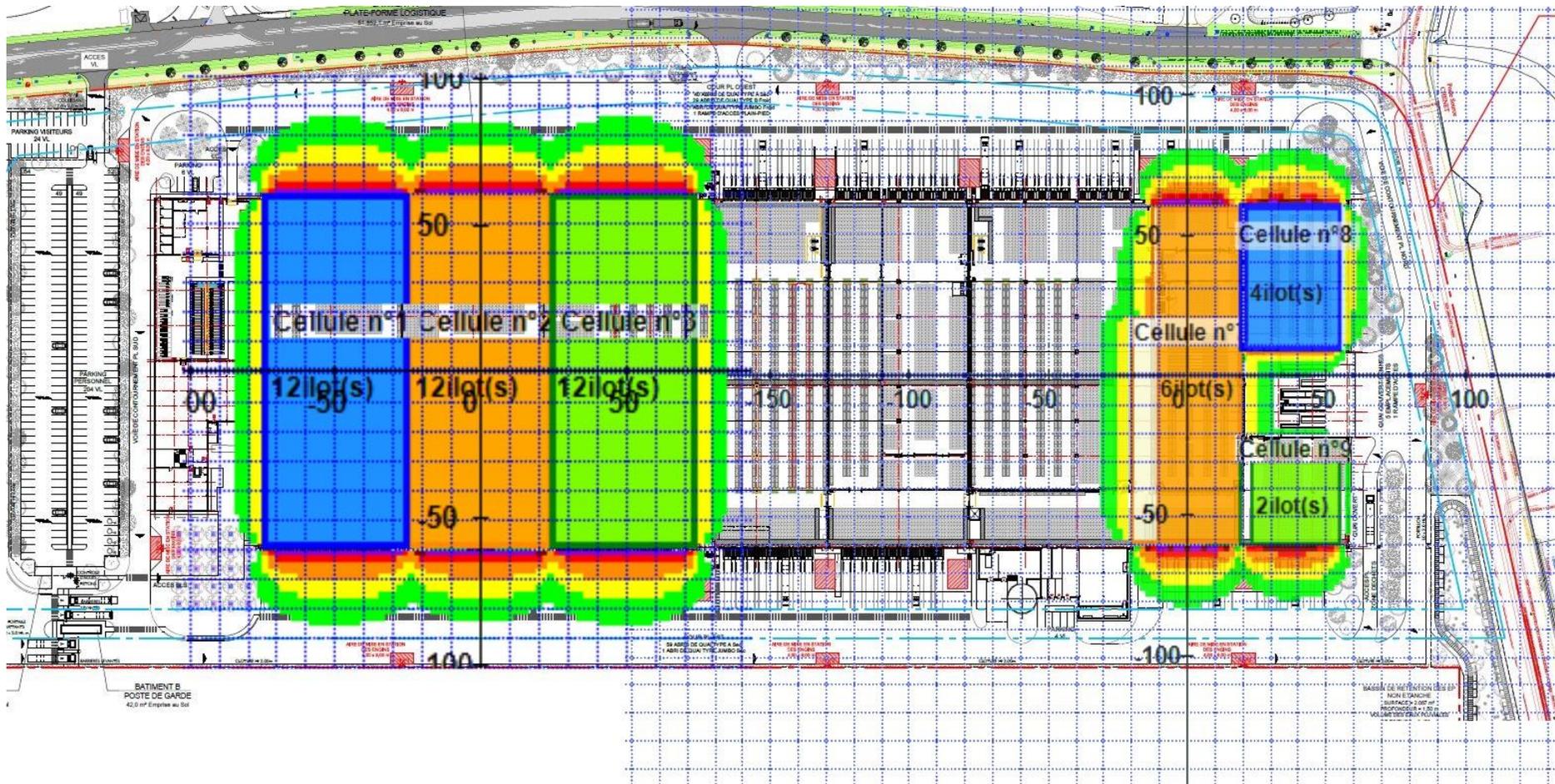
Incendie de trois cellules de stockage  
Stockage 1532



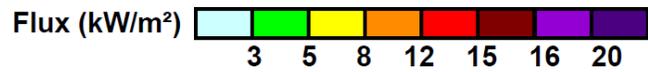
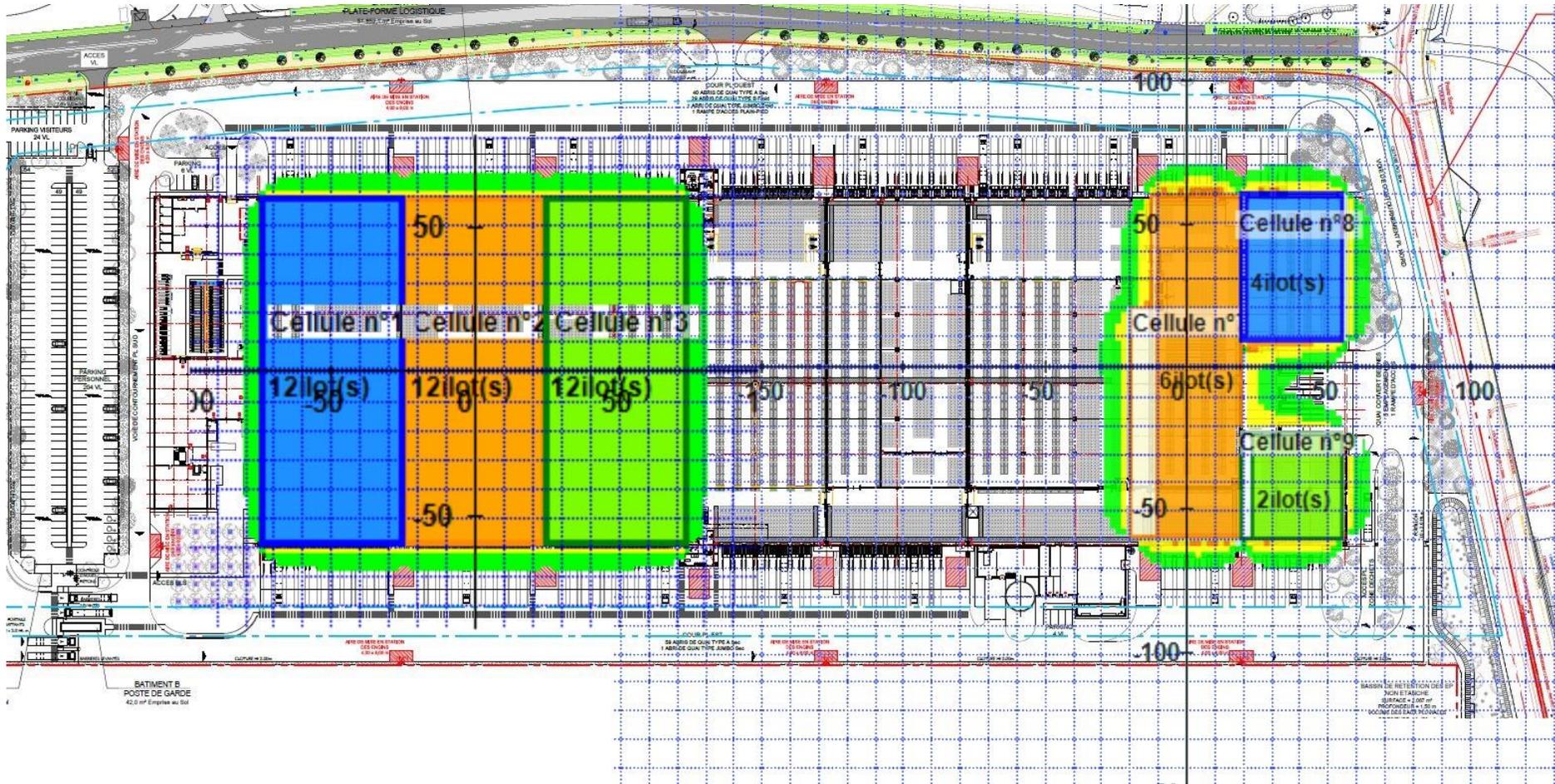
**Incendie de trois cellules de stockage  
Stockage 2662**



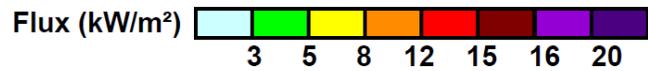
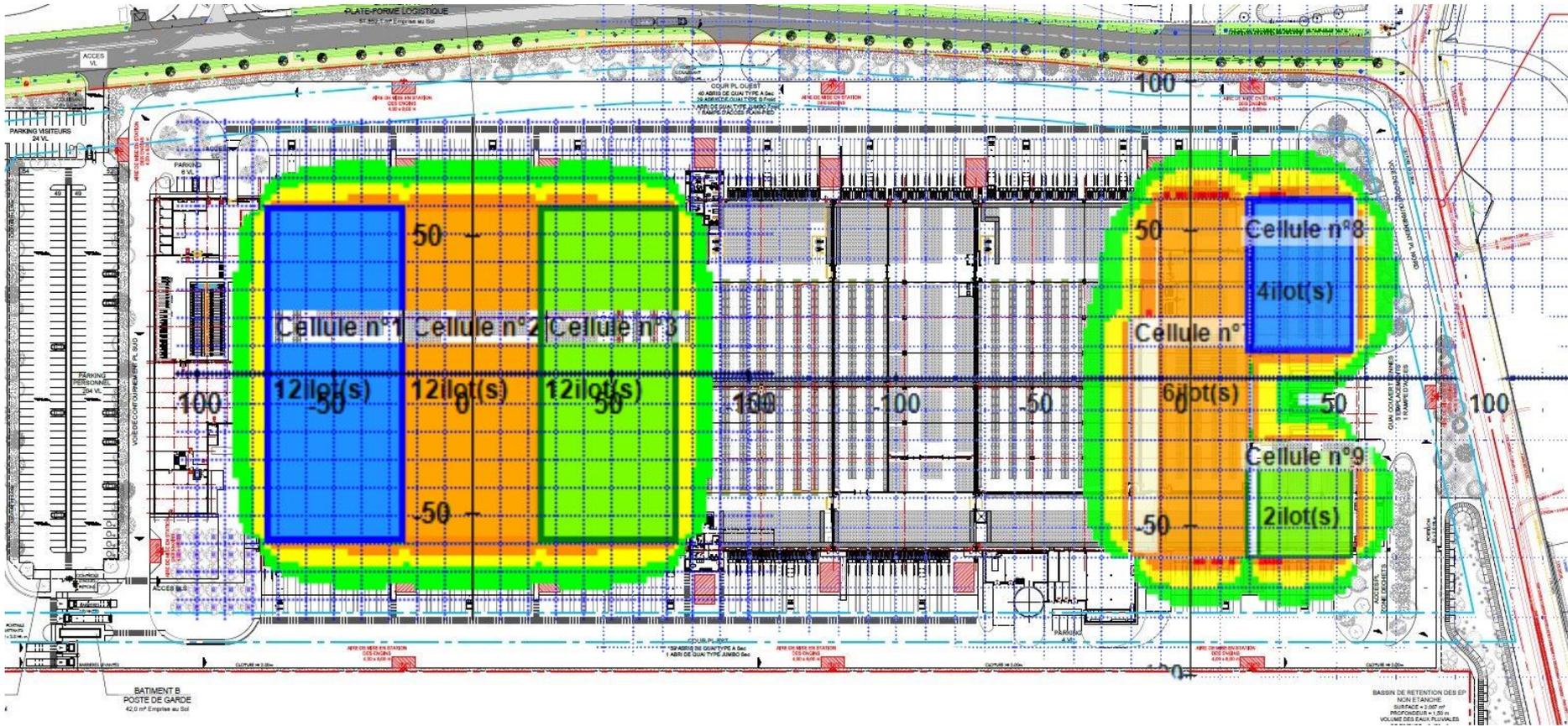
**Incendie de trois cellules de stockage  
Stockage 2663**



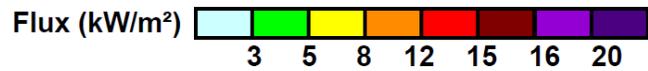
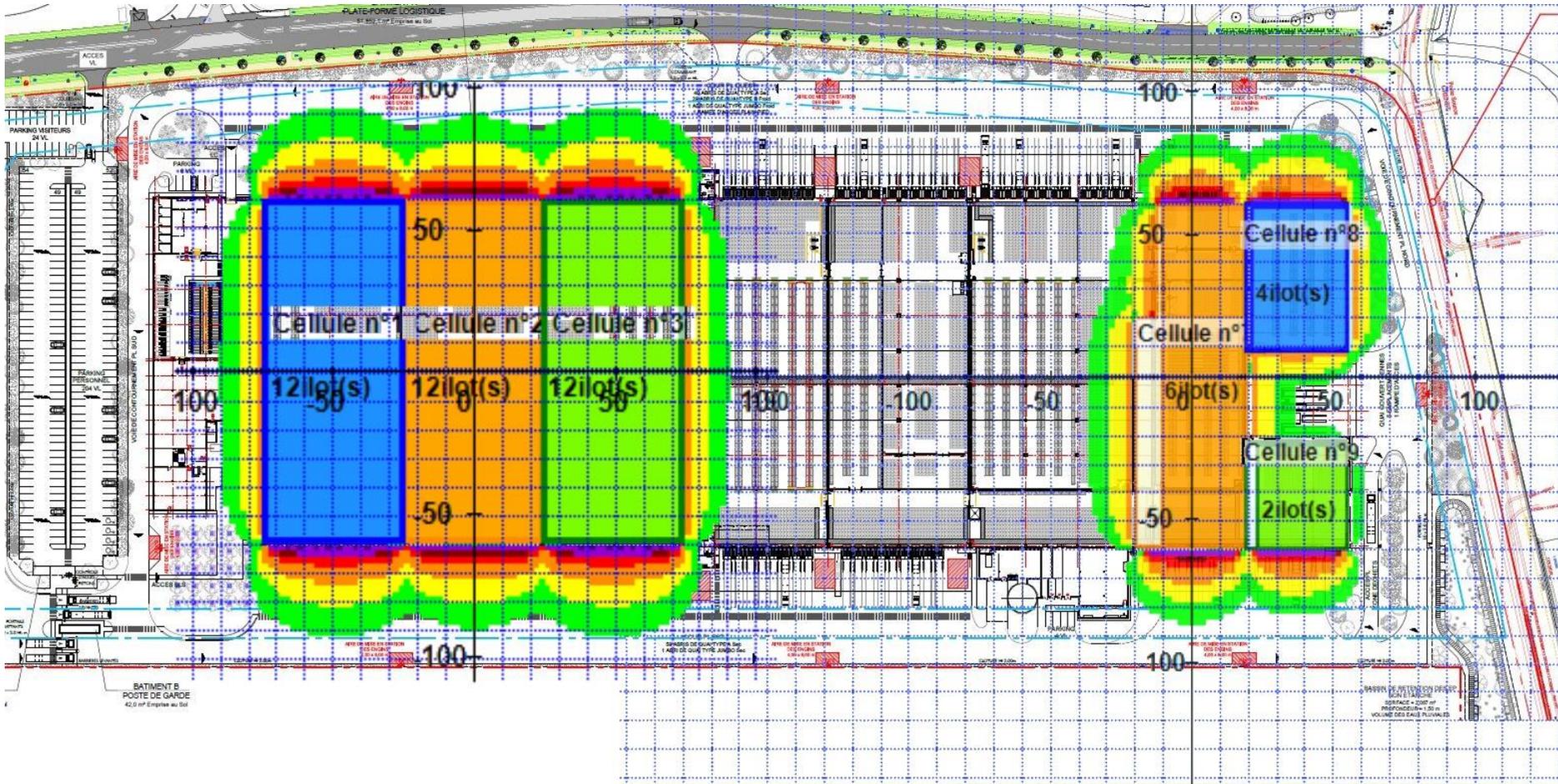
**Incendie de trois cellules de stockage**  
**Stockage 1510 - Masse**



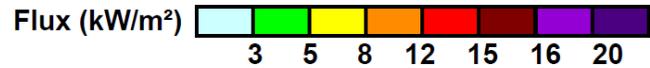
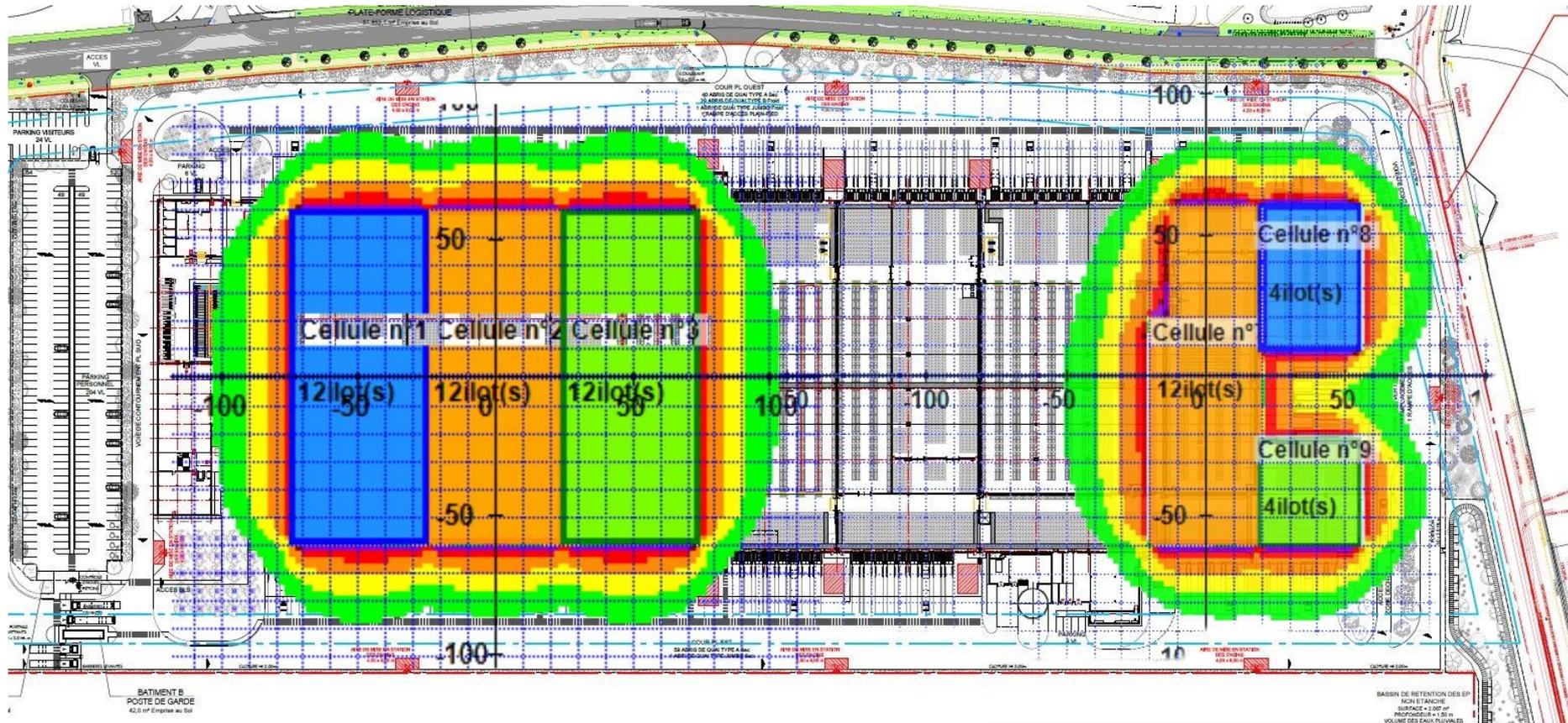
Incendie de trois cellules de stockage  
Stockage 1530 – Masse



**Incendie de trois cellules de stockage**  
**Stockage 1532 - Masse**



**Incendie de trois cellules de stockage  
Stockage 2662 - Masse**



**Incendie de trois cellules de stockage  
Stockage 2663 - Masse**

- **Conclusion**

Les schémas de visualisation des flux thermiques ci-avant permettent de constater que, quelle que soit la cellule étudiée et quelle que soit la typologie de produits stockés, en cas d'incendie d'une cellule de stockage :

- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 8 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 5 kW/m<sup>2</sup> ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 3 kW/m<sup>2</sup> sort côté Nord du site et impacte la Rue du Bois de l'Ecu sur une longueur de 50 m environ.

