SOMMAIRE

ETUDE DES DANGERS

1 PRESENTATION ET ACTIVITE DU SITE 3

2 LES ENJEUX HUMAINS A PROXIMITE DU SITE 4

3 LES PRODUITS MIS EN ŒUVRE DANS L'ENTREPOT 5
3.1 Les produits stockés : matières combustibles courantes type 1510, 1530, 1532, 2662, 2663 . 5
3.2 Stockage de marchandises sous température dirigée (rubrique 1511) 7
3.3 Les produits liés au conditionnement 7
3.4 Le gaz naturel 8

4 LES PROCEDES MIS EN ŒUVRE 10
4.1 La charge des batteries 10
4.2 Le chauffage 11

5 ANALYSE ACCIDENTOLOGIQUE / APPLICATION AU SITE 12
5.1 Accidentologie 12
5.2 Application au site – Identification des phénomènes dangereux 16
5.3 Application au site – Evènements initiateurs de l'incendie 21
5.4 Nœuds papillons et fonctions de sécurité 25
5.5 Mesures de maîtrise des risques et dispositifs de sécurité par fonction 30

6 ETUDE DE LA CINETIQUE 35
6.1 Cinétique de l'incendie 35
6.2 La cinétique de l'explosion dans la chaufferie 38
6.3 Conclusion 38

7 ETUDE DES EFFETS DE SURPRESSION : L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIERE 39
7.1 Méthode utilisée 39
7.2 Calculs des effets de surpression 40

8 ETUDE DES EFFETS THERMIQUES : L'INCENDIE 45
8.1 Incendie d'une cellule de produits combustibles 45
8.2 Incendie d'une cellule de denrées alimentaires 55
8.3 Incendie de trois cellules de stockage de produits combustibles 57

9 ETUDE DES EFFETS TOXIQUES ET DES EFFETS SUR LA VISIBILITE DES FUMEES 63
9.1 Incendie d'une cellule de produits combustibles 63
9.2 Incendie d'une cellule de pneumatiques 69
9.3 Incendie de trois cellules de stockage 73
9.4 Incendie de trois cellules de pneumatiques 76

10 EVALUATION ET PRISE EN COMPTE DE LA GRAVITE ET DE LA PROBABILITE 79
10.1 Probabilité incendie 80
10.2 Gravité incendie 84
10.3 Cinétique incendie 85
10.4 Probabilité, Gravité et cinétique du phénomène « Explosion de la chaufferie » 85
10.5 Conclusions 85

11 IMPACT FINANCIER DES MESURES DE PREVENTION 87

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 le Groupe MUTUAL LOGISTICS.

SD Environnement,
19bis, Avenue Léon Gambetta
92120 Montrouge
Tél. : 01 46 94 80 64
Email : sebastien.bachellerie@sdenvironnement.fr

1 PRESENTATION ET ACTIVITE DU SITE

Le projet consiste en la réalisation d'un bâtiment à usage d'entreposage, d'activité et de bureaux d'une Surface Plancher totale de 31 013 m² divisé en 5 cellules de stockage.

Le site sera susceptible d'accueillir au total 60 000 palettes représentant 45 000 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.
Il est également prévu de stocker des produits sous température dirigée dans la cellule 1 (rubrique 1511).

Compte tenu de la diversité des produits rencontrés dans le domaine de la logistique, il est également envisagé de stocker, sous le seuil de la déclaration, de petites quantités de produits non mentionnés ici. Ces produits pourraient être par exemple de type 4801 (charbon de bois), 4320 et 4321 (aérosols), 4331 (liquides inflammables) ou 1436 (liquides combustibles de point éclair compris entre 60 et 93°C). Ces produits seraient alors clairement localisés et identifiés dans l'entrepôt.

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.