## 9 ETUDE DES EFFETS TOXIQUES ET DES EFFETS SUR LA VISIBILITE DES FUMÉES

Lors de l'incendie, la combustion des matériaux présents dans l'entrepôt en feu libère des fumées pouvant être à l'origine de nuisances liées à des risques toxiques pour la population en présence de composés toxiques comme le monoxyde de carbone (CO), l'acide chlorhydrique (HCl) ou les suies.

### 9.1 Incendie d'une cellule de produits combustibles

---

#### 9.1.1 Nature des marchandises stockées

Le bâtiment est destiné à accueillir une activité d'entreposage et de logistique, s'appliquant à des marchandises diverses pouvant être combustibles

Nous avons fait l'hypothèse d'un stockage type constitué à 50% de plastique et à 50% de produits divers.

Dans le bâtiment, en l'absence de produits toxiques, les plastiques seront les produits présentant la plus forte toxicité en cas d'incendie.

Dans l'industrie de l'emballage de même que dans les produits de consommation courante il existe des matières plastiques récurrentes et potentiellement à risque du fait des de la toxicité de leur émission en cas d'incendie : polyéthylène, PVC, polyamides, polystyrène, polyuréthanes.

Dans la présente étude nous considérons que le plastique stocké dans le bâtiment est composé à :

- 60% de polyéthylène,
- 25% de PVC,
- 11% de polystyrène,
- 4% de polyuréthane.

Composition des autres produits :  
70% de cellulose  
20% de plastique  
5% de PVC  
5% de polystyrène

Soit une composition du stockage :  
40% de polyéthylène  
35% de cellulose  
15% de PVC  
8% de polystyrène  
2% de polyuréthane

#### 9.1.2 Détermination des produits de combustion formés

L'analyse de la composition des produits susceptibles d'être stockés dans une cellule va nous permettre de déterminer les produits de combustion formés.

Le papier, bois, carton sont essentiellement constitués de cellulose, laquelle se thermolyse en différents produits très facilement combustibles (aldéhydes, alcools, cétones, etc.) de telle sorte que la combustion est rapide et pratiquement totale.

Les plastiques se consomment plus lentement que le papier et le carton, la combustion engendre des imbrûlés qui se dispersent sous forme de particules (suies lourdes) essentiellement constituées de carbone.

Le PVC se consume en produisant des imbrûlés très abondants et engendre de l'acide chlorhydrique HCl.

Les polyamides et le polyuréthane se consomment en produisant de l'acide cyanhydrique HCN.

La stœchiométrie des équations de combustion de la cellulose, du polyéthylène, du PVC, des polyamides, du polystyrène et du polyuréthane montrent que :

- La combustion d'1 kg de cellulose engendre 6,084 kg de produits de combustion dont 1,63 kg de CO<sub>2</sub>,
- La combustion d'1 kg de polyéthylène engendre 15,708 kg de produits de combustion dont 3,14 kg de CO<sub>2</sub>,
- La combustion d'1 kg de PVC entraîne la formation de 6,491 kg de produits de combustion dont 0,584 kg de HCl et 1,4 kg de CO<sub>2</sub>,
- La combustion d'1 kg de polystyrène entraîne la formation de 14,2 kg de produits de combustion dont 3,38 kg de CO<sub>2</sub>,
- La combustion d'1 kg de polyuréthane entraîne la formation de 3,145 kg de produits de combustion dont 0,34 kg de HCN et 0,83 kg de CO<sub>2</sub>.

On estime que les suies et poussières représentent 0,7% en poids du débit des fumées.

Le rapport oméga 16 de l'INERIS conseille également d'appliquer un rapport CO/CO<sub>2</sub> = 0,1.

Sachant qu'un kilogramme de PE engendre 15,708 kg de fumées et qu'un kilogramme de cellulose engendre 6,084 kg de fumées, on en déduit les taux de production de polluants suivants :

- 1 gramme de Polyéthylène engendre 0,157 g de CO et 0,109 g de suie
- 1 gramme de cellulose engendre 0,060 g de CO et 0,042 g de suie.

Les données utilisées dans cette modélisation sont majorantes, en effet la littérature et plus particulièrement le SFPE Handbook of Fire Protection Engineering indique que :

- La combustion d'un gramme de polyéthylène engendre 0,024 g de CO et 0,06 g de suie,
- La combustion d'un gramme de cellulose engendre 0,004 g de CO et 0,015 g de suie.

### 9.1.3 Détermination du débit des fumées

La modélisation est basée sur l'incendie d'une cellule de stockage. De façon majorante, nous basons notre étude sur la plus grande cellule de 7 121,3 m<sup>2</sup>.

En nous basant sur une vitesse de combustion de 0,025 kg/m<sup>2</sup>.s, pour une cellule de 7 121,3 m<sup>2</sup> nous obtenons un débit total de 178,11 kg/s.

On obtient ainsi pour une cellule :

- Polyéthylène : 71,25 kg/s,
- Cellulose : 62,34 kg/s,
- PVC: 26,72 kg/s,
- Polystyrène : 14,25 kg/s,
- Polyuréthane: 3,56 kg/s.

Ces vitesses permettent d'établir, sur la base de la stœchiométrie, les débits de fumées et de toxiques :

- Fumées totales : 1885,35 kg/s
- HCl : 15,60 kg/s
- HCN : 1,21 kg/s
- Suies : 13,20 kg/s
- CO<sub>2</sub> : 414,05 kg/s
- CO : 41,40 kg/s

### 9.1.4 Les seuils de toxicité

Les critères de toxicité retenus sont les SEI (Seuils des Effets Irréversibles) et SEL (Seuils des effets Létaux), pour un temps d'exposition de 60 minutes, des différents composés dont les valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

	SEI (en mg/m <sup>3</sup> ) Z2	Effets	SEL (en mg/m <sup>3</sup> ) Z1	Effets	Références
CO	920	Céphalées, vertiges	3 680	Risque létal si plus de 60 minutes	Courbes de toxicité aigüe par inhalation – DPPR/SEI/BRTICP – juin 1998
CO <sub>2</sub>	89 980	Céphalées, vertiges	-	-	
HCl	60	Toux intense, blessure des muqueuses	358	Risque létal si plus de 60 minutes	Seuils de toxicité en situations en situations accidentelles – INERIS – janvier 2003
HCN			45	Risque létal si plus de 60 minutes	Seuils de toxicité en situations en situations accidentelles – INERIS

Concernant l'opacité, on estime qu'une visibilité de 5 mètres est nécessaire pour un automobiliste, ce qui correspond à une concentration en suies de 79 mg/m<sup>3</sup>.

Concernant la toxicité du mélange, le seuil équivalent a été obtenu à partir de la relation suivante, obtenue dans le rapport oméga 16 de l'INERIS Toxicité et dispersion des fumées d'incendie :

$$\sum_{i=1}^n \frac{\text{(Concentration du polluant } P_i)}{\text{(Seuil du polluant } P_i)} = \frac{1}{\text{Seuil}_{\text{équivalent}}}$$

Ainsi, en utilisant les pourcentages du paragraphe 9.1.1 on obtient :

	SEI équivalent (en mg/m <sup>3</sup> ) Z2	SEL équivalent (en mg/m <sup>3</sup> ) Z1	Références
Fumées incendie Seuils équivalents	5 568	21 705	Toxicité et dispersion des fumées d'incendie Phénoménologie et modélisation des effets INERIS, Ω 16

Nota : le SEI pas connu pour le HCN, c'est le SEL qui a été retenu.

Le seuil des effets létaux n'étant pas connu pour le CO<sub>2</sub>, c'est le SEI qui a été retenu (seuil 30 minutes, pas d'autre défini).

### 9.1.5 Modélisation de la dispersion des fumées toxiques

Pour le monoxyde de carbone, compte tenu de sa masse volumique et de sa densité par rapport à l'air, la modélisation de dispersion a été réalisée à partir du modèle gaussien de Pasquill-Gifford.

Cette modélisation est fonction de la stabilité de l'atmosphère, différentes classes ont ainsi été établies par Pasquill et Turner.

Ces classes sont au nombre de 6, caractérisées par l'intensité de la turbulence :

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

Ces classes sont définies en fonction de la vitesse du vent, pour le jour en considérant l'intensité du rayonnement solaire et pour la nuit l'étendue de la couverture nuageuse.

Le tableau ci-dessous fournit les conditions dans lesquelles sont définies les classes de Pasquill-Turner :

Vitesse du vent en m/s	Jour			Nuit	
	Selon un rayonnement solaire incident			Selon une couverture nuageuse	
	Fort Été – ciel dégagé	Modéré Ciel nuageux	Léger Hiver – ciel couvert	Dense >1/2 surface	Dégagée <1/2 surface
< 2	A	A – B	B		
2 à 3	A – B	B	C	E	F
3 à 5	B	B – C	C	D	E
5 à 6	C	C – D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

La modélisation a été réalisée pour les ensembles de conditions météorologiques suivants :

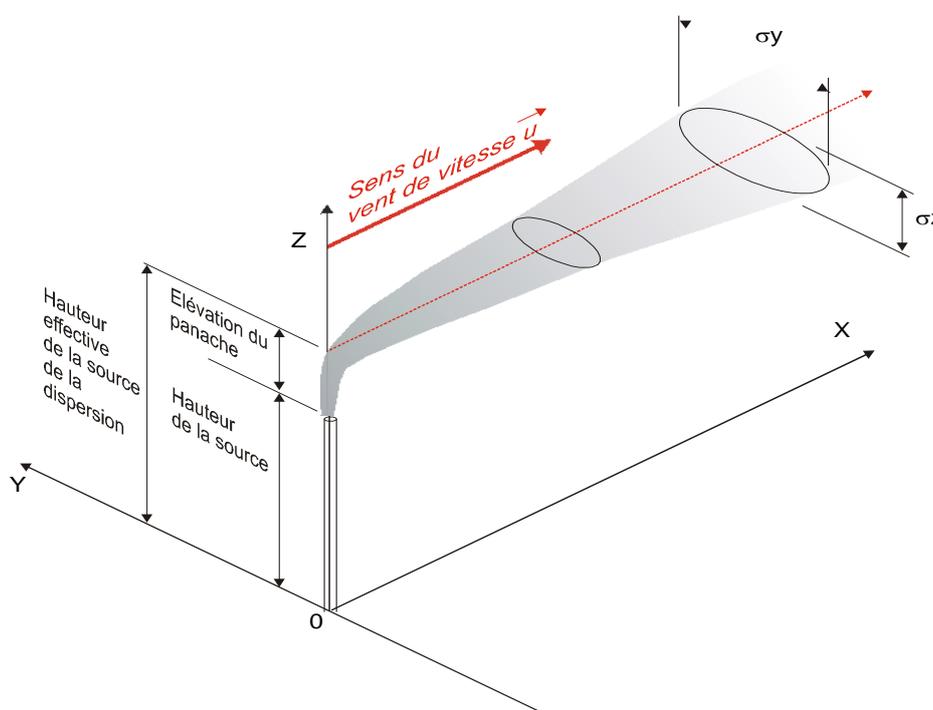
- Classe de stabilité A avec un vent de 2 m/s et une température de l'air ambiant de 20°C. Cette condition météorologique associe une atmosphère très instable et une faible vitesse de vent permettant d'illustrer les effets d'une dilution important du panache ascendant au voisinage de l'incendie.
- Classe de stabilité D avec un vent de 5 m/s pour une température de l'air ambiant de 20°C. Cette condition météorologique correspond à une atmosphère moyennement instable et neutre.
- Classe de stabilité F avec un vent de 3 m/s et une température de l'air ambiant de 15°C. Cette condition météorologique conjugue une stabilité très forte et le vent le plus important que l'on puisse lui associer. Cette condition est défavorable à la dispersion. En effet, une atmosphère dite stable est une atmosphère dans laquelle le gradient de température de

l'atmosphère est supérieur au gradient thermique de l'adiabatique alors tout volume d'air déplacé vers le haut a, avant équilibre thermique, une température plus petite que l'air qui l'entoure. La masse volumique du volume élémentaire est plus importante que l'air qui l'entoure et tend à se déplacer vers le bas à sa position initiale (cf INERIS, Méthode pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels, Dispersion atmosphérique, Mécanismes et outils de calcul).

Ces conditions météorologiques sont celles préconisées par l'INERIS dans ses tierces expertises.

- **Détermination de la hauteur de dispersion**

Le panache des fumées de l'incendie va s'élever grâce au moteur thermique que constitue le feu. Arrivé à sa hauteur de culmination, le panache se disperse dans l'atmosphère. Les polluants retombent progressivement au niveau du sol.



La hauteur du panache est déterminée à partir des équations de Rauch et de Moses-Carson :

$$H_{\text{Rauch}} = 186 \cdot Q^{0.25} \cdot U^{-1}$$

$$H_{\text{Moses-Carson}} = 82 \cdot Q^{0.5} \cdot U^{-1}$$

$$H_e = 2/3 H_{\text{Rauch}} + 1/3 H_{\text{Moses-Carson}}$$

Avec :

Q : Puissance du foyer en MW

U : Vitesse du vent (m/s)

He: hauteur effective de d'émission des polluants

Les corrélations prévoient que la hauteur du panache est fonction de la puissance thermique du foyer.

On sait que le PCI des plastiques est égal à 40 MJ/kg, celui du caoutchouc est de l'ordre de 30 MJ/kg et celui du papier de 17 MJ/kg.

Pour la modélisation de la dispersion atmosphérique des toxiques, nous retiendrons une valeur moyenne de 25 MJ/kg. Cette hypothèse est majorante quand on sait que la hauteur du panache et donc la dispersion augmentent proportionnellement avec le pouvoir calorifique du stockage.

En nous basant sur une cellule de 7 121,3 m<sup>2</sup> dans laquelle se développe un incendie dont la vitesse de propagation est égale à 0,025 kg/m<sup>2</sup>.s, on obtient une puissance du foyer égale 4 452 MW.

L'application des corrélations de Rauch et de Moses-Carson à un incendie dont la puissance thermique est égale à 4 452 MW conduit aux hauteurs de dispersions suivantes :

Vitesse du vent	H <sub>Rauch</sub> (m)	H <sub>Moses-Carson</sub> (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	760	2 736	1 418	<b>473</b>
3 m/s	506	1 834	946	<b>315</b>
5 m/s	304	1 094	567	<b>189</b>

Nous considérons que la dispersion peut s'opérer à partir du tiers de la hauteur du panache.

Les hauteurs de dispersion obtenues avec la puissance thermique pouvant être attendue lors de l'incendie de la totalité de la surface de la cellule étant très importantes, nous avons choisi, dans une optique de majoration des résultats, de déterminer les hauteurs de dispersions pouvant être attendues lors de la phase de démarrage de l'incendie.

Ainsi pour une surface en feu de 700 m<sup>2</sup> (soit environ 10% de la surface de la plus grande cellule), on obtient une puissance thermique égale à 437,5 MW.

A partir de cette puissance thermique, les corrélations de Rauch et de Moses-Carson conduisent aux hauteurs de dispersions suivantes :

Vitesse du vent	H <sub>Rauch</sub> (m)	H <sub>Moses-Carson</sub> (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	425	857	569	<b>190</b>
3 m/s	283	571	379	<b>126</b>
5 m/s	170	343	227	<b>76</b>

Ces hauteurs de dispersion sont majorantes pour notre modélisation, sachant que la dilution des polluants dans l'atmosphère augmente avec la hauteur de dispersion.

- **Résultats**

Le tableau ci-dessous rapporte les distances auxquelles pourraient se manifester des impacts significatifs en fonction des différentes conditions météorologiques au moment de l'intensité maximale du sinistre étudié :

	Opacité	CO		CO <sub>2</sub>	HCl		HCN	Fumées incendie	
		Z1	Z2	Z2	Z1	Z2	Z1	Z1	Z2
Combustion d'une cellule de stockage de produits courants									
Seuils en mg/m <sup>3</sup>	79	3 680	920	89 980	358	60	45	21 705	5 568
Cas A – 2 m/s	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cas D – 5 m/s	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cas F – 3 m/s	<	<	<	<	<	<	<	<	<

Les résultats de la modélisation sont joints en annexe n° 23.

- **Conclusions**

L'étude de dispersion des toxiques, sur la base des modèles appliqués, permet de considérer qu'en cas de sinistre généralisé dans l'une ou l'autre des cellules dédiées au stockage de produits combustibles courants, les éléments toxiques susceptibles d'être emportés dans les fumées ont toutes les chances de se disperser **sans engendrer de risque significatif aux alentours ni à des distances élevées du site.**

Le risque de perte de visibilité sur les axes routiers alentours et notamment sur l'autoroute A6 a été étudié avec l'analyse de la dispersion des suies.

Comme pour les produits toxiques, la modélisation a montré que les suies ont toutes les chances de se disperser **sans engendrer de perte de visibilité significative pour les automobilistes aux alentours ni à des distances élevées du site.**

Concernant la proximité du site avec l'autoroute A6, le numéro de téléphone du PC sécurité de la Direction des Routes Ile de France sera ajouté au plan de défense incendie de l'établissement.

Nous avons mis en œuvre des dispositifs de prévention pour limiter la probabilité de développement d'un incendie dans le bâtiment.

## 9.2 Incendie d'une cellule de pneumatiques

### 9.2.1 Nature des marchandises stockées

Le bâtiment est susceptible d'accueillir un stockage de pneumatiques (classement au titre de la rubrique 2663).

L'impact de ce type de stockage est à étudier du point de vue de la dispersion atmosphérique dans le cas de l'incendie d'une cellule.

Les pneumatiques sont stockés dans des palettes métalliques de 3,5 m<sup>3</sup> en moyenne. De façon à travailler sur une hypothèse maximaliste nous avons considéré le même nombre de palettes que pour des produits courants.

D'après les essais de combustion effectués par le CNPP (Etude prévisionnelle d'un incendie de stockage de caoutchouc, 1992), on sait que :

- En cas d'incendie de pneumatiques les flammes ont une émissivité de l'ordre de 42 kW/m<sup>2</sup>,
- La hauteur de la flamme est de l'ordre de 12 mètres au-dessus du stock,
- La vitesse de combustion de pneumatiques est de l'ordre de 0,034 kg/m<sup>2</sup>.s.

### 9.2.2 Détermination des produits de combustion formés

Un pneumatique est constitué de caoutchouc vulcanisé et d'une armature métallique en acier. Le caoutchouc est vulcanisé par addition de soufre.

La combustion des pneumatiques génère des éléments toxiques de deux natures :

- des gaz de combustion : CO, CO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub>,
- des produits de pyrolyse, la combustion n'étant jamais totale.

L'étude du CNPP indique la composition des fumées pouvant être attendue en cas d'incendie d'1 kg de pneumatiques.

Cette composition est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Polluants	Valeur attendue, en g par kg de pneumatique brûlé	Pourcentage associé
Suies	134	6,69
CO	65	3,25
CO <sub>2</sub>	1733	86,54
SO <sub>2</sub>	8,8	0,44
NOx	2,5	0,12
Formaldéhydes	0,10	0,005
Imbrûlés	59	2,95
HAP	0,1	0,005
	2002,5	100

En nous basant sur une vitesse de combustion de 0,034 kg/m<sup>2</sup>.s pour une cellule de 7 121,3 m<sup>2</sup> environ, nous obtenons un débit de combustion égal à 242 kg/s.

Connaissant la composition attendue des fumées pour un kg de pneumatiques, nous pouvons déterminer les débits maximaux en polluants pouvant être attendus dans le cas de l'incendie d'une cellule de pneumatiques :

Polluants	Débit attendu (en kg/s)
Suies	32,45
CO	15,74

CO <sub>2</sub>	419
SO <sub>2</sub>	2,13
NO <sub>2</sub>	0,60
Formol	0,024
Imbrûlés	14,29
HAP	0,1

**9.2.3 Les seuils de toxicité**

Les critères de toxicité retenus sont les SEI (Seuils des Effets Irréversibles) et SEL (Seuils des effets Létaux), pour un temps d'exposition de 60 minutes, des différents composés dont les valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

	SEI (mg/m <sup>3</sup> ) Z2	Effets	SEL (mg/m <sup>3</sup> ) Z1	Effets	Références
CO	920	Céphalées, vertiges	3 680	Risque létal si plus de 60 minutes	Courbes de toxicité aigüe par inhalation DPPR/SEI/BRTICP juin 1998
CO <sub>2</sub>	89 980	Céphalées, vertiges	-	-	
SO <sub>2</sub>	211	Toux intense, blessure des muqueuses	1 885	Risque létal si plus de 60 minutes	Seuils de toxicité en situations en situations accidentelles – INERIS
NO <sub>2</sub>	75	Toux intense, blessure des muqueuses	132	Risque létal si plus de 60 minutes	Seuils de toxicité en situations en situations accidentelles – INERIS
Formol	12	Céphalées, vertiges, toux	31	Risque létal si plus de 60 minutes	Seuils de toxicité en situations en situations accidentelles – INERIS

Concernant l'opacité, on estime qu'une visibilité de 5 mètres est nécessaire pour un automobiliste, ce qui correspond à une concentration en suies de 79 mg/m<sup>3</sup>.

Concernant la toxicité du mélange, le seuil équivalent a été obtenu à partir de la relation suivante, obtenue dans le rapport oméga 16 de l'INERIS Toxicité et dispersion des fumées d'incendie :

$$\sum_{i=1}^n \frac{(\text{Concentration du polluant } P_i)}{(\text{Seuil du polluant } P_i)} = \frac{1}{\text{Seuil}_{\text{équivalent}}}$$

Ainsi, en utilisant les pourcentages du paragraphe 9.2.2 on obtient :

	SEI équivalent (en mg/m <sup>3</sup> ) Z2	SEL équivalent (en mg/m <sup>3</sup> ) Z1	Références
Fumées incendie pneumatiques Seuils équivalents	11 346	31 018	Toxicité et dispersion des fumées d'incendie Phénoménologie et modélisation des effets INERIS, Ω 16

### 9.2.4 Modélisation de la dispersion des fumées toxiques

Comme pour l'incendie d'une cellule de produits courants, la modélisation a été réalisée à partir de la méthode de Pasquill-Gifford présentée en annexe n°23.

La modélisation a été réalisée pour les états A, D et F avec des vents de 2, 3 et de 5 m/s.

- **Détermination de la hauteur de dispersion**

La hauteur du panache est déterminée à partir des équations de Rauch et de Moses-Carson :

$$H_{\text{Rauch}} = 186 \cdot Q^{0.25} \cdot U^{-1}$$

$$H_{\text{Moses-Carson}} = 82 \cdot Q^{0.5} \cdot U^{-1}$$

$$H_e = 2/3 H_{\text{Rauch}} + 1/3 H_{\text{Moses-Carson}}$$

Avec :

Q : Puissance du foyer en MW

U : Vitesse du vent (m/s)

He: hauteur effective de d'émission des polluants

Les corrélations prévoient que la hauteur du panache est fonction de la puissance thermique du foyer.

On sait que le PCI du caoutchouc est de l'ordre de 30 MJ/kg.

Pour la modélisation de la dispersion atmosphérique des toxiques dans le cas d'un stockage de pneumatiques, nous retiendrons une valeur moyenne de 30 MJ/kg.

En nous basant sur une cellule de 7 121 m<sup>2</sup> dans laquelle se développe un incendie dont la vitesse de propagation est égale à 0,034 kg/m<sup>2</sup>.s, on obtient une puissance du foyer égale à 7 267 MW.

Afin de réaliser une modélisation majorante, nous recherchons les hauteurs de flammes pour une surface en feu de 700 m<sup>2</sup> (soit 10% de la surface d'une cellule).

Dans ce cas, la puissance thermique de l'incendie en phase de démarrage est égale à 714 MW.

A partir de cette puissance thermique, les corrélations de Rauch et de Moses-Carson conduisent aux hauteurs de dispersions suivantes :

Vitesse du vent	H <sub>Rauch</sub> (m)	H <sub>Moses-Carson</sub> (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	481	1 095	685	<b>228</b>
3 m/s	321	730	457	<b>152</b>
5 m/s	192	438	274	<b>91</b>

Ces hauteurs de dispersion sont majorantes pour notre modélisation, sachant que la dilution des polluants dans l'atmosphère augmente avec la hauteur de dispersion.

- **Résultats**

Le tableau ci-dessous rapporte les distances auxquelles pourraient se manifester des impacts significatifs en fonction des différentes conditions météorologiques au moment de l'intensité maximale du sinistre étudié :

	Opacité	CO		CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>		NO <sub>2</sub>		Formol		Fumées incendie	
Combustion d'une cellule de stockage pneumatiques	Visibilité à 5 m	Z1	Z2	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2
Seuils en mg/m <sup>3</sup>	79	3 680	920	89980	1 885	211	132	75	31	12	31 018	11 346
Cas A – 2 m/s (cibles entre 2 et 40 m)	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cas D – 5 m/s (cibles entre 2 et 40 m)	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cas F – 3 m/s (cibles entre 2 et 40 m)	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<

Les résultats de la modélisation sont joints en annexe n° 23.

- **Conclusions**

L'étude de dispersion des toxiques, sur la base des modèles appliqués, permet de considérer qu'en cas de sinistre généralisé dans l'une ou l'autre des cellules dédiées au stockage de produits combustibles courants, les éléments toxiques susceptibles d'être emportés dans les fumées ont toutes les chances de se disperser **sans engendrer de risque significatif aux alentours ni à des distances élevées du site.**

Le risque de perte de visibilité sur les axes routiers alentours et notamment sur l'autoroute A6 a été étudié avec l'analyse de la dispersion des suies.

Comme pour les produits toxiques, la modélisation a montré que les suies ont toutes les chances de se disperser **sans engendrer de perte de visibilité significative pour les automobilistes aux alentours ni à des distances élevées du site.**

Concernant la proximité du site avec l'autoroute A6, le numéro de téléphone du PC sécurité de la Direction des Routes Ile de France sera ajouté au plan de défense incendie de l'établissement.

Nous avons mis en œuvre des dispositifs de prévention pour limiter la probabilité de développement d'un incendie dans le bâtiment.

## 9.3 Incendie de trois cellules de stockage

### 9.3.1 Nature des marchandises stockées

Dans le cadre du scénario « transmission de l'incendie à trois cellules de stockage », les hypothèses concernant les produits stockés sont identiques au scénario « incendie d'une cellule de stockage ». La modélisation est donc basée sur un stockage type constitué à 50% de plastique et à 50% de produits divers.

Suivant les hypothèses présentées au paragraphe 9.1.1 de la présente étude, le stockage dans le bâtiment est composé à :

- 40% de polyéthylène
- 35% de cellulose
- 15% de PVC
- 8% de polystyrène
- 2% de polyuréthane

### 9.3.2 Détermination du débit des fumées

La modélisation est basée sur l'incendie simultané de trois cellules de stockage. Nous considérons donc l'incendie simultané de 18 819,2 m<sup>2</sup>

En nous basant sur une vitesse de combustion de 0,025 kg/m<sup>2</sup> nous obtenons un débit total de 440,48 kg/s.

On obtient ainsi pour les 3 cellules :

- Polyéthylène : 188 kg/s,
- Cellulose : 164 kg/s,
- PVC: 70 kg/s,
- Polystyrène : 37,64 kg/s,
- Polyuréthane: 9,41 kg/s.

Ces vitesses permettent d'établir, sur la base de la stœchiométrie, les débits de fumées et de toxiques :

- Fumées totales : 4980,10 kg/s
- HCl : 41,21 kg/s
- HCN : 3,20 kg/s
- Suies : 34,86 kg/s
- CO<sub>2</sub> : 1 093,70 kg/s
- CO : 109,37 kg/s

### 9.3.3 Modélisation de la dispersion des fumées toxiques

Comme pour l'incendie d'une cellule de produits courants, la modélisation a été réalisée à partir de la méthode de Pasquill-Gifford.

La modélisation a été réalisée pour les états A, D et F avec des vents de 2, 3 et de 5 m/s.

- Détermination de la hauteur de dispersion

Le panache des fumées de l'incendie va s'élever grâce au moteur thermique que constitue le feu. Arrivé à sa hauteur de culmination, le panache se disperse dans l'atmosphère. Les polluants retombent progressivement au niveau du sol.

La hauteur du panache est déterminée à partir des équations de Rauch et de Moses-Carson :

$$H_{Rauch} = 186.Q^{0.25}.U^{-1}$$

$$H_{Moses-Carson} = 82.Q^{0.5}.U^{-1}$$

$$H_e = 2/3 H_{Rauch} + 1/3 H_{Moses-Carson}$$

Avec :

Q : Puissance du foyer en MW

U : Vitesse du vent (m/s)

He: hauteur effective de d'émission des polluants

Les corrélations prévoient que la hauteur du panache est fonction de la puissance thermique du foyer.

Comme pour l'incendie d'une cellule de stockage nous retiendrons dans le cadre de cette modélisation une valeur moyenne de 25 MJ/kg.

En nous basant sur un incendie de 18 819 m<sup>2</sup> dont la vitesse de propagation est égale à 0,025 kg/m<sup>2</sup>.s, on obtient une puissance du foyer égale à 11 762 MW.

L'application des corrélations de Rauch et de Moses-Carson à un incendie dont la puissance thermique est égale à 11 762 MW conduit aux hauteurs de dispersions suivantes :

Vitesse du vent	H <sub>Rauch</sub> (m)	H <sub>Moses-Carson</sub> (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	968	4464	2127	<b>709</b>
3 m/s	646	2964	1418	<b>473</b>
5 m/s	387	1778	851	<b>284</b>

Nous considérons que la dispersion peut s'opérer à partir du tiers de la hauteur du panache.

Les hauteurs de dispersion obtenues avec la puissance thermique pouvant être attendue lors de l'incendie de trois cellules étant très importantes, nous avons choisi, dans une optique de majoration des résultats, de déterminer les hauteurs de dispersions pouvant être attendues pour une surface en feu de 1 800 m<sup>2</sup> (soit 10% de la surface des trois cellules).

Ainsi pour une surface en feu de 1 800 m<sup>2</sup>, on obtient une puissance thermique égale à 1 125 MW. A partir de cette puissance thermique, les corrélations de Rauch et de Moses-Carson conduisent aux hauteurs de dispersions suivantes :

Vitesse du vent	H <sub>Rauch</sub> (m)	H <sub>Moses-Carson</sub> (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	539	1378	817	<b>272</b>
3 m/s	359	917	545	<b>182</b>
5 m/s	215	550	327	<b>109</b>

Nous considérons que la dispersion peut s'opérer à partir du tiers de la hauteur du panache.

Ces hauteurs de dispersion sont majorantes pour notre modélisation, sachant que la dilution des polluants dans l'atmosphère augmente avec la hauteur de dispersion.

- **Résultats**

Le tableau ci-dessous rapporte les distances auxquelles pourraient se manifester des impacts significatifs en fonction des différentes conditions météorologiques au moment de l'intensité maximale du sinistre étudié :

	Opacité	CO		CO <sub>2</sub>	HCl		HCN	Fumées incendie	
		Z1	Z2	Z2	Z1	Z2	Z1	Z1	Z2
Incendie 3 cellules de stockage de produits courants		Z1	Z2	Z2	Z1	Z2	Z1	Z1	Z2
Seuils en mg/m <sup>3</sup>	79	3 680	920	89 980	358	60	45	21 705	5 568
Cas A – 2 m/s	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cas D – 5 m/s	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cas F – 3 m/s	<	<	<	<	<	<	<	<	<

Les résultats de la modélisation sont joints en annexe n° 23.

- **Conclusions**

L'étude de dispersion des toxiques, sur la base des modèles appliqués, permet de considérer qu'en cas de sinistre généralisé de trois cellules dédiées au stockage de produits combustibles courants, les éléments toxiques susceptibles d'être emportés dans les fumées ont toutes les chances de se disperser **sans engendrer de risque significatif aux alentours ni à des distances élevées du site**.

Le risque de perte de visibilité sur les axes routiers alentours et notamment sur l'autoroute A6 a été étudié avec l'analyse de la dispersion des suies.

Comme pour les produits toxiques, la modélisation a montré que les suies ont toutes les chances de se disperser **sans engendrer de perte de visibilité significative pour les automobilistes aux alentours ni à des distances élevées du site**.

Concernant la proximité du site avec l'autoroute A6, le numéro de téléphone du PC sécurité de la Direction des Routes Ile de France sera ajouté au plan de défense incendie de l'établissement.

Nous avons mis en œuvre des dispositifs de prévention pour limiter la probabilité de développement d'un incendie dans le bâtiment.

**9.4 Incendie de trois cellules de pneumatiques**

En nous basant sur une vitesse de combustion de 0,034 kg/m<sup>2</sup>.s pour 18 819 m<sup>2</sup>, nous obtenons un débit de combustion égal à 640 kg/s.

Connaissant la composition attendue des fumées pour un kg de pneumatiques, nous pouvons déterminer les débits maximaux en polluants pouvant être attendus dans le cas de l'incendie de trois cellules de pneumatiques :

Polluants	Débit attendu (en kg/s)
Suies	164
CO	79,6
CO <sub>2</sub>	2121,2
SO <sub>2</sub>	10,77
NO <sub>2</sub>	3,06
Formol	0,122
Fumées	2451,06

Afin de réaliser une modélisation majorante, nous recherchons les hauteurs de flammes pour une surface en feu de 1 800 m<sup>2</sup> (soit 10 % de la surface de 3 cellules).

Dans ce cas, la puissance thermique de l'incendie en phase de démarrage est égale à 1 834 MW. A partir de cette puissance thermique, les corrélations de Rauch et de Moses-Carson conduisent aux hauteurs de dispersions suivantes :

Vitesse du vent	H <sub>Rauch</sub> (m)	H <sub>Moses-Carson</sub> (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	607	1757	991	<b>437</b>
3 m/s	406	1171	660	<b>291</b>
5 m/s	244	702	397	<b>175</b>

Ces hauteurs de dispersion sont majorantes pour notre modélisation, sachant que la dilution des polluants dans l'atmosphère augmente avec la hauteur de dispersion.

• **Résultats**

Le tableau ci-dessous rapporte les distances auxquelles pourraient se manifester des impacts significatifs en fonction des différentes conditions météorologiques au moment de l'intensité maximale du sinistre étudié :

	Opacité	CO		CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>		NO <sub>2</sub>		Formol		Fumées incendie	
Combustion de 3 cellules de stockage pneumatiques	Visibilité à 5 m	Z1	Z2	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2

Seuils en mg/m <sup>3</sup>	79	3 680	920	89980	1 885	211	132	75	31	12	31 018	11 346
Cas A – 2 m/s (cibles entre 2 et 40 m)	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cas D – 5 m/s (cibles entre 2 et 40 m)	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cas F – 3 m/s (cibles entre 2 et 40 m)	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<

Les résultats des dispersions sont joints en annexe n°23.

- **Conclusions**

L'étude de dispersion des toxiques, sur la base des modèles appliqués, permet de considérer qu'en cas de sinistre généralisé de trois cellules de stockage de pneumatiques, les éléments toxiques susceptibles d'être emportés dans les fumées ont toutes les chances de se disperser **sans engendrer de risque significatif aux alentours ni à des distances élevées du site.**

Le risque de perte de visibilité sur les axes routiers alentours et notamment sur l'autoroute A6 a été étudié avec l'analyse de la dispersion des suies.

Comme pour les produits toxiques, la modélisation a montré que les suies ont toutes les chances de se disperser **sans engendrer de perte de visibilité significative pour les automobilistes aux alentours ni à des distances élevées du site.**

Concernant la proximité du site avec l'autoroute A6, le numéro de téléphone du PC sécurité de la Direction des Routes Ile de France sera ajouté au plan de défense incendie de l'établissement.

Nous avons mis en œuvre des dispositifs de prévention pour limiter la probabilité de développement d'un incendie dans le bâtiment.

## 10 ETUDE DES EFFETS TOXIQUES EN CAS DE DISPERSION ACCIDENTELLE D'AMMONIAC

L'analyse des phénomènes dangereux nous a montré qu'en ce qui concerne l'installation de production de froid, le phénomène dangereux identifié est la fuite d'ammoniac.