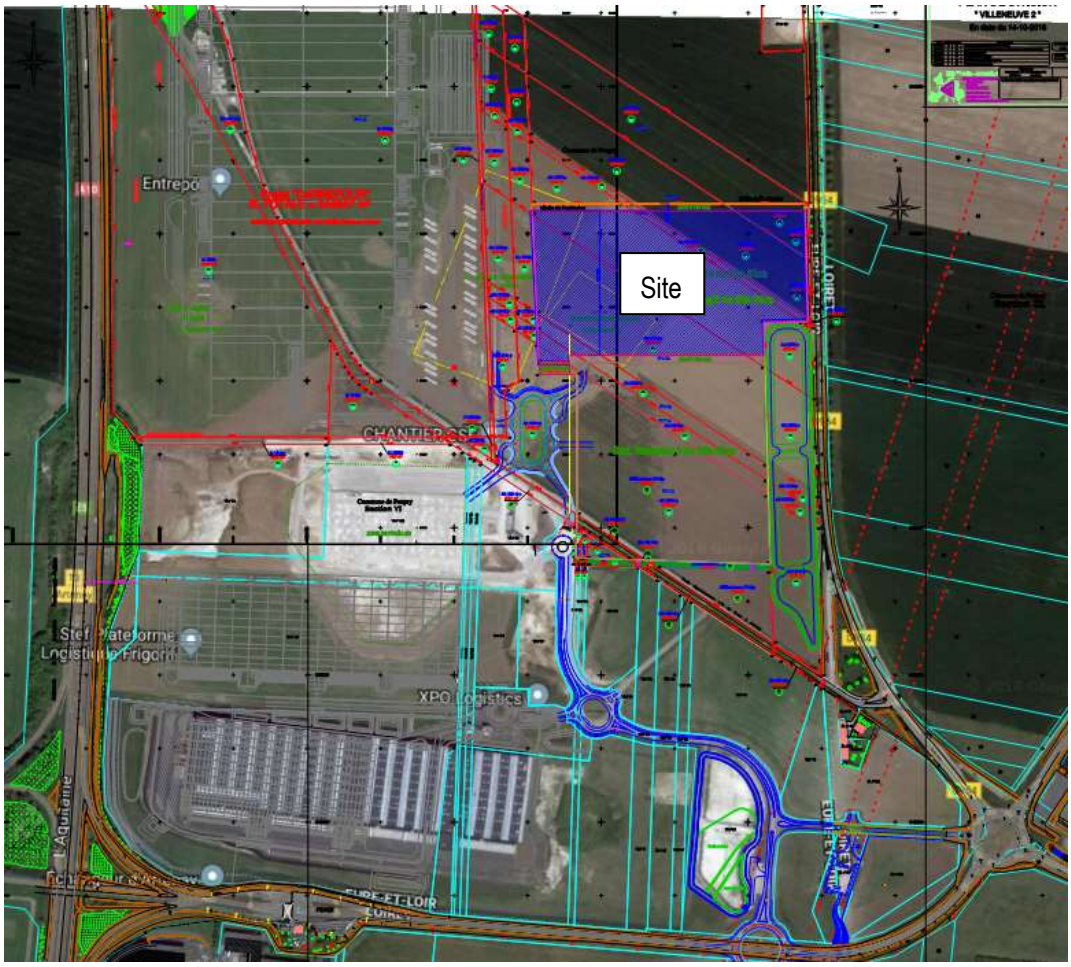
Le principal risque lié à ce type d'activité est l'incendie du fait de la nature des produits stockés. Les produits de grande consommation ne présentent pas de danger en soit mais leur combustibilité ramenée à l'échelle du stockage (9 000 tonnes de matières combustibles stockées dans la plus grande cellule de stockage) présente un risque d'incendie de grande ampleur.

2 LES ENJEUX HUMAINS A PROXIMITE DU SITE

Le site du Groupe MUTUAL LOGISTICS objet du présent dossier sera implanté au Sud de la commune de POUPRY (28 140) sur la ZAI Artenay-Poupry.

Le terrain d'assiette du projet est délimité :

- Au Nord et au Sud par des terrains non aménagés,
- A l'Ouest par le bâtiment CARREFOUR,
- A l'Est par la RD 954 puis des terrains de la tranche 2 de la ZAI.