Compte tenu de l'installation mise en œuvre dans la salle des machines de l'établissement, plusieurs scénarios d'accident peuvent être envisagés :

- L'apparition d'une brèche de 3 centimètres dans la bouteille basse pression contenant 500 kg d'ammoniac,
- L'apparition d'une rupture franche sur une canalisation haute pression,
- L'apparition d'une fuite légère (de 20 mm) sur une canalisation haute pression.

Avec le premier scénario nous avons voulu modéliser l'effet d'une fuite massive d'ammoniac dans un temps réduit (vitesse d'éjection de 1,883 kg/s du NH<sub>3</sub>, le temps de fuite est égal à 264 secondes).

Avec le second scénario nous avons voulu modéliser une fuite importante d'ammoniac dans un temps long (vitesse d'éjection de 0,826 kg/s du NH<sub>3</sub>, le temps de fuite est égal à 605 secondes).

Avec le troisième scénario nous avons voulu modéliser une fuite légère d'ammoniac pendant un temps long (0,468 kg/s du NH<sub>3</sub>, le temps de fuite est égal à 1 068 secondes)

Suivant le rapport de l'INERIS DRA RBo-1999-20410 relatif aux essais sur l'ammoniac et le guide technique de l'Association Française du Froid relatif aux installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac, les phénomènes dangereux associés à la rupture d'une canalisation sur la portion BP liquide de l'installation frigorifique ne feront pas l'objet de modélisation quantitative, les phénomènes étant minorant par rapport à une rupture d'une canalisation en portion HP gaz ou liquide.

En effet, la fuite de NH<sub>3</sub> liée à une rupture de canalisation en sortie de bouteille BP sera très rapide de l'ordre de quelques secondes à une minute, ainsi l'ammoniac, sous une très faible pression, sera rejeté sous forme liquide. Une partie de l'ammoniac au rejet va se vaporiser et former des aérosols. Cette partie est négligeable. Le rejet liquide d'ammoniac va donner naissance à une nappe liquide sur le sol de la salle des machines à une température proche de la température du rejet (soit -8°C).

L'ammoniac ayant besoin d'une grande quantité de chaleur pour se vaporiser, il va trouver l'énergie :

- par apport d'énergie extérieure (l'air ambiant de la salle des machines et le sol),
- et en abaissant sa température.

Ainsi au début du rejet, la nappe d'ammoniac va se vaporiser très vite grâce à l'apport d'énergie fournie par le sol de la salle des machines. Mais au cours du temps, la température du sol va diminuer permettant ainsi la rétention de l'ammoniac liquide dans le bâtiment et diminuant la vaporisation de l'ammoniac au cours du temps.

La rétention de l'ammoniac dans un local permet de réduire le niveau de concentration dans l'environnement.

De même, pour une fuite sur la portion BP, la pression étant assez faible (2,7 bars), ce phénomène dangereux n'est pas majorant par rapport aux fuites sur la portion HP.

Dans le cadre de l'étude des dangers nous avons choisi de modéliser un relargage massif d'ammoniac dans un temps réduit afin de modéliser une dispersion atmosphérique d'un nuage d'ammoniac concentré.

Nous avons donc choisi d'étudier l'effet d'une brèche importante dans une bouteille BP de 500 kg. L'INERIS indique que les modélisations sur les parties BP sont minorantes car dans le cas de la basse pression l'ammoniac est liquide et s'écoule au sol sous forme de flaque sans s'évaporer.

Dans la cadre de la présente étude, nous précisons que nous avons modélisé en considérant que l'ensemble de la phase liquide produite lors de la fuite s'évaporerait totalement dans la salle des machines. Nous sommes donc très majorants par rapport à la réalité.

Chaque scénario sera étudié en prenant en compte les dispositifs de sécurité mis en œuvre et en l'absence de ces dispositifs.

## 10.1 Fuite d'ammoniac suite à une brèche de 3 cm sur la bouteille BP de 500 kg avec détection efficace

L'installation de production de froid comporte une bouteille basse pression de 500 kg. Il s'agit d'un réservoir contenant de l'ammoniac sous forme liquide et vapeur et se trouvant à basse pression dont le rôle est d'être une capacité tampon de fluide frigorigène pour la distribution en basse pression et une capacité de séparation liquide/vapeur.

On étudie les conséquences d'une fuite importante sur cette bouteille.

### 10.1.1 Hypothèses

Plusieurs hypothèses fondamentales sont nécessaires pour envisager la détermination des conséquences du scénario étudié : on considère une fuite dont le diamètre est égal à 3 centimètres et qui est située à 5 centimètres du fond de la bouteille basse pression.

On considère que la fuite qui a lieu dans la salle des machines est correctement confinée et que l'ammoniac est évacué vers l'extérieur via l'extracteur de secours asservi à la détection d'ammoniac ou via l'extracteur mécanique d'air permettant l'évacuation de l'air chaud en période de fonctionnement normal de l'installation en cas de défaillance de l'installation de détection.

### 10.1.2 Remarques sur les valeurs retenues

En ce qui concerne les effets sur l'homme, les critères de toxicité retenus sont les SEI (Seuils des Effets Irréversibles) et SEL (Seuils des Effets Létaux), pour un temps d'exposition de 60 minutes de l'ammoniac dont les valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

	SEI Z2	SEL Z1	Références
Ammoniac NH <sub>3</sub>	354 ppm	3 400 ppm	Seuils de toxicité en situations en situations accidentelles – INERIS DRC-08-94398-11812A

Pour des substances toxiques comme l'ammoniac dont la toxicité dépend fortement de la durée d'exposition il est important de déterminer une valeur moyenne d'exposition calée sur la durée d'exposition étudiée.

Comme expliqué plus avant dans la présente étude, la fraction moyenne de NH<sub>3</sub> dans la salle des machines est calculée en moyenne sur 30 minutes et ce dans l'optique de majorer les résultats (la fraction volumique moyenne de NH<sub>3</sub> est plus importante sur 30 minutes que sur 60 minutes).

On pourrait donc penser qu'il est logique dès lors de retenir les critères de toxicité SEI (Seuils des Effets Irréversibles) et SEL (Seuils des effets Létaux) de l'ammoniac pour un temps d'exposition de 30 minutes.

Ces valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

	SEI Z2	SEL Z1	Références
Ammoniac NH <sub>3</sub>	500 ppm	4 767 ppm	Seuils de toxicité en situations en situations accidentelles – INERIS - DRC-08-94398-11812A

On observe que les seuils SEI et SEL de l'ammoniac sont plus importants pour 30 minutes que pour 60 minutes.

Dans une optique de majoration des résultats il est donc préférable de baser la modélisation sur les seuils SEI et SEL les plus faibles possibles. Nous retiendrons donc les seuils SEI et SEL pour une exposition durant 60 minutes.

### 10.1.3 Calcul du terme source dans la salle des machines

Trois étapes sont nécessaires pour modéliser correctement la dispersion de l'ammoniac se produisant dans un local ventilé ou non :

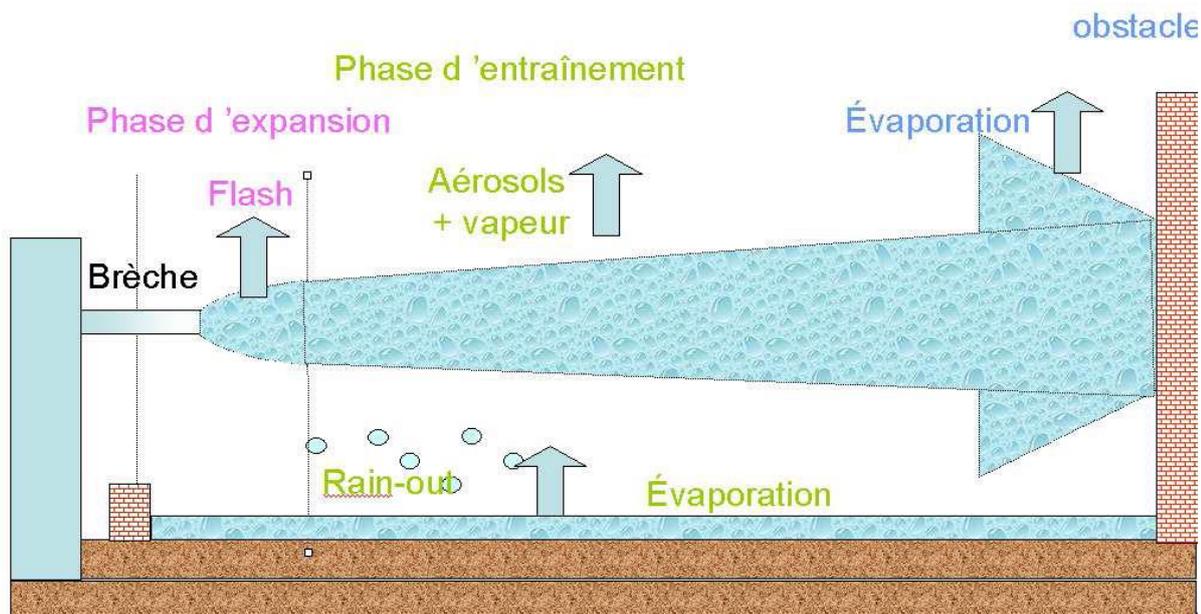
- calcul des caractéristiques de la fuite (débit, taux de flash, durée de flash, fraction liquide, diamètres des gouttes, etc ...).
- calcul de l'évolution de la concentration d'ammoniac dans le local et détermination des propriétés de rejet du mélange à l'extérieur du local. Il est important de prendre en compte dans ce cas la présence de l'extracteur mécanique d'air.
- Enfin, modélisation de la dispersion atmosphérique à l'air libre en tenant compte des contributions par les aérations du local (extracteurs mécaniques)

- **Rejet diphasique dans la salle des machines**

Etant données les conditions de stockage de l'ammoniac (en bouteille à 2 bars de pression), son comportement en cas de rejet est plutôt celui d'un gaz plus lourd que l'air. Ainsi, en cas de rejet à partir de la phase liquide d'un réservoir sous pression, le rejet est alors diphasique et conduit à l'émission d'un mélange composé de gaz, de liquide et d'aérosols (fines gouttelettes liquides). La détente associée à la perte de confinement conduit à un refroidissement de l'ensemble du rejet, ce qui concourt à la formation d'un nuage plus lourd que l'air ambiant.

Lors d'une fuite d'ammoniac sous pression, il se produit une détente en phase d'expansion due au flash adiabatique (fluide passant d'un état sous pression à un état à la pression atmosphérique).

Durant cette phase d'expansion, l'ammoniac liquide est fragmenté sous forme de gouttelettes. L'ammoniac est ensuite dispersé sous la forme d'un jet diphasique composé de vapeur et de gouttelettes.



Extrait du rapport INERIS – GT NH 3 – version 6 – 08/09/2006

Le jet est donc constitué de gaz et de gouttelettes aérosols d'un diamètre compris entre quelques micromètres et quelques millimètres. En fonction de leur diamètre et de leur trajectoire :

- Soit les gouttelettes s'évaporent totalement au cours de leur trajet par frottement mécanique avec l'air et transfert thermique,
- Soit les gouttelettes rencontrent un obstacle (mur, sol,...). Elles peuvent ensuite se vaporiser instantanément (si la paroi est "chaude" comparée au point d'ébullition du produit) ou rester à l'état liquide (si la paroi est "froide" comparée à la température d'ébullition) pour s'écouler sur la surface de l'obstacle jusqu'à former un dépôt liquide (ou « rain-out »). En effet, un obstacle à 20°C cède de la chaleur aux premières gouttelettes de gaz liquéfié et induit donc leur vaporisation. Sous l'effet de la perte de chaleur, l'obstacle refroidit et, par la suite, a plutôt tendance à piéger les gouttelettes.

Dans le cas de la présente modélisation et afin de rester dans une optique majorante nous estimons que l'ensemble de la phase liquide (gouttelettes aérosols) produite lors du flash adiabatique s'évapore totalement dans la salle des machines.

#### • Calcul du terme source

Le débit d'émission de l'ammoniac en sortie de la brèche de 3 cm de diamètre en fond de bouteille basse pression a été calculé grâce au logiciel CAMEO – ALOHA.

Il s'agit d'un logiciel développé conjointement par les 2 entités américaines suivantes : l'Environmental Protection Agency's Office of Emergency Prevention, Preparedness and Response" (EPA) et le "National Oceanic and Atmospheric Administration's Office of Response and Restoration" (NOAA).

Le logiciel se compose :

- du module CAMEO qui contient principalement des bases de données chimiques et toxicologiques,
- du module ALOHA ("Areal Locations of Hazardous Atmospheres") qui est un programme informatique permettant d'évaluer, dans des situations d'urgence, la dispersion atmosphérique, de composés rejetés dans des conditions accidentelles. Il prend en compte les propriétés toxicologiques et physiques des polluants, et les caractéristiques du site telles que les conditions atmosphériques et les conditions de rejets. Ce module comprend une bibliothèque de 700 substances chimiques et permet un affichage graphique des résultats.

ALOHA utilise, suivant le type de polluant, deux modèles de dispersion atmosphérique :

- un modèle gaussien pour les gaz neutres au niveau de la suspension dans l'atmosphère,
- et un modèle de gaz lourd, basé sur le modèle DEGADIS 2.1 (Spicer, Tom and Jerry Havens, 1989) qui a été simplifié par souci de rapidité de calcul.

Ils supposent un terrain plat, sans réaction chimique, avec un terme source d'émission stationnaire. Leur avantage principal est le temps rapide de calcul.

ALOHA permet la modélisation d'émissions à partir :

- de flaques en ébullition ou non,
- de réservoirs sous pression de gaz ou de liquide, de réservoirs liquides non pressurisés, de réservoirs contenant des gaz liquéfiés, de conduite de gaz sous pression.

ALOHA modélise la dispersion atmosphérique de gaz neutre, par un module basé sur l'approche gaussienne, et de gaz plus lourd que l'air au moyen d'un module de gaz dense. Il propose à l'utilisateur le choix entre les deux modules, et de définir lui même le module. Plus précisément les critères du logiciel sont la masse molaire du produit, la taille du rejet et la température du nuage.

Les résultats de la modélisation du débit de fuite de NH<sub>3</sub> sont présentés dans le tableau ci-dessous :

SITE DATA:	
Location: COUDRAY MONTCEAUX, FRANCE	
Building Air Exchanges Per Hour: 0.42 (unsheltered single storied)	
Time: October 13, 2017 1645 hours ST (using computer's clock)	
CHEMICAL DATA:	
Chemical Name: AMMONIA	
CAS Number: 7664-41-7	Molecular Weight: 17.03 g/mol
AEGL-1 (60 min): 30 ppm	AEGL-2 (60 min): 160 ppm
AEGL-3 (60 min): 1100 ppm	
IDLH: 300 ppm	LEL: 150000 ppm
UEL: 280000 ppm	
Ambient Boiling Point: -33.4° C	
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm	
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%	
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)	
Wind: 2 meters/second from W at 3 meters	
Ground Roughness: open country	Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 20° C	
Stability Class: B (user override)	
No Inversion Height	Relative Humidity: 50%

**SOURCE STRENGTH:**

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 1.1 meters          Tank Length: 1.1 meters

Tank Volume: 1.05 cubic meters

Tank contains liquid          Internal Temperature: -10° C

Chemical Mass in Tank: 500 kilograms

Tank is 74% full

Circular Opening Diameter: 3 centimeters

Opening is 5 centimeters from tank bottom

Note: RAILCAR predicts a stationary cloud or 'mist pool' will form.

Model Run: traditional ALOHA tank

Release Duration: 5 minutes

Max Average Sustained Release Rate: **113 kilograms/min**

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 497 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

La modélisation nous conduit à retenir un terme source de 113 kg/min soit 1,883 kg/s de NH<sub>3</sub>.

La détente adiabatique de la bouteille basse pression conduit à un relargage de 497 kg d'ammoniac sur les 500 kg contenus dans la bouteille.

Dans une optique de majoration nous considérerons que les 500 kg d'ammoniac contenus dans la bouteille sont relargués dans la salle des machines.

En considérant une vitesse d'éjection de 1,883 kg/s du NH<sub>3</sub>, le temps de fuite est égal à 264 secondes.

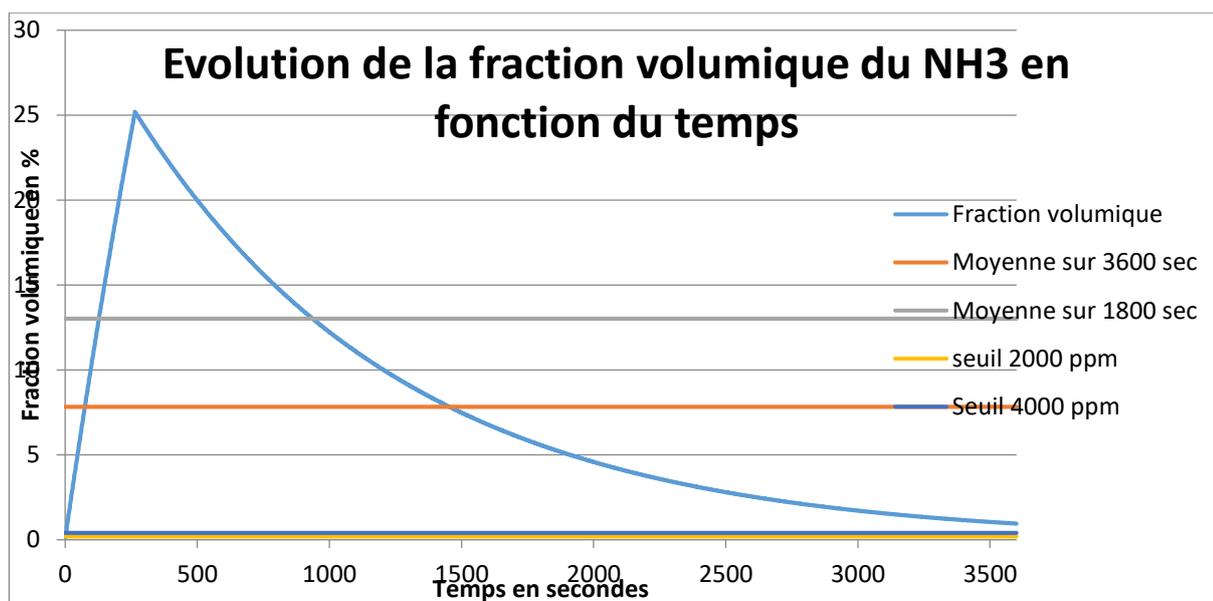
#### **10.1.4          *Calcul de l'évolution de la concentration d'ammoniac dans la salle des machines***

La détermination des propriétés du rejet du mélange NH<sub>3</sub>/air impose de connaître l'évolution de la concentration d'ammoniac dans le local.