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 de la façade Sud 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/m², pour une hauteur de stockage maximale de 11,60 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 60 000.
Le poids moyen d'une palette étant de l'ordre de 750 kg (matières combustibles), le poids total de matière combustible dans le bâtiment sera de 45 000 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 :

- 60 000 équivalents palettes de 750 kg soit une quantité maximale entreposée sur le site égale à 45 000 t de produits classés sous la rubrique 1510,

- **ou** en 60 000 équivalents palettes de papier ou carton classé sous la rubrique 1530 (une palette présentant un volume de 1,5 m^3), le stockage maximal de produits classés sous la rubrique 1530 est égal à 90 000 m^3,

- **ou** en 90 000 m^3 de bois classé sous la rubrique 1532,

- **ou** en 60 000 équivalents palettes de polymères (matières plastiques, caoutchouc, élastomères, résines et adhésifs synthétiques à l'état intermédiaires ou sous forme des matières premières) classés sous la rubrique 2662 (une palette présentant un volume de 1,5 m^3), le stockage maximal de produits classés sous la rubrique 2662 est égal à 90 000 m^3,

- **ou** en 60 000 équivalents palettes de produits dont 50% au moins de la masse totale unitaire est composée de polymères alvéolaires (une palette présentant un volume de 1,5 m^3), le stockage maximal de produits classés sous la rubrique 2663-1 est égal à 90 000 m^3,

- **ou** en 60 000 équivalents palettes de produits dont 50% au moins de la masse totale unitaire est composée de polymères (une palette présentant un volume de 1,5 m^3), le stockage maximal de produits classés sous la rubrique 2663-2 est égal à 90 000 m^3,

Quelle que soit la répartition future dans les cellules entre les différentes rubriques (1510, 1530, 1532, 2662, 2663-1 et 2663-2), la quantité entreposée sera limitée à 45 000 tonnes.

• Quantité de produits par cellule

	Surface la cellule	Nombre d'équivalents palettes complètes de marchandises combustibles	Quantité de produits stockés
Cellule 1	6 002 m²	12 000 palettes	9 000 t
Cellule 2	6 030 m²	12 000 palettes	9 000 t
Cellule 3	6 030 m²	12 000 palettes	9 000 t
Cellule 4	6 029 m²	12 000 palettes	9 000 t
Cellule 5	5 999 m²	12 000 palettes	9 000 t
TOTAL SITE	**30 090 m²**	**60 000 palettes**	**45 000 t**

3.2 Stockage de marchandises sous température dirigée (rubrique 1511)

La cellule 1 pourra accueillir un stockage de produits frais nécessitant une température contrôlée dans cette cellule.
En considérant 12000 palettes de 1,5 m^3, le volume susceptible d'être stocké dans cette cellule sera de 18 000 m^3.

3.3 Les produits liés au conditionnement

3.3.1 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_2, H_2O 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.

3.3.2 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
Polyéthyléne (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_2), 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.

3.4 Le gaz naturel

Le bâtiment sera équipé d'une chaufferie comportant deux chaudières d'une puissance totale de 1 800 kW. Les chaudières seront alimentées 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^3
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 %	15 %

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_2), la vapeur d'eau,
- des oxydes d'azote, des oxydes de soufre.

4 LES PROCEDES MIS EN ŒUVRE

4.1 La charge des batteries

Le bâtiment sera équipé de deux locaux techniques dédiés au chargement des batteries des chariots élévateurs. Ils présenteront une superficie de 192 et 195 m².
Ils seront implantés en saillie de la façade Sud de la cellule 4 et en saillie de la façade Ouest de la cellule 1.

Ces locaux seront construits et exploités 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, chaque 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 acier nervuré double peau avec isolation thermique (l'ensemble étant classé M0)
- 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).

Le Groupe MUTUAL LOGISTICS demande donc une dérogation par rapport à l'article 2.4.1 de l'arrêté du 29 mai 2000 (arrêté type 2925) concernant les façades extérieures des locaux de charge du bâtiment et concernant leur 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 MUTUAL LOGISTICS 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 protègeront 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, chaque 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.
Chaque local de charge des batteries sera équipé d'une fontaine oculaire et d'un extincteur au CO_2.
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 110 m² située en saillie de la façade Ouest de la cellule 1 de l'entrepôt.

Les cellules 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.

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°11, 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 m²)
Entre 0 et 5 000 m² (non compris)	71	45	2200
Entre 5 000 et 10 000 m² (non compris)	21	13	7800
≥ 10 000 m²	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 :

<u>a- Causes premières ou défaillances identifiées :</u>
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 :
  - Mauvaise manipulation (ARIA 36601, 44405)
  - 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 :
  - Surchauffe de réfrigérateur en période de fortes chaleurs (ARIA 37122) ;
  - 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);
  - dysfonctionnement de la centrale alarme (ARIA 43618)
  - fuite au niveau d'une soupape sur une installation frigorifique (ARIA 43728) ;

- infiltration d'eau au niveau de la toiture qui inonde le stockage (ARIA 45312).