Les données sont :

- Débit d'émission de l'ammoniac : 1,88 kg/s pendant 264 secondes,
- Volume du local = 1 980 m<sup>3</sup> (superficie = 330 m<sup>2</sup> x 6 m)
- Débit de l'extracteur de secours = 7 000 m<sup>3</sup>/h

On déduit de ces données l'évolution de la fraction volumique de l'ammoniac par rapport à l'air dans le local en fonction du temps :



On constate que la part d'NH<sub>3</sub> dans le volume du local évolue dans le temps pour tendre vers zéro du fait du renouvellement de l'air du local.

Pour des substances toxiques comme l'ammoniac dont la toxicité dépend fortement de la durée d'exposition il est important de déterminer une valeur moyenne d'exposition calée sur la durée d'exposition étudiée.

Dans la présente modélisation les SEI (Seuils des Effets Irréversibles) et SEL (Seuils des effets Létaux) sont donnés pour un temps d'exposition de 60 minutes à l'ammoniac. Il est donc nécessaire de retenir une durée de « moyennage » de 60 minutes (c'est-à-dire faire la moyenne de la fraction volumique d'NH<sub>3</sub> dans la salle des machines sur 60 minutes).

On obtient ainsi une fraction volumique moyenne du NH<sub>3</sub> dans l'air extrait du local moyen égal à 7,81% durant 60 minutes.

Dans une optique de majoration des résultats nous avons choisi de ramener cette durée de moyennage à 30 minutes (c'est-à-dire de faire la moyenne de la fraction volumique d'NH<sub>3</sub> dans la salle des machines sur 30 minutes). Cette estimation est pénalisante sachant que durant les 30 dernières minutes le graphique ci-dessus montre que la part de NH<sub>3</sub> dans l'air extrait du local tend vers zéro ce qui conduit à une baisse importante de la fraction volumique moyennée sur 60 minutes.

Sur une durée de 30 minutes, la part moyenne de l'ammoniac dans l'air extrait du local est égale à 13,01%

On peut en déduire un débit massique de NH<sub>3</sub> rejeté hors du local :

Débit extrait par l'extracteur = 7 000 m<sup>3</sup>/h = 1,94 m<sup>3</sup>/s.

Part de NH<sub>3</sub> dans l'air extrait = 13,01%

Débit de NH<sub>3</sub> extrait = 1,94 m<sup>3</sup>/s x 13,01% = 0,252 m<sup>3</sup>/s

**En retenant une masse volumique de l'ammoniac de 0,88 kg/m<sup>3</sup> on en déduit un débit d'extraction de 0,222 kg/s d'ammoniac de la salle des machines.**

Il est possible à partir du débit d'émission de l'ammoniac dans la salle des machines de déterminer sous quelle durée la fuite est détectée par le premier seuil (2 000 ppm) puis par le second seuil (4 000 ppm).

Une concentration de 2 000 ppm correspond à une fraction volumique de 0,2% et donc une concentration de 4 000 ppm correspond à une fraction volumique de 0,4%.

**Le graphique de l'évolution de la fraction volumique du NH3 en fonction du temps présenté ci-dessus nous permet de constater que pour ce scénario, le seuil de détection de 2 000 ppm est atteint en 2 secondes et que le seuil de détection de 4 000 ppm est atteint en 4 secondes.**

### 10.1.5 Modélisation de la dispersion de l'ammoniac en dehors de la salle des machines

La modélisation de la dispersion de l'ammoniac a été réalisée au moyen du logiciel ALOHA suivant un modèle gaussien de Pasquill-Gifford tel que présenté en annexe n° 21.

Cette modélisation est fonction de la stabilité de l'atmosphère, différentes classes ont ainsi été établies par Pasquill et Turner.

Ces classes sont au nombre de 6, caractérisées par l'intensité de la turbulence :

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

Ces classes sont définies en fonction de la vitesse du vent, pour le jour en considérant l'intensité du rayonnement solaire et pour la nuit l'étendue de la couverture nuageuse.

Le tableau ci-dessous fournit les conditions dans lesquelles sont définies les classes de Pasquill-Turner :

Vitesse du vent (m/s)	Jour Selon un rayonnement solaire incident			Nuit Selon une couverture nuageuse	
	Fort Été – ciel dégagé	Modéré Ciel nuageux	Léger Hiver – ciel couvert	Dense >1/2 surface	Dégagée <1/2 surface
< 2	A	A – B	B		
2 à 3	A – B	B	C	E	F
3 à 5	B	B – C	C	D	E
5 à 6	C	C – D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

La modélisation a été réalisée pour les ensembles de conditions météorologiques suivants :

- Classe de stabilité A avec un vent de 2 m/s et une température de l'air ambiant de 20°C. Cette condition météorologique associe une atmosphère très instable et une faible vitesse de vent permettant d'illustrer les effets d'une dilution important du panache ascendant au voisinage de l'incendie.
- Classe de stabilité D avec un vent de 5 m/s pour une température de l'air ambiant de 20°C. Cette condition météorologique correspond à une atmosphère moyennement instable et neutre.
- Classe de stabilité F avec un vent de 3 m/s et une température de l'air ambiant de 15°C. Cette condition météorologique conjugue une stabilité très forte et le vent le plus important que l'on puisse lui associer. Cette condition est défavorable à la dispersion. En effet, une atmosphère dite stable est une atmosphère dans laquelle le gradient de température de l'atmosphère est supérieur au gradient thermique de l'adiabatique alors tout volume d'air déplacé vers le haut a, avant équilibre thermique, une température plus petite que l'air qui l'entoure. La masse volumique du volume élémentaire est plus importante que l'air qui l'entoure et tend à se déplacer vers le bas à sa position initiale (cf INERIS, Méthode pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels, Dispersion atmosphérique, Mécanismes et outils de calcul).

• **Hauteur de dispersion**

La hauteur de dispersion de l'ammoniac extrait de la salle des machines est égale à la hauteur de la cheminée surmontant l'extracteur d'air de secours asservit à la détection de NH<sub>3</sub>.

Dans le cas présent, la hauteur de la cheminée est égale à la hauteur à l'acrotère du bâtiment soit 10,50 m.

• **Résultats**

Le tableau ci-dessous rapporte les distances auxquelles pourraient se manifester des impacts significatifs en fonction des différentes conditions météorologiques au moment de l'intensité maximale du scénario étudié :

Fuite d'ammoniac suite à une brèche de 3 cm sur la bouteille BP de 500 kg	Ammoniac	
	SEI	SEL
Seuils en mg/m <sup>3</sup>	354 ppm	3 400 ppm
Cas A – 2 m/s	<	<
Cas D – 5 m/s	<	<
Cas F – 3 m/s	<	<

Les résultats de la modélisation joints en annexe 21 indiquent qu'en cas de fuite d'ammoniac de la bouteille basse pression de 500 kg, le gaz susceptible d'être extrait de la salle des machines a toutes les chances d'être dispersé aux alentours sans engendrer de risque significatif.

## 10.2 Fuite d'ammoniac suite à une brèche de 3 cm sur la bouteille BP de 500 kg sans détection

### 10.2.1 Hypothèses

Le scénario étudié reste celui d'une fuite dont le diamètre est égal à 3 cm et qui est située à 5 cm du fond de la bouteille basse pression.

On considère que la fuite qui a lieu dans la salle des machines est correctement confinée et que l'ammoniac est évacué vers l'extérieur via l'extracteur mécanique d'air permettant l'évacuation de l'air chaud en période de fonctionnement normal de l'installation.

Cet extracteur, qui aurait dû être interrompu par l'installation de détection, continue à fonctionner du fait de la défaillance de cette dernière. Cette défaillance empêche également le démarrage de l'extracteur ADF de secours.

### 10.2.2 Calcul de l'évolution de la concentration d'ammoniac dans la salle des machines

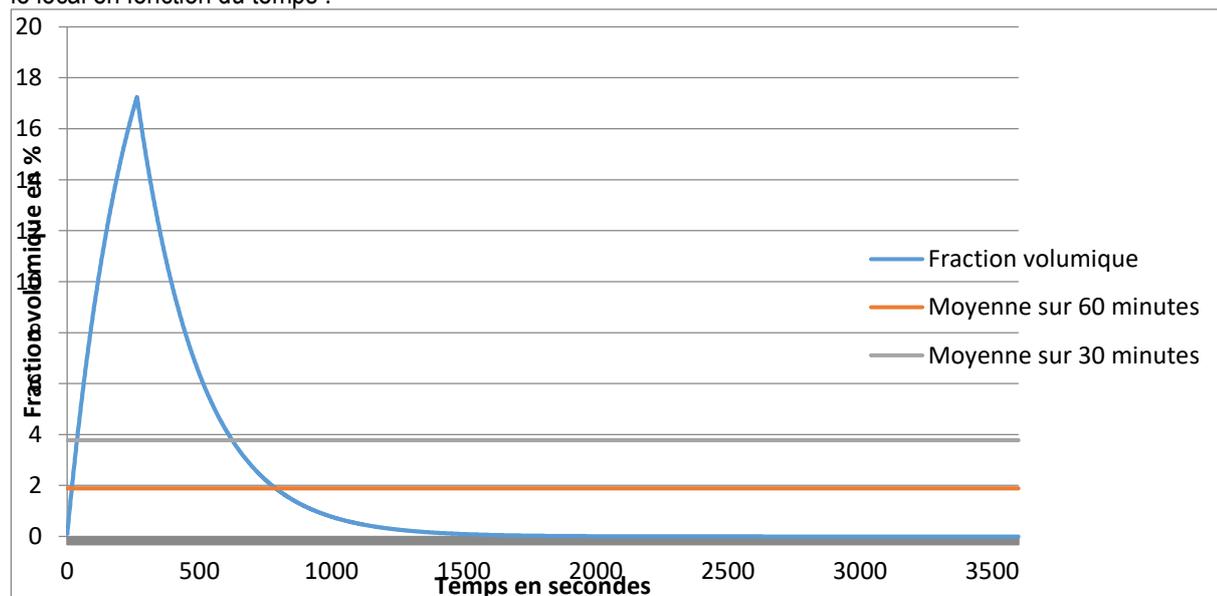
Le terme source d'émission de l'ammoniac est conservé égal à 113 kg/min soit 1,883 kg/s de NH<sub>3</sub>. En considérant une vitesse d'éjection de 1,883 kg/s du NH<sub>3</sub> sur une bouteille de 500 kg, le temps de fuite est égal à 264 secondes.

La détermination des propriétés du rejet du mélange NH<sub>3</sub>/air impose de connaître l'évolution de la concentration d'ammoniac dans le local.

En cas de défaillance de la détection, les données sont :

- Débit d'émission de l'ammoniac : 1,88 kg/s pendant 264 secondes,
- Volume du local = 1 980 m<sup>3</sup>
- Débit de l'extracteur de secours = 30 000 m<sup>3</sup>/h

On déduit de ces données l'évolution de la fraction volumique de l'ammoniac par rapport à l'air dans le local en fonction du temps :



On constate que la part d' $\text{NH}_3$  dans le volume du local évolue dans le temps pour tendre vers zéro du fait du renouvellement de l'air du local.

Sur une durée de 30 minutes, la part moyenne de l'ammoniac dans l'air extrait du local est égale à 3,78%

On peut en déduire un débit massique de  $\text{NH}_3$  rejeté hors du local :

Débit extrait par l'extracteur = 30 000  $\text{m}^3/\text{h}$  = 8,33  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Part de  $\text{NH}_3$  dans l'air extrait = 3,78 %

Débit de  $\text{NH}_3$  extrait = 8,33  $\text{m}^3/\text{s}$  x 3,77% = 0,314  $\text{m}^3/\text{s}$

**En retenant une masse volumique de l'ammoniac de 0,88  $\text{kg}/\text{m}^3$  on en déduit un débit d'extraction de 0,276  $\text{kg}/\text{s}$  d'ammoniac de la salle des machines.**

### 10.2.3 Modélisation de la dispersion de l'ammoniac en dehors de la salle des machines

- **Hauteur de dispersion**

La hauteur de dispersion de l'ammoniac extrait de la salle des machines est égale à la hauteur de la cheminée surmontant l'extracteur d'air chaud de la salle des machines.

Dans le cas présent, la hauteur de la cheminée est égale à la hauteur à l'acrotère du bâtiment soit 10,50 m.

- **Résultats**

Le tableau ci-dessous rapporte les distances auxquelles pourraient se manifester des impacts significatifs en fonction des différentes conditions météorologiques au moment de l'intensité maximale du scénario étudié :

Fuite d'ammoniac suite à une brèche de 3 cm sur la bouteille BP de 500 kg En l'absence de détection	Ammoniac	
	SEI	SEL
Seuils en $\text{mg}/\text{m}^3$	354 ppm	3 400 ppm
Cas A – 2 m/s	<	<
Cas D – 5 m/s	<	<
Cas F – 3 m/s	<	<

Les résultats de la modélisation joints en annexe 21 indiquent qu'en cas de fuite d'ammoniac de la bouteille basse pression de 500 kg et en cas de défaillance de la détection d'ammoniac, le gaz susceptible d'être extrait de la salle des machines a toutes les chances d'être dispersé aux alentours sans engendrer de risque significatif.

### 10.3 Fuite d'ammoniac suite à une rupture franche sur une canalisation Haute Pression avec détection efficace

L'installation de production de froid fonctionne en partie avec de l'ammoniac à haute pression (15 bars et  $-100^\circ\text{C}$ ). Cet ammoniac à haute pression circule entre les compresseurs (qui ont pour but d'aspirer et refouler l'ammoniac à l'état de vapeur par un moyen mécanique) et les évaporateurs

dans lesquels l'ammoniac liquide sous haute pression est détendu puis évaporé en prélevant la chaleur dans le fluide frigoporteur à refroidir.

On étudie les conséquences d'une rupture importante sur une canalisation dans laquelle circule l'ammoniac à haute pression.

### 10.3.1 Hypothèses

Plusieurs hypothèses fondamentales sont nécessaires pour envisager la détermination des conséquences du scénario étudié : on considère sur une canalisation de 30 centimètres de diamètre, une fuite d'une superficie de 707 cm<sup>2</sup> (surface liée à la rupture franche de la canalisation).

L'inventaire de NH<sub>3</sub> est considéré égal à 500 kg. Cette hypothèse est majorante sachant qu'il s'agit de l'inventaire de NH<sub>3</sub> de la bouteille basse pression qui est supérieur aux inventaires cumulés d'un compresseur et d'un évaporateur.

On considère que la fuite qui a lieu dans la salle des machines est correctement confinée et que l'ammoniac est évacué vers l'extérieur via l'extracteur de secours asservi à la détection d'ammoniac ou via l'extracteur mécanique d'air permettant l'évacuation de l'air chaud en période de fonctionnement normale de l'installation en cas de défaillance de l'installation de détection.

### 10.3.2 Remarques sur les valeurs retenues

En ce qui concerne les effets sur l'homme, les critères de toxicité retenus sont les SEI (Seuils des Effets Irréversibles) et SEL (Seuils des effets Létaux), pour un temps d'exposition de 60 minutes de l'ammoniac dont les valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

	SEI Z2	SEL Z1	Références
Ammoniac NH <sub>3</sub>	354 ppm	3 400 ppm	Seuils de toxicité en situations en situations accidentelles – INERIS - DRC-08-94398-11812A

### 10.3.3 Calcul du terme source dans la salle des machines

La détermination du terme source dans la salle des machines a été réalisée à partir du logiciel ALOHA précédemment décrit.

Comme pour la modélisation précédente, et afin de rester dans une optique majorante nous estimons que l'ensemble de la phase liquide (gouttelettes aérosols) produite lors du flash adiabatique s'évapore totalement dans la salle des machines.

Les résultats de la modélisation du débit de fuite de NH<sub>3</sub> sont présentés dans le tableau ci-dessous :

#### SITE DATA:

Location: COUDRAY MONTCEAUX, FRANCE

Building Air Exchanges Per Hour: 0.42 (unsheltered single storied)

Time: October 16, 2017 1617 hours ST (using computer's clock)

#### CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA

CAS Number: 7664-41-7                      Molecular Weight: 17.03 g/mol  
 AEGL-1 (60 min): 30 ppm   AEGL-2 (60 min): 160 ppm   AEGL-3 (60 min): 1100 ppm  
 IDLH: 300 ppm   LEL: 150000 ppm   UEL: 280000 ppm  
 Ambient Boiling Point: -33.4° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2 meters/second from W at 3 meters  
 Ground Roughness: open country      Cloud Cover: 5 tenths  
 Air Temperature: 20° C  
 Stability Class: A (user override)  
 No Inversion Height                      Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Flammable gas escaping from pipe (not burning)  
 Pipe Diameter: 30 centimeters      Pipe Length: 90 meters  
 Unbroken end of the pipe is closed off  
 Pipe Roughness: smooth                  Hole Area: 707 sq cm  
 Pipe Press: 15 atmospheres      Pipe Temperature: 100° C  
 Release Duration: 1 minute  
 Max Average Sustained Release Rate: 826 grams/sec  
 (averaged over a minute or more)  
 Total Amount Released: 49.5 kilograms

La modélisation nous conduit à retenir un terme source de 0,826 kg/s de NH<sub>3</sub>.

En considérant une quantité de NH<sub>3</sub> dans le système égale à 500 kg et une vitesse d'éjection de 0,826 kg/s du NH<sub>3</sub>, le temps de fuite est égal à 605 secondes.

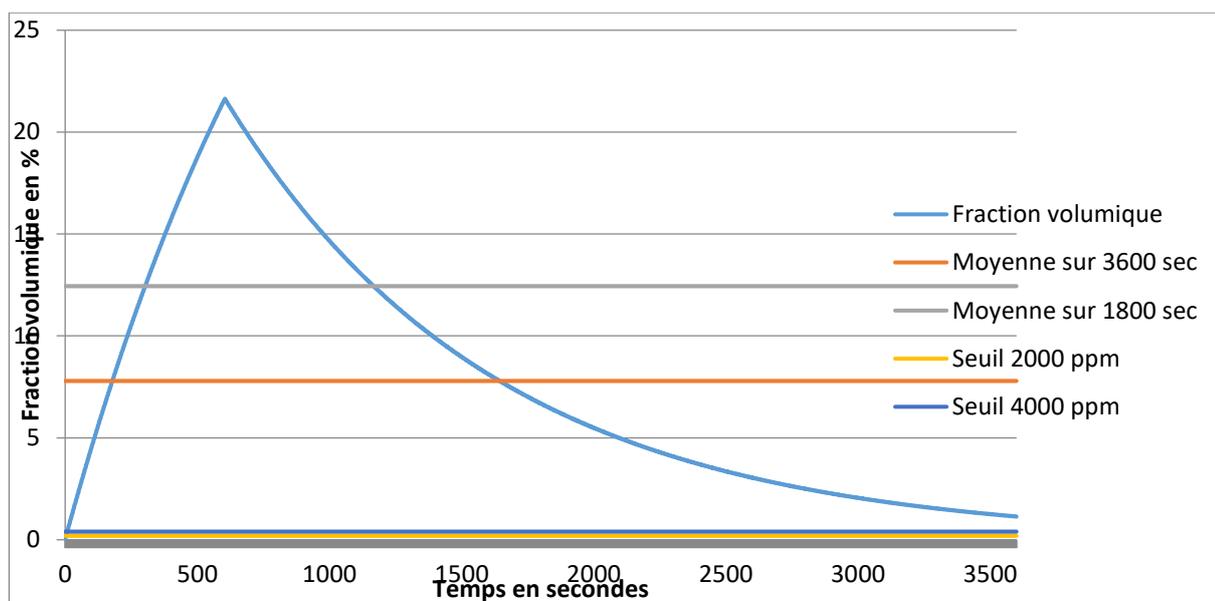
#### 10.3.4 **Calcul de l'évolution de la concentration d'ammoniac dans la salle des machines**

La détermination des propriétés du rejet du mélange NH<sub>3</sub>/air impose de connaître l'évolution de la concentration d'ammoniac dans le local.