➢ Des agressions d'origine naturelle (Natech) :
- Foudre (ARIA 38115, 43618) ;
- Effondrement des toitures sous le poids de la neige (ARIA 39489, 39501, 43229) ;
- inondation/crue de cours d'eau/forte pluie (ARIA 43787, 45739) ;
- 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 :
- stockage anarchique, pas/ou problème de compartimentage au sein des cellules (ARIA 35873, 36242, 39863, 41482, 43353...) ;
- entretien/vétusté des locaux (ARIA 42797) ;
- absence de surveillance du site en dehors des périodes d'exploitation ;
- absence d'inventaire des matières stockées (ARIA 42593) ;
- absence d'analyse des causes des précédents accidents (ARIA 45555) ;
- bacs d'eaux usées non vidangés avant un épisode de crue (ARIA 43787) ;
- persistance des non-conformités mentionnées dans les rapports de vérification des installations électriques (ARIA 44660) ;
- absence d'une ligne spéciale reliant l'établissement au centre de secours (ARIA 44660) ;
- non réalisation d'exercice de secours (POI : ARIA 44660) ;
- produits absorbants en quantité insuffisante (ARIA 44702).

➢ Défaut de maîtrise de procédé :
- modification du procédé d'emballage des palettes qui initient des départs de feu (film plastique thermorétractable : ARIA 44655) ;
- réactions chimiques non prévues (auto-inflammation d'un chiffon imbibé d'huile de lin).

➢ La gestion des travaux :
- analyse insuffisante des risques lors de travaux par points chauds sur les installations ou de réfection de toiture (ARIA 35873, 36025, 40668)
- mauvais suivi des travaux d'écobuage en été (ARIA 38869) ;

➢ La mauvaise conception des bâtiments :
- absence de dispositif d'isolement pour contenir les eaux d'extinction sur le site (ARIA 38851, 42656) ;
- murs coupe-feu avec des ouvertures (baies vitrées : ARIA 39123) ;
- dimensionnement des poutres / réception des travaux (ARIA 39501) ;
- absence de protection des façades par rapport aux flux thermiques (ARIA 41482) ;
- absence de système de désenfumage, d'extinction automatique (ARIA 35873, 36218, 39863, 40296...) ou de détection incendie (ARIA 38851, 43798) ;
- absence ou mauvais dimensionnement des rétentions (pas assez grande : ARIA 43053, 44660).

➢ L'absence de contrôle :

- problème de fonctionnement de porte coupe-feu (ARIA 36242) ;
- centrale alarme endommagée par la foudre (ARIA 43618) ;
- bassin de rétention non étanche (ARIA 43798).

➢ La formation du personnel :

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

5.1.2 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° 11.

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 évènements, 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.

5.1.3 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.

5.1.4 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 6 000 m² 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 m² maximum afin d'éviter la diffusion latérale des fumées en cas d'incendie. Les écrans de cantonnement seront réalisés en matériaux M0 (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_2 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 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 :

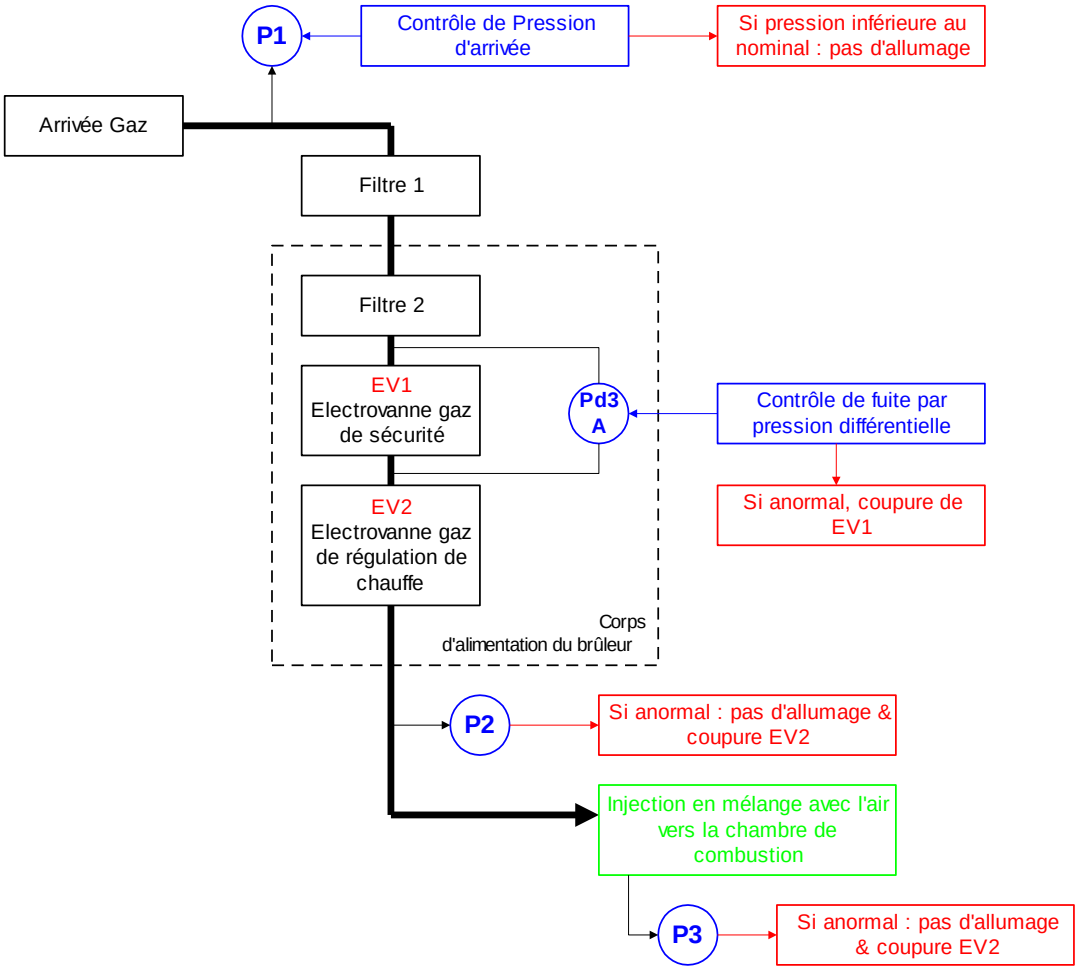
- Le compartimentage aura une tenue au feu de 2h au minimum (REI 120).

- 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.

5.2.3 Explosion d'hydrogène dans un 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, chaque 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

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

L'explosion d'un 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 un local de charge du bâtiment.

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

5.2.4 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 321 m^3) pour un linéaire de quais de 136 m sans que la hauteur de stockage au point le plus haut ne dépasse 20 cm,
- dans les réseaux pour 46 m^3 (236 mètres linéaires de canalisation diamètre 500)
- pour le reste (1153 m^3) 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 à fermeture automatique et manuelle sera implantée en aval du bassin d'orage étanche des eaux pluviales de voiries de 1 595 m^3. Il a été dimensionné pour pouvoir retenir l'orage vicennal sur les voiries (442 m^3) et la part des eaux d'extinction incendie non retenue dans les quais et les réseaux (1 153 m^3).
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.

5.2.5 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.

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 d'Orléans (station la plus proche) fait apparaître une prédominance des vents sur un axe Sud-ouest/ Nord-est.
Les statistiques établies par METEOFRANCE pour la station d'Orléans sur la période 1949 à 2004 donnent les résultats suivants :