Les données sont :

- Débit d'émission de l'ammoniac : 0,826 kg/s pendant 605 secondes,
- Volume du local = 1 980 m<sup>3</sup>
- Débit de l'extracteur de secours = 7 000 m<sup>3</sup>/h

On déduit de ces données l'évolution de la fraction volumique de l'ammoniac par rapport à l'air dans le local en fonction du temps :



On constate une fraction volumique moyenne du  $\text{NH}_3$  dans l'air extrait du local moyen égal à 7,53% durant 60 minutes.

Comme pour la modélisation précédente, dans une optique de majoration des résultats nous avons choisi de ramener cette durée de moyennage à 30 minutes. Cette estimation est pénalisante sachant que durant les 30 dernières minutes le graphique ci-dessus montre que la part de  $\text{NH}_3$  dans l'air extrait du local tend vers zéro.

Sur une durée de 30 minutes, la part moyenne de l'ammoniac dans l'air extrait du local est égale à 12,49 %

On peut en déduire un débit massique de  $\text{NH}_3$  rejeté hors du local :

Débit extrait par l'extracteur = 7 000  $\text{m}^3/\text{h}$  = 1,94  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Part de  $\text{NH}_3$  dans l'air extrait = 12,49%

Débit de  $\text{NH}_3$  extrait = 1,94  $\text{m}^3/\text{s}$  x 12,49% = 0,242  $\text{m}^3/\text{s}$

**En retenant une masse volumique de l'ammoniac de 0,88  $\text{kg}/\text{m}^3$  on en déduit un débit d'extraction de 0,213  $\text{kg}/\text{s}$  d'ammoniac de la salle des machines.**

Il est possible à partir du débit d'émission de l'ammoniac dans la salle des machines de déterminer sous quelle durée la fuite est détectée par le premier seuil (2 000 ppm) puis par le second seuil (4 000 ppm).

Une concentration de 2 000 ppm correspond à une fraction volumique de 0,2% et donc une concentration de 4 000 ppm correspond à une fraction volumique de 0,4%.

**Le graphique de l'évolution de la fraction volumique du  $\text{NH}_3$  en fonction du temps présenté ci-dessus nous permet de constater que pour ce scénario, le seuil de détection de 2 000 ppm est atteint en 5 secondes et que le seuil de détection de 4 000 ppm est atteint en 9 secondes.**

### 10.3.5 Modélisation de la dispersion de l'ammoniac en dehors de la salle des machines

La modélisation de la dispersion de l'ammoniac a été réalisée au moyen du logiciel ALOHA suivant un modèle gaussien de Pasquill-Gifford tel que présenté en annexe n° 21.

La modélisation a été réalisée pour les mêmes classes de stabilité que la modélisation précédente.

- **Hauteur de dispersion**

La hauteur de dispersion de l'ammoniac extrait de la salle des machines est égale à la hauteur de la cheminée surmontant l'extracteur d'air de secours asservit à la détection de NH<sub>3</sub>.

Dans le cas présent, la hauteur de la cheminée est égale à la hauteur à l'acrotère du bâtiment soit 10,50 m.

- **Résultats**

Le tableau ci-dessous rapporte les distances auxquelles pourraient se manifester des impacts significatifs en fonction des différentes conditions météorologiques au moment de l'intensité maximale du scénario étudié :

Fuite d'ammoniac suite une rupture franche sur une canalisation haute pression	Ammoniac	
	SEI	SEL
Seuils en mg/m <sup>3</sup>	354 ppm	3 400 ppm
Cas A – 2 m/s	<	<
Cas D – 5 m/s	<	<
Cas F – 3 m/s	<	<

Les résultats de la modélisation joints en annexe 21 indiquent qu'en cas de rupture franche sur une canalisation HP, le gaz susceptible d'être extrait de la salle des machines a toutes les chances d'être dispersé aux alentours sans engendrer de risque significatif.

## 10.4 Fuite d'ammoniac suite à une rupture franche sur une canalisation Haute Pression sans détection

### 10.4.1 Hypothèses

Le scénario étudié reste celui d'une rupture franche sur une canalisation HP d'ammoniac.

On considère que la fuite qui a lieu dans la salle des machines est correctement confinée et que l'ammoniac est évacué vers l'extérieur via l'extracteur mécanique d'air permettant l'évacuation de l'air chaud en période de fonctionnement normal de l'installation.

Cet extracteur, qui aurait dû être interrompu par l'installation de détection, continue à fonctionner du fait de la défaillance de cette dernière. Cette défaillance empêche également le démarrage de l'extracteur ADF de secours.

### 10.4.2 Calcul de l'évolution de la concentration d'ammoniac dans la salle des machines

La modélisation nous conduit à retenir un terme source de 0,826 kg/s de NH<sub>3</sub>.

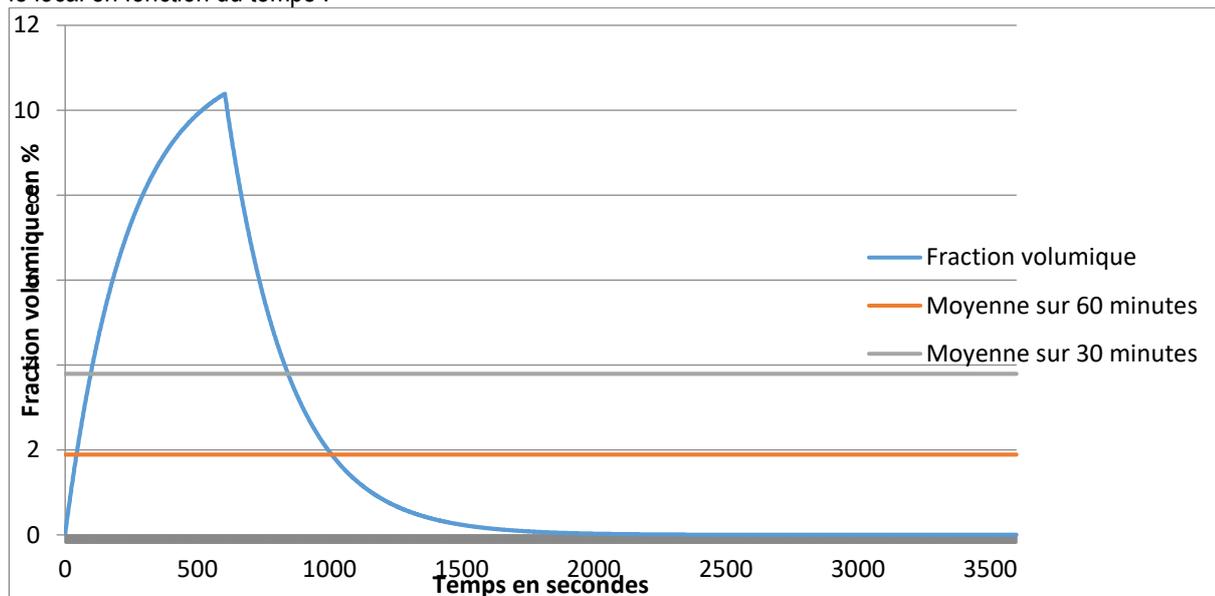
En considérant une quantité de  $\text{NH}_3$  dans le système égale à 500 kg et une vitesse d'éjection de 0,826 kg/s du  $\text{NH}_3$ , le temps de fuite est égal à 605 secondes.

La détermination des propriétés du rejet du mélange  $\text{NH}_3$ /air impose de connaître l'évolution de la concentration d'ammoniac dans le local.

En cas de défaillance de la détection, les données sont :

- Débit d'émission de l'ammoniac : 0,826 kg/s pendant 605 secondes,
- Volume du local = 1 980  $\text{m}^3$
- Débit de l'extracteur de secours = 30 000  $\text{m}^3/\text{h}$

On déduit de ces données l'évolution de la fraction volumique de l'ammoniac par rapport à l'air dans le local en fonction du temps :



On constate que la part d' $\text{NH}_3$  dans le volume du local évolue dans le temps pour tendre vers zéro du fait du renouvellement de l'air du local.

Sur une durée de 30 minutes, la part moyenne de l'ammoniac dans l'air extrait du local est égale à 3,78 %

On peut en déduire un débit massique de  $\text{NH}_3$  rejeté hors du local :

Débit extrait par l'extracteur = 30 000  $\text{m}^3/\text{h}$  = 8,33  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Part de  $\text{NH}_3$  dans l'air extrait = 3,78 %

Débit de  $\text{NH}_3$  extrait = 8,33  $\text{m}^3/\text{s}$  x 3,78 % = 0,314  $\text{m}^3/\text{s}$

**En retenant une masse volumique de l'ammoniac de 0,88  $\text{kg}/\text{m}^3$  on en déduit un débit d'extraction de 0,276 kg/s d'ammoniac de la salle des machines.**

#### 10.4.3 Modélisation de la dispersion de l'ammoniac en dehors de la salle des machines

- **Hauteur de dispersion**

La hauteur de dispersion de l'ammoniac extrait de la salle des machines est égale à la hauteur de la toiture du local, l'extracteur d'air chaud n'étant pas surmonté d'une cheminée.

Dans le cas présent, la hauteur de dispersion en cas de défaillance de la détection est égale à 6,50 m.

- **Résultats**

Le tableau ci-dessous rapporte les distances auxquelles pourraient se manifester des impacts significatifs en fonction des différentes conditions météorologiques au moment de l'intensité maximale du scénario étudié :

Rupture franche d'une canalisation HP En l'absence de détection	Ammoniac	
	SEI	SEL
Seuils en mg/m <sup>3</sup>	354 ppm	3 400 ppm
Cas A – 2 m/s	<	<
Cas D – 5 m/s	<	<
Cas F – 3 m/s	<	<

Les résultats de la modélisation joints en annexe 21 indiquent qu'en cas de rupture franche d'une canalisation HP et en cas de défaillance de la détection d'ammoniac, le gaz susceptible d'être extrait de la salle des machines a toutes les chances d'être dispersé aux alentours sans engendrer de risque significatif.

## 10.5 Fuite d'ammoniac suite à une fuite légère (20 mm) sur une canalisation Haute Pression avec détection efficace

L'installation de production de froid fonctionne en partie avec de l'ammoniac à haute pression (15 bars et -100°C). Cet ammoniac à haute pression circule entre les compresseurs (qui ont pour but d'aspirer et refouler l'ammoniac à l'état de vapeur par un moyen mécanique) et les évaporateurs dans lesquels l'ammoniac liquide sous haute pression est détendu puis évaporé en prélevant la chaleur dans le fluide frigoporteur à refroidir.

On étudie les conséquences d'une fuite légère (diamètre de 20 mm) sur une canalisation dans laquelle circule l'ammoniac à haute pression. Le diamètre de fuite considéré par le TNO est égal à 10% du diamètre nominal de la canalisation.

### 10.5.1 Hypothèses

Plusieurs hypothèses fondamentales sont nécessaires pour envisager la détermination des conséquences du scénario étudié : on considère une fuite d'un diamètre de 20 mm (3,14 cm<sup>2</sup>) sur une canalisation de 30 cm.

L'inventaire de NH<sub>3</sub> est considéré égal à 500 kg. Cette hypothèse est majorante sachant qu'il s'agit de l'inventaire de NH<sub>3</sub> de la bouteille basse pression qui est supérieur aux inventaires cumulés d'un compresseur et d'un évaporateur.

On considère que la fuite qui a lieu dans la salle des machines est correctement confinée et que l'ammoniac est évacué vers l'extérieur via l'extracteur de secours asservi à la détection d'ammoniac ou via l'extracteur mécanique d'air permettant l'évacuation de l'air chaud en période de fonctionnement normale de l'installation en cas de défaillance de l'installation de détection.

**10.5.2 Remarques sur les valeurs retenues**

En ce qui concerne les effets sur l'homme, les critères de toxicité retenus sont les SEI (Seuils des Effets Irréversibles) et SEL (Seuils des effets Létaux), pour un temps d'exposition de 60 minutes de l'ammoniac dont les valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

	<b>SEI Z2</b>	<b>SEL Z1</b>	<b>Références</b>
Ammoniac NH <sub>3</sub>	354 ppm	3 400 ppm	Seuils de toxicité en situations en situations accidentelles – INERIS DRC-08-94398-11812A

**10.5.3 Calcul du terme source dans la salle des machines**

La détermination du terme source dans la salle des machines a été réalisée à partir du logiciel ALOHA précédemment décrit.

Comme pour la modélisation précédente, et afin de rester dans une optique majorante nous estimons que l'ensemble de la phase liquide (gouttelettes aérosols) produite lors du flash adiabatique s'évapore totalement dans la salle des machines.

Les résultats de la modélisation du débit de fuite de NH<sub>3</sub> sont présentés dans le tableau ci-dessous :

<p>CHEMICAL DATA:</p> <p>Chemical Name: AMMONIA                      Molecular Weight: 17.03 g/mol</p> <p>ERPG-1: 25 ppm    ERPG-2: 150 ppm    ERPG-3: 750 ppm</p> <p>IDLH: 300 ppm    LEL: 160000 ppm    UEL: 250000 ppm</p> <p>Ambient Boiling Point: -33.4° C</p> <p>Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm</p> <p>Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%</p> <p>ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)</p> <p>Wind: 2 meters/second from w at 3 meters</p> <p>Ground Roughness: open country              Cloud Cover: 5 tenths</p> <p>Air Temperature: 20° C                      Stability Class: B</p> <p>No Inversion Height                      Relative Humidity: 50%</p> <p>SOURCE STRENGTH:</p> <p>Flammable gas escaping from pipe (not burning)</p> <p>Pipe Diameter: 30 centimeters              Pipe Length: 90 meters</p> <p>Unbroken end of the pipe is closed off</p> <p>Pipe Roughness: smooth                      Hole Area: 3.14 sq cm</p> <p>Pipe Press: 15 atmospheres              Pipe Temperature: 100° C</p> <p>Max Average Sustained Release Rate: <b>28.1 kilograms/min</b> (averaged over a minute or more)</p> <p>Total Amount Released: 49.5 kilograms</p>
---

La modélisation nous conduit à retenir un terme source de 0,468 kg/s de NH<sub>3</sub>.

En considérant une quantité de NH<sub>3</sub> dans le système égale à 500 kg et une vitesse d'éjection de 0,468 kg/s du NH<sub>3</sub>, le temps de fuite est égal à 1 068 secondes.

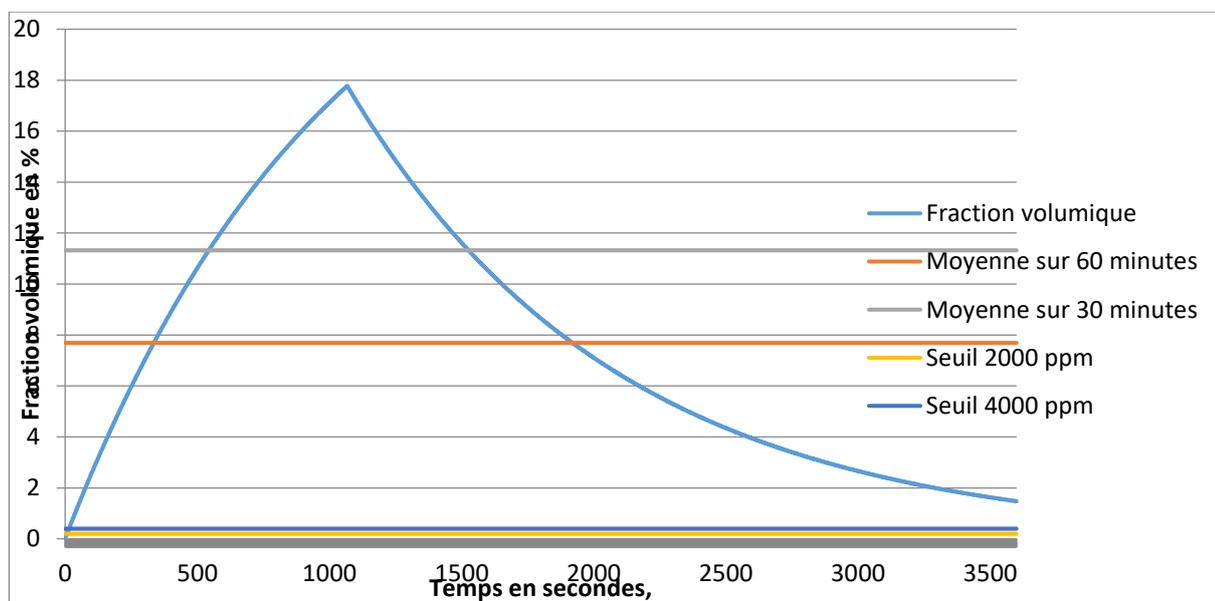
#### 10.5.4 Calcul de l'évolution de la concentration d'ammoniac dans la salle des machines

La détermination des propriétés du rejet du mélange NH<sub>3</sub>/air impose de connaître l'évolution de la concentration d'ammoniac dans le local.

Les données sont :

- Débit d'émission de l'ammoniac : 0,468 kg/s pendant 1 068 secondes,
- Volume du local = 1 980 m<sup>3</sup>
- Débit de l'extracteur de secours = 7 000 m<sup>3</sup>/h

On déduit de ces données l'évolution de la fraction volumique de l'ammoniac par rapport à l'air dans le local en fonction du temps :



On constate une fraction volumique moyenne du NH<sub>3</sub> dans l'air extrait du local moyen égal à 9,4% durant 60 minutes.

Comme pour la modélisation précédente, dans une optique de majoration des résultats nous avons choisi de ramener cette durée de moyennage à 30 minutes. Cette estimation est pénalisante sachant que durant les 30 dernières minutes le graphique ci-dessus montre que la part de NH<sub>3</sub> dans l'air extrait du local tend vers zéro.