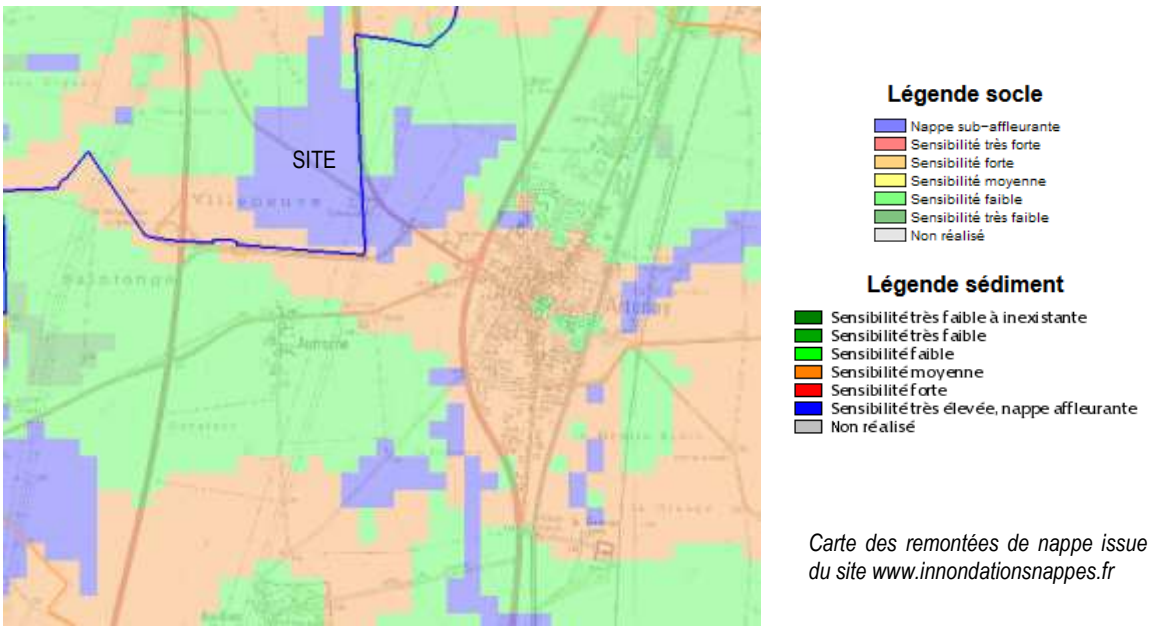
- secteur Sud-ouest (direction 200° à 260°), toutes vitesses confondues (v ≥1,5 m/s), leur pourcentage est de 30,9 %. C'est dans ce secteur que les vents forts (v >8 m/s) sont les plus fréquents, avec une fréquence légèrement supérieure à 4,1 % ;
- secteur nord-est (direction 20° à 80°), toutes vitesses confondues (v ≥ 1,5 m/s), ils constituent 24,3 % des cas. En revanche, le pourcentage de vents forts est très faible (v >8 m/s).

- **Les inondations**

Il n'existe pas de rivières pérennes à proximité du site

Dans la région, la lithologie des terrains permet le développement de plusieurs formations aquifères, notamment des nappes superficielles associées aux Sables du Burgalien alimentant des émergences temporaires et des puits souvent taris en été. La nappe du calcaire de Beauce circulant dans le réseau karstique est libre au Nord de la Loire. C'est la nappe la plus importante au niveau de la région orléanaise.

Concernant le risque de remontée de nappe, la carte ci-dessous issue du site du BRGM permet de constater que le terrain d'implantation du projet se situe dans une zone de sensibilité élevée (nappe sub-affleurante). Ce risque sera pris en compte dans les études de sol.



Carte des remontées de nappe issue du site www.innondationsnappes.fr

- **Le séisme**

La carte des zones de sismicité en vigueur depuis le 1er mai 2011 indique que la commune de Poupry 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 4ème 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 et au Sud par des terrains non aménagés,
- A l'Ouest par le bâtiment CARREFOUR,
- A l'Est par la RD 954 puis des terrains de la tranche 2 de la ZAI.

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 de Poupry. Elles sont au nombre de 4 :

Nom établissement	Code postal	Commune	Régime	Statut Seveso
COVICARGO 5	28140	POUPRY	Autorisation	Seuil Bas
SIGMA 10	28140	POUPRY	Autorisation	Non Seveso
STEF TSA ORLEANS NORD	28140	POUPRY	Autorisation	Non Seveso
XPO LOGISTICS	28140	POUPRY	Autorisation	Seuil Haut

Ces bâtiments présentent tous la même activité que le projet objet du présent dossier : entreposage de produits divers.

Aucun de ces établissements ne présente de zone de danger susceptible d'impacter le terrain MUTUAL LOGISTICS.

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 3ème 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.

- **Les locaux de charge des batteries**

Les procédés mis en œuvre dans les locaux de charge des batteries peuvent être à l'origine d'un incendie ou d'une explosion.
Pour ces locaux techniques 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 chaque local de charge.
Chaque 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 un local de charge.