Sur une durée de 30 minutes, la part moyenne de l'ammoniac dans l'air extrait du local est égale à 11,38 %

On peut en déduire un débit massique de NH<sub>3</sub> rejeté hors du local :

Débit extrait par l'extracteur = 7 000 m<sup>3</sup>/h = 1,94 m<sup>3</sup>/s.

Part de NH<sub>3</sub> dans l'air extrait = 11,38 %

Débit de NH<sub>3</sub> extrait = 1,94 m<sup>3</sup>/s x 11,38% = 0,220 m<sup>3</sup>/s

**En retenant une masse volumique de l'ammoniac de 0,88 kg/m<sup>3</sup> on en déduit un débit d'extraction de 0,193 kg/s d'ammoniac de la salle des machines.**

Il est possible à partir du débit d'émission de l'ammoniac dans la salle des machines de déterminer sous quelle durée la fuite est détectée par le premier seuil (2 000 ppm) puis par le second seuil (4 000 ppm).

Une concentration de 2 000 ppm correspond à une fraction volumique de 0,2% et donc une concentration de 4 000 ppm correspond à une fraction volumique de 0,4%.

**Le graphique de l'évolution de la fraction volumique du NH<sub>3</sub> en fonction du temps présenté ci-dessus nous permet de constater que pour ce scénario, le seuil de détection de 2 000 ppm est atteint en 8 secondes et que le seuil de détection de 4 000 ppm est atteint en 15 secondes.**

### 10.5.5 *Modélisation de la dispersion de l'ammoniac en dehors de la salle des machines*

La modélisation de la dispersion de l'ammoniac a été réalisée au moyen du logiciel ALOHA suivant un modèle gaussien de Pasquill-Gifford tel que présenté en annexe n° 21.

La modélisation a été réalisée pour les mêmes classes de stabilité que la modélisation précédente.

- **Hauteur de dispersion**

La hauteur de dispersion de l'ammoniac extrait de la salle des machines est égale à la hauteur de la cheminée surmontant l'extracteur d'air de secours asservit à la détection de NH<sub>3</sub>.

Dans le cas présent, la hauteur de la cheminée est égale à la hauteur à l'acrotère du bâtiment soit 13,30 m.

- **Résultats**

Le tableau ci-dessous rapporte les distances auxquelles pourraient se manifester des impacts significatifs en fonction des différentes conditions météorologiques au moment de l'intensité maximale du scénario étudié :

Fuite d'ammoniac suite à une brèche de 20 mm sur une canalisation HP	Ammoniac	
	SEI	SEL
Seuils en mg/m <sup>3</sup>	354 ppm	3 400 ppm
Cas A – 2 m/s	<	<
Cas D – 5 m/s	<	<
Cas F – 3 m/s	<	<

Les résultats de la modélisation joints en annexe 21 indiquent qu'en cas de fuite légère sur une canalisation HP, le gaz susceptible d'être extrait de la salle des machines a toutes les chances d'être dispersé aux alentours sans engendrer de risque significatif.

## 10.6 Fuite d'ammoniac suite à une fuite légère (20 mm) sur une canalisation Haute Pression en l'absence de détection

---

### 10.6.1 Hypothèses

Le scénario étudié reste celui d'une fuite de 20 mm sur une canalisation HP d'ammoniac.

On considère que la fuite qui a lieu dans la salle des machines est correctement confinée et que l'ammoniac est évacué vers l'extérieur via l'extracteur via l'extracteur mécanique d'air permettant l'évacuation de l'air chaud en période de fonctionnement normal de l'installation.

Cet extracteur, qui aurait dû être interrompu par l'installation de détection, continue à fonctionner du fait de la défaillance de cette dernière. Cette défaillance empêche également le démarrage de l'extracteur ADF de secours.

### 10.6.2 Calcul de l'évolution de la concentration d'ammoniac dans la salle des machines

La modélisation nous conduit à retenir un terme source de 0,468 kg/s de NH<sub>3</sub>.

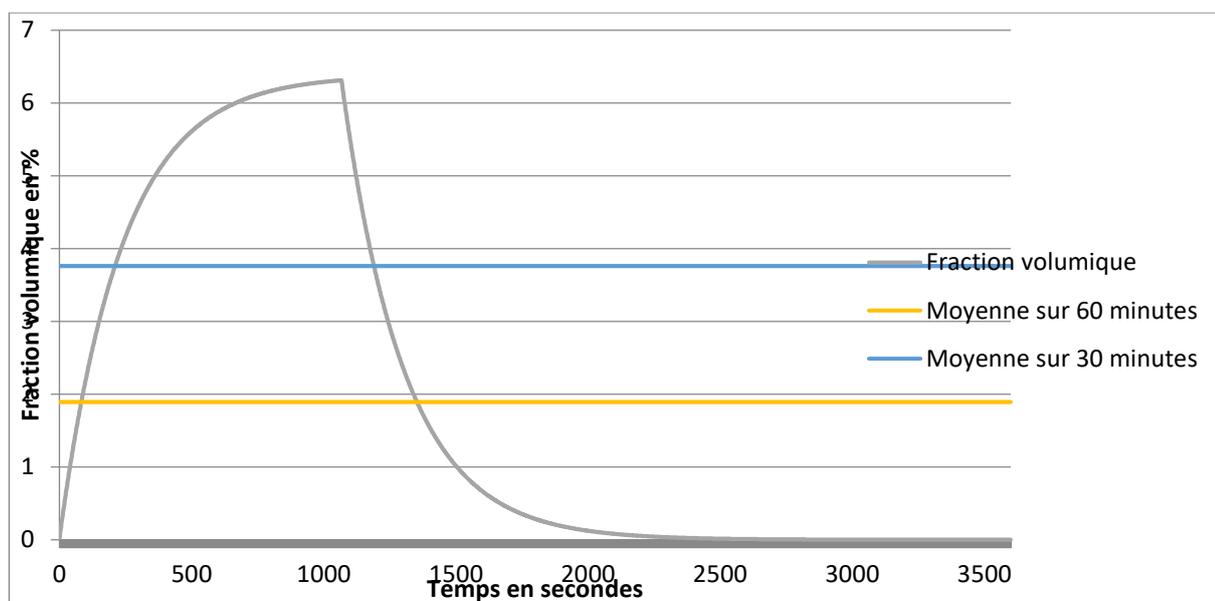
En considérant une quantité de NH<sub>3</sub> dans le système égale à 500 kg et une vitesse d'éjection de 0,468 kg/s du NH<sub>3</sub>, le temps de fuite est égal à 1 068 secondes.

La détermination des propriétés du rejet du mélange NH<sub>3</sub>/air impose de connaître l'évolution de la concentration d'ammoniac dans le local.

En cas de défaillance de la détection, les données sont :

- Débit d'émission de l'ammoniac : 0,468 kg/s pendant 1 068 secondes,
- Volume du local = 1 980 m<sup>3</sup>
- Débit de l'extracteur de secours = 30 000 m<sup>3</sup>/h

On déduit de ces données l'évolution de la fraction volumique de l'ammoniac par rapport à l'air dans le local en fonction du temps :



On constate que la part d’NH<sub>3</sub> dans le volume du local évolue dans le temps pour tendre vers zéro du fait du renouvellement de l’air du local.

Sur une durée de 30 minutes, la part moyenne de l’ammoniac dans l’air extrait du local est égale à 3,76%

On peut en déduire un débit massique de NH<sub>3</sub> rejeté hors du local :

Débit extrait par l’extracteur = 30 000 m<sup>3</sup>/h = 8,33 m<sup>3</sup>/s.

Part de NH<sub>3</sub> dans l’air extrait = 3,76 %

Débit de NH<sub>3</sub> extrait = 8,33 m<sup>3</sup>/s x 3,76% = 0,313 m<sup>3</sup>/s

**En retenant une masse volumique de l’ammoniac de 0,88 kg/m<sup>3</sup> on en déduit un débit d’extraction de 0,275 kg/s d’ammoniac de la salle des machines.**

### 10.6.3 Calcul de l’évolution de la concentration d’ammoniac hors de la salle des machines

- **Hauteur de dispersion**

La hauteur de dispersion de l’ammoniac extrait de la salle des machines est égale à la hauteur de la toiture du local, l’extracteur d’air chaud n’étant pas surmonté d’une cheminée.

Dans le cas présent, la hauteur de dispersion en cas de défaillance de la détection est égale à 6,50 m.

- **Résultats**

Le tableau ci-dessous rapporte les distances auxquelles pourraient se manifester des impacts significatifs en fonction des différentes conditions météorologiques au moment de l’intensité maximale du scénario étudié :

Fuite d’ammoniac suite à une brèche de 3 cm sur la bouteille BP de 500 kg	Ammoniac	
	SEI	SEL
Seuils en mg/m <sup>3</sup>	354 ppm	3 400 ppm

Cas A – 2 m/s	<	<
Cas D – 5 m/s	<	<
Cas F – 3 m/s	<	<

Les résultats de la modélisation joints en annexe 21 indiquent qu'en cas de rupture de 20 mm sur une canalisation HP et en cas de défaillance de la détection d'ammoniac, le gaz susceptible d'être extrait de la salle des machines a toutes les chances d'être dispersé aux alentours sans engendrer de risque significatif.

## 11 EVALUATION ET PRISE EN COMPTE DE LA GRAVITE ET DE LA PROBABILITE

Ce chapitre est destiné à étudier la probabilité, les effets et la gravité des différents phénomènes dangereux et de leurs effets.

Pour cela, nous nous basons sur les schémas nœud papillon présentés précédemment.

Les deux tableaux suivants ont permis d'évaluer la probabilité et la gravité. Ils sont issus de l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.

- **Probabilité**

	E	D	C	B	A
<b>Qualitatif</b>	« événement possible mais extrêmement peu probable »  N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années	« événement très improbable »  S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	« événement improbable »  Un événement similaire déjà rencontré dans ce secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	« événement probable »  S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation	« événement courant »  S'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctives
<b>Semi quantitatif</b>	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitatives et quantitatives et permet de tenir compte des mesures de maîtrise des risques mises en place				
<b>Quantitatif (par unité et par an)</b>		10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>

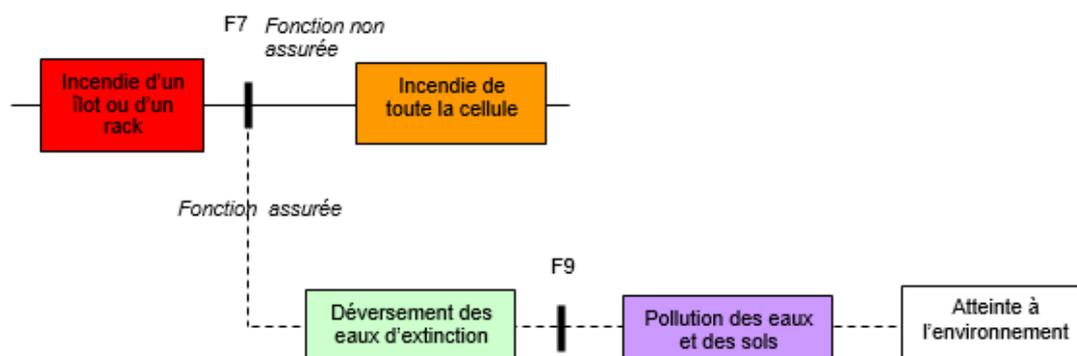
• **Gravité**

Niveau de gravité des conséquences	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 1000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes	Entre 100 et 1000 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 létalité 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

**11.1 Probabilité incendie**

**11.1.1 De l'inflammation à l'incendie d'une cellule**



F7 : Eviter la propagation de l'incendie à la cellule et éteindre l'îlot/rack  
 F9 : Eviter la pollution des eaux et des sols

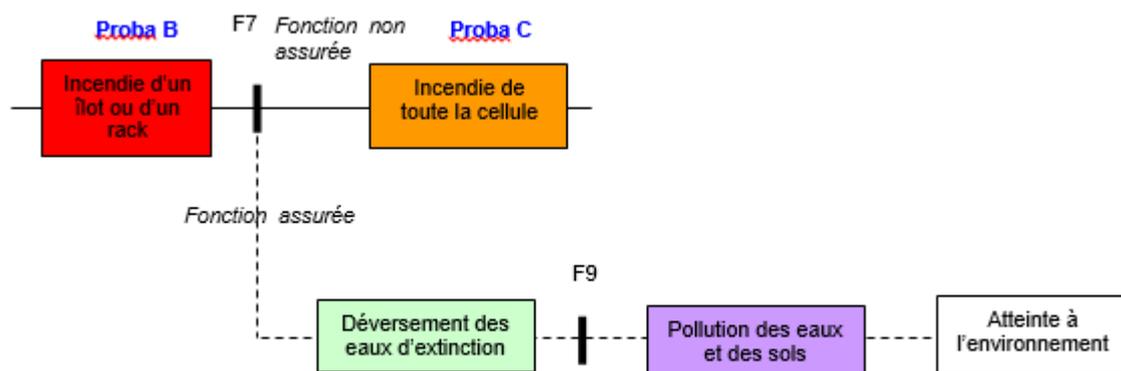
En se basant sur le programme INERIS *EAT-DRA-34 opération j-Intégration de l'analyse de la dimension probabiliste dans l'analyse des risques*, on peut constater que tous les éléments initiateurs présentent une probabilité d'occurrence comprise entre  $10^{-2}$  et  $10^{-3}$ . Aussi, l'événement « incendie d'un îlot de stockage » a été coté avec une valeur médiane de  $5 \cdot 10^{-3}$  (classe de probabilité B)

- Si la fonction de sécurité est assurée, l'incendie est éteint dans les toutes premières minutes de son développement. La seule conséquence possible est la production d'eaux d'extinction susceptibles de polluer l'eau ou les sols
- Si la fonction de sécurité n'est pas assurée, l'incendie va se développer pour s'étendre en moins d'une heure à la cellule.

La fonction de sécurité est essentiellement basée sur l'efficacité du sprinkler. Dans chaque cellule, on compte entre 500 et 800 têtes de sprinkler. Or, sur une période de 25 ans en Europe, on constate que sur 7651 incendies, 73% sont maîtrisés avec 5 têtes de sprinkler ou moins, 95% avec 30 têtes ou moins.

En France, 50% des sinistres ont été maîtrisés avec une tête, 85% avec 5 têtes ou moins, 97% avec 30 têtes ou moins.

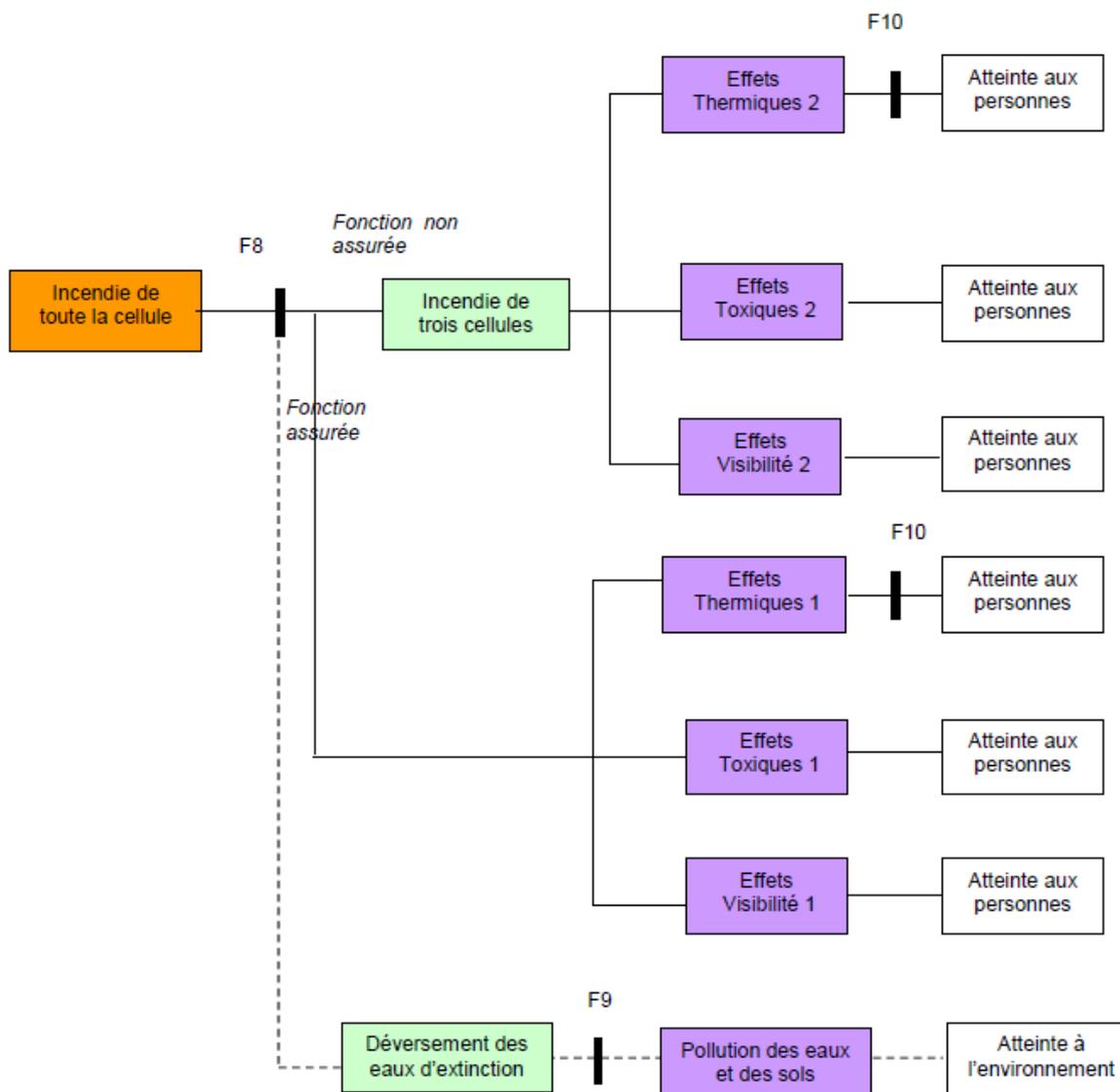
Aussi, nous pouvons considérer un niveau de confiance 1 pour cette mesure de maîtrise des risques (fonctionne correctement dans 90 % des cas), sachant que l'on est plus proche d'un niveau de confiance 2 (fonctionnement dans 99% des cas). On peut donc décoter la probabilité d'occurrence d'un incendie de la cellule d'un facteur 10.



Les deux MMR valorisables pour cette fonction de sécurité sont :

- MMR1 : détection et intervention humaine sur départ de feu (extincteurs et RIA)
- MMR 2 : détection automatique et déclenchement du sprinkler

11.1.2 De l'incendie d'une cellule à l'incendie de trois cellules



F8 : Contenir l'incendie dans la cellule  
 F9 : Eviter la pollution des eaux et des sols  
 F10 : Atténuer les effets thermiques

A ce stade, le système de sprinklage a été défaillant et l'incendie s'est propagé à la cellule. Cet événement est déjà coté avec une probabilité C « événement improbable ».

- Si la fonction de sécurité est assurée, l'incendie est contenu dans la cellule jusqu'à son extinction. Cet incendie génère des effets thermiques, toxiques et sur la visibilité
- Si la fonction de sécurité n'est pas assurée, l'incendie va se propager aux cellules adjacentes ce qui entraînera des effets thermiques, toxiques et sur la visibilité plus importants

La fonction de sécurité est essentiellement assurée par l'action des Sapeurs-Pompiers et la tenue au feu des murs et des portes.

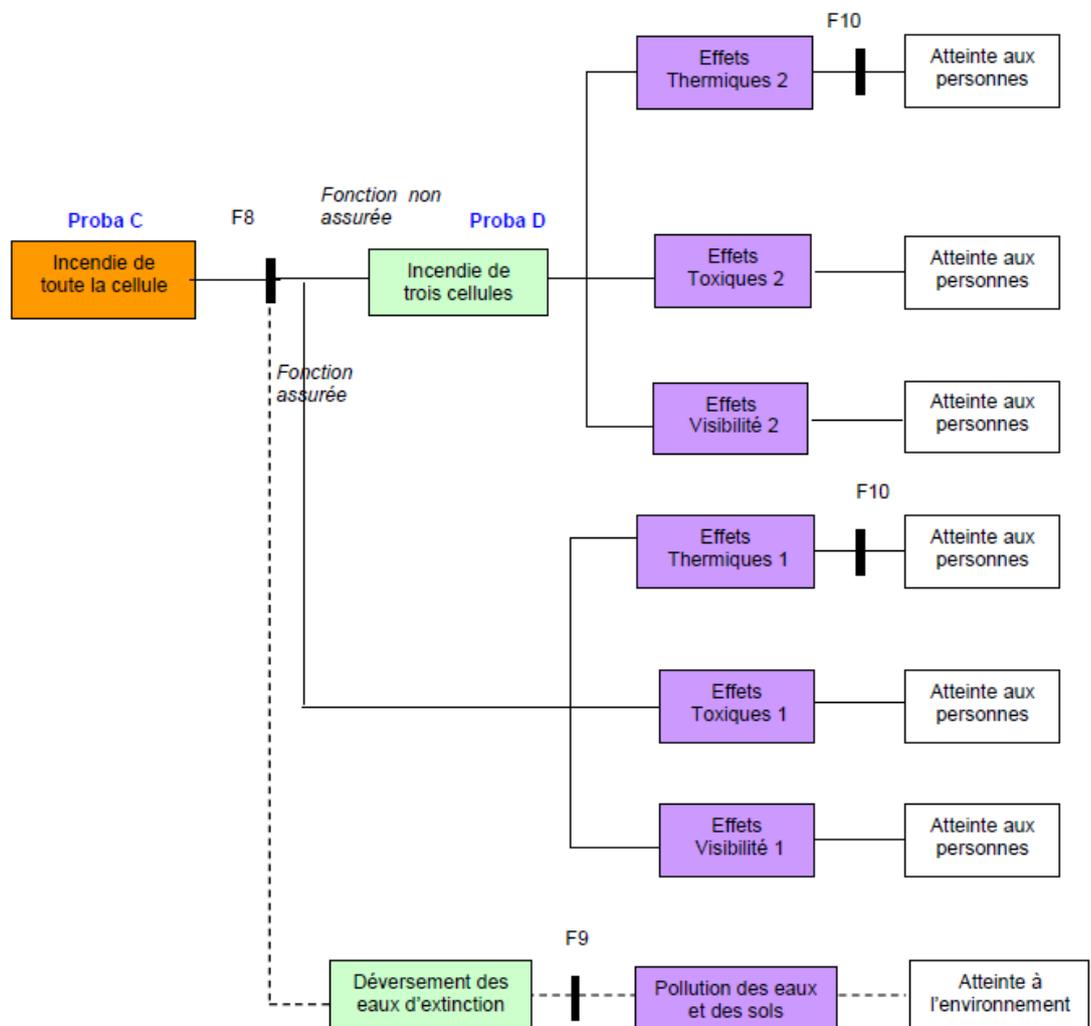
Nous avons vu dans le chapitre sur la cinétique que le temps de fermeture des portes est en adéquation avec la cinétique de l'incendie (délai de 30 s à la détection des fumées). De plus, la durée de tenue au feu des murs est d'au moins 2 heures, durant lesquelles les sapeurs-pompiers pourront lutter contre le feu confiné à une cellule.

Leur action sera facilitée par le système de désenfumage mis en place (réduction de la température et du flux de chaleur, augmentation de la visibilité).

Les exutoires doivent s'ouvrir automatiquement par la fonte d'un fusible (calibrage aux environs de 100°C). En cas d'échec, leur ouverture peut être commandée manuellement.

Les sapeurs-pompiers disposent de moyens adaptés au risque. Les réserves d'eau garantissent une alimentation des poteaux incendie pendant au moins 2 heures.

L'ensemble de ces mesures permet d'estimer le niveau de confiance de la fonction à 1 et de décaler d'un facteur 10 la probabilité d'occurrence de l'incendie simultané de trois cellules de stockage.



La MMR valorisable pour cette fonction est la suivante :

- MMR 3 : compartimentage (murs coupe-feu, portes coupe-feu, bandes incombustibles)

11.2 Probabilité fuite ammoniac

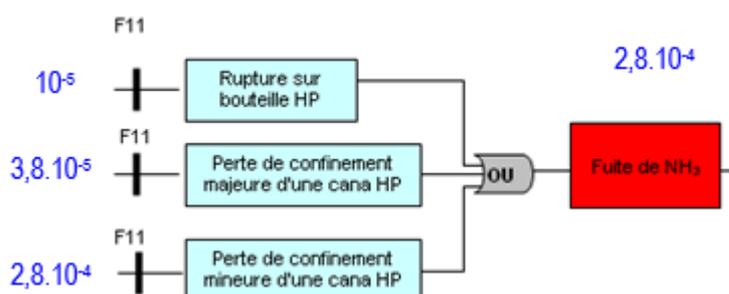
D'après le Purple Book du TNO, « Guideline for quantitative risk assessment », les probabilités d'occurrence des événements suivants sont :

Événement redouté	Fréquence
Rupture de robinet de bouteille HP de NH <sub>3</sub>	Fuite (rejet continu par un diam de 10 mm) : 10 <sup>-5</sup> /an
Perte de confinement majeure d'une canalisation ou capacité NH <sub>3</sub> haute pression, à l'intérieur du local de production de froid	Rupture sur une canalisation de DN compris entre 75 et 150 mm : 3.10 <sup>-7</sup> /m/an  Rejet instantané de tout le contenu du réservoir sous pression : 5.10 <sup>-7</sup> /an
Perte de confinement mineure d'une canalisation ou d'une capacité NH <sub>3</sub> haute pression à l'intérieur du local de production de froid	Fuite1 sur une canalisation de DN compris entre 75 et 150 mm : 2.10 <sup>-6</sup> /m/an  Fuite (rejet continu par un diam de 10 mm) : 10 <sup>-5</sup> /an

La salle des machines est équipée d'un condenseur et de 3 compresseurs. En considérant 100 m de canalisation HP, on obtient

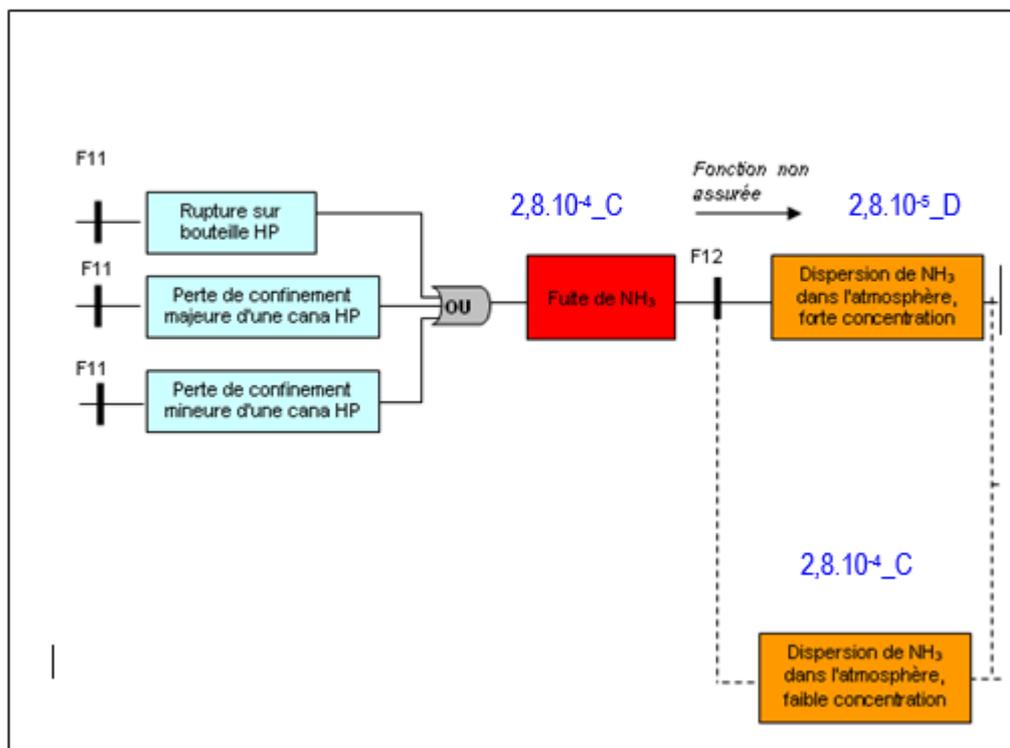
Événement redouté	Fréquence	Fréquence de l'ER / an
Rupture de robinet de bouteille HP de NH <sub>3</sub>	10 <sup>-5</sup> /an	10 <sup>-5</sup>
Perte de confinement majeure d'une canalisation ou capacité NH <sub>3</sub> haute pression, à l'intérieur du local de production de froid	3.10 <sup>-7</sup> x100 /an 4x4x5x10 <sup>-7</sup> /an	3,8.10 <sup>-5</sup>
Perte de confinement mineure d'une canalisation ou d'une capacité NH <sub>3</sub> haute pression à l'intérieur du local de production de froid	2.10 <sup>-6</sup> x100 /an 8x10 <sup>-5</sup> /an	2,8.10 <sup>-4</sup>

Ainsi, par agrégation des événements initiateurs, la probabilité d'apparition d'une fuite dans la salle des machines est de 2,8.10<sup>-4</sup> /an.



Si la détection ammoniac est efficace, le ventilateur va se déclencher et favoriser la dispersion de l'ammoniac dans l'air.

D'après le document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité ; Détecteur fixe de gaz ammoniac (janvier 2008), on peut accorder un niveau de confiance 1 à ce type de détections (détecteur fixe de gaz numérique avec chien de garde ; sortie RS485 pour centrale de détection MX48 ou MX52). On obtient donc la cotation suivante :



La salle des machines sera équipée de plusieurs détecteurs reliés à la même centrale de détection. En cas de défaillance d'un détecteur, la détection sera assurée par les détecteurs restants.

Cette centrale de détection sera secourue par une batterie en cas de coupure de l'alimentation électrique de la salle des machines.

Elle sera également en secours positif : en cas de panne de la centrale, l'alarme détection sera automatiquement activée.

---

## 11.3 Gravité incendie

Chacun des incendies va générer des effets (thermiques, toxiques et de visibilité) d'intensités différentes.

Nous allons coter la gravité des effets générés par l'incendie d'une cellule et l'incendie de 3 cellules.

### 11.3.1 *Incendie d'une cellule de stockage de produits combustibles courants*

Pour toutes les rubriques, les flux thermiques de 8 et 5 kW/m<sup>2</sup> restent dans les limites de propriété. Nous prendrons l'hypothèse la plus pénalisante à savoir l'incendie d'une cellule de stockage de produits 2662.

Dans ce cas, le flux thermique de 3 kW/m<sup>2</sup> sort sur environ 500 m<sup>2</sup> côté Nord du site et impact environ 50 mètres de la Rue de l'Ecu.

La circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2013 indique que pour les voies de circulation routières il convient de compter 0,4 personne permanente par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour.

Il n'existe pas de comptages routiers disponibles pour la Rue de l'Ecu. Dans une optique de majoration des résultats nous considérons qu'un tiers du trafic enregistré sur la RD191 au Nord du site va se diriger vers la Rue de l'Ecu. On y enregistre donc un trafic de 4 382 véhicules/jour (13 146/3).

Les 50 m impactés par le flux thermique de 3 kW/m<sup>2</sup> nous amènent à considérer la présence permanente de 0,87 personne.

La présence humaine exposée à des effets irréversibles étant inférieure à 1 personne on peut conclure que le phénomène dangereux « Incendie d'une cellule de stockage » peut être considéré comme présentant une gravité **modérée**.

### 11.3.2 *Incendie d'une cellule de stockage de produits alimentaires*

Les modélisations réalisées pour le stockage de produits alimentaires dans les cellules 5, 6 ou 7 de l'établissement, les flux thermiques de 8, 5 et 3 kW/m<sup>2</sup> ne sortent pas des limites de l'établissement. Ce phénomène n'est donc pas à coter.

### 11.3.3 *Incendie de la zone de stockage des aérosols*

Les modélisations réalisées pour le stockage de la zone de stockage des aérosols de l'établissement, les flux thermiques de 8, 5 et 3 kW/m<sup>2</sup> ne sortent pas des limites de l'établissement. Ce phénomène n'est donc pas à coter.

#### **11.3.4 Incendie de la zone de stockage des alcools de bouche**

Les modélisations réalisées pour le stockage de la zone de stockage des alcools de bouche de l'établissement, les flux thermiques de 8, 5 et 3 kW/m<sup>2</sup> ne sortent pas des limites de l'établissement. Ce phénomène n'est donc pas à coter.

#### **11.3.5 Incendie de trois cellules de stockage de produits combustibles courants**

Pour toutes les rubriques, les flux thermiques de 8 et 5 kW/m<sup>2</sup> restent dans les limites de propriété. Nous prendrons l'hypothèse la plus pénalisante à savoir l'incendie d'une cellule de stockage de produits 2662.

Dans ce cas, le flux thermique de 3 kW/m<sup>2</sup> sort sur environ 500 m<sup>2</sup> côté Nord du site et impact environ 50 m de la Rue de l'Ecu.

La circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2013 indique que pour les voies de circulation routières il convient de compter 0,4 personne permanente par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour.

Il n'existe pas de comptages routiers disponibles pour la Rue de l'Ecu. Dans une optique de majoration des résultats nous considérons qu'un tiers du trafic enregistré sur la RD191 au Nord du site va se diriger vers la Rue de l'Ecu. On y enregistre donc un trafic de 4 382 véhicules/jour (13 146/3).

Les 50 m impactés par le flux thermique de 3 kW/m<sup>2</sup> nous amènent à considérer la présence permanente de 0,87 personne.

La présence humaine exposée à des effets irréversibles étant inférieure à 1 personne on peut conclure que le phénomène dangereux « Incendie de trois cellules de stockage » peut être considéré comme présentant une gravité **modérée**.

#### **11.3.6 Incendie de trois cellules de stockage de produits alimentaires sous température dirigée**

Les modélisations réalisées pour l'incendie des trois cellules de stockage des produits alimentaires ont montré que les flux thermiques de 8, 5 et 3 kW/m<sup>2</sup> ne sortent pas des limites de l'établissement. Ce phénomène n'est donc pas à coter.

### **11.4 Gravité fuite ammoniac**

Les modélisations des effets toxiques dus à la dispersion atmosphérique de l'ammoniac en dehors de la salle des machines ont montré qu'il n'existe aucun risque de dépassement du seuil des effets irréversibles (SEI) ni du seuil des effets létaux (SEL) autour de l'établissement.

Les zones Z1 et Z2 ne sortent pas des limites de propriété.

Ce phénomène n'est donc pas à coter.

**11.5 Cinétique incendie**

L'incendie d'un îlot de stockage ou d'un rack puis l'incendie d'une cellule de stockage en cas de non fonctionnement du sprinkler sont des phénomènes à cinétique rapide.

Le phénomène d'incendie de plusieurs cellules est un phénomène plus long qui nécessite, compte tenu de la présence des murs séparatifs coupe-feu de degré deux heures, que l'incendie dure plusieurs heures sans intervention des pompiers.

Ce phénomène est donc à cinétique lente.

**11.6 Probabilité, Gravité et cinétique du phénomène « Explosion de la chaufferie »**

Les zones Z1 et Z2 ne sortent pas des limites de propriété.

Ce phénomène n'est donc pas à coter.

**11.7 Conclusions**

A l'issue de l'analyse, chaque scénario identifié est positionné sur la matrice Probabilité x Gravité ci-dessous :

Gravité des conséquences sur les personnes exposées au risque (note 1)	PROBABILITE (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreux	NON	NON	NON	NON	NON
Catastrophique	MMR rang 1	MMR rang 2	NON	NON	NON
Important	MMR rang 1	MMR rang 1	MMR rang 2	NON	NON
Sérieux			MMR rang 1	MMR rang 2	NON
Modéré					MMR rang 1

NON : zone de risque élevé

MMR : zone de risque intermédiaire dans laquelle une démarche d'amélioration continue est particulièrement pertinente en vue d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Les rangs 1 et 2 correspondent à une gradation correspondant à la priorité que l'on peut accorder à la réduction des risques, en s'attachant d'abord à réduire les risques les plus importants (rangs les plus élevés).

Gravité des conséquences sur les personnes exposées au risque (note 1)	PROBABILITE (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré		Incendie de trois cellules de stockage	Incendie d'une cellule de stockage		

La cotation nous montre que tous les événements redoutés restent à un niveau modéré.  
Toutes les mesures ont été prises pour obtenir un niveau de risque aussi bas que possible.

## 12 IMPACT FINANCIER DES MESURES DE PREVENTION

Les mesures de sécurité ont été prises en compte dès la conception du bâtiment.

Nous rappelons ici les principales mesures techniques mises en place pour assurer la sécurité et limiter les risques dans notre entrepôt :

- réseau de poteaux incendie,
- murs coupe-feu,
- écrans thermiques,
- portes coupe-feu,
- RIA,
- Sprinkler,
- Désenfumage,
- Ecrans de cantonnement,
- Protection foudre,
- Eclairage de sécurité,
- Gestion Technique du Bâtiment (report des alarmes centralisé, commande et contrôle des appareils à distance, etc.),
- Aménagement des locaux de charge et de la chaufferie,
- Voirie pompiers,
- Clôtures, portails,
- Vannes d'isolement,

L'estimation prévisionnelle du coût global de ces mesures est de 2 066 118 €.

Ce montant ne prend pas en compte l'entretien et le contrôle de ces équipements.