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, 1511, 1530, 1532, 2662, 2663-1, 2663-2. A tous ces produits, il faut associer les emballages habituels : plastiques, carton et papier.

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.

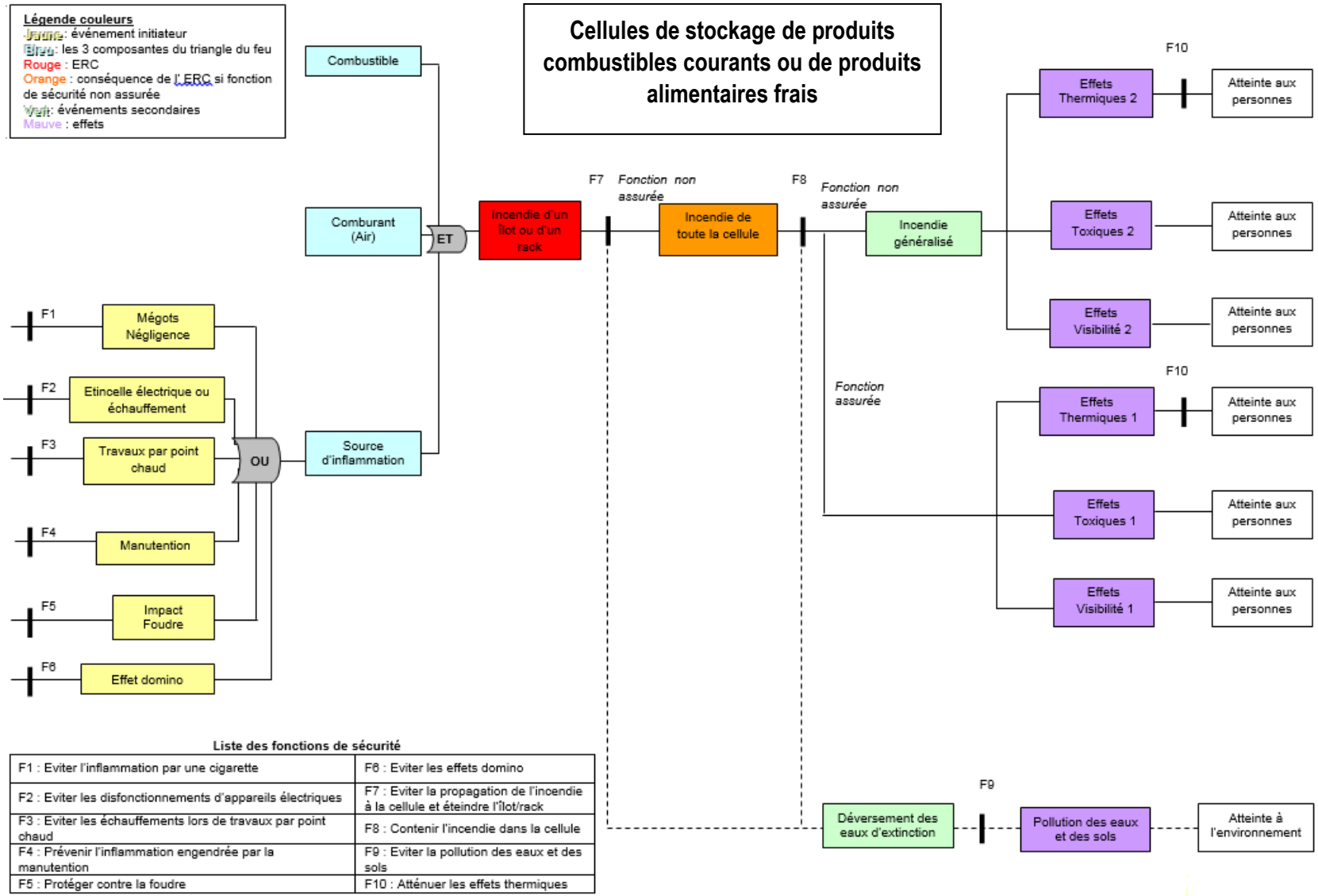
Nous n'avons pas retenu l'événement « actes de malveillance » dans l'étude de dangers. Cependant, la malveillance est une des causes principales d'incendie dans les entrepôts et les mesures visant à éviter l'intrusion sur le site ont été étudiées.

5.4 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.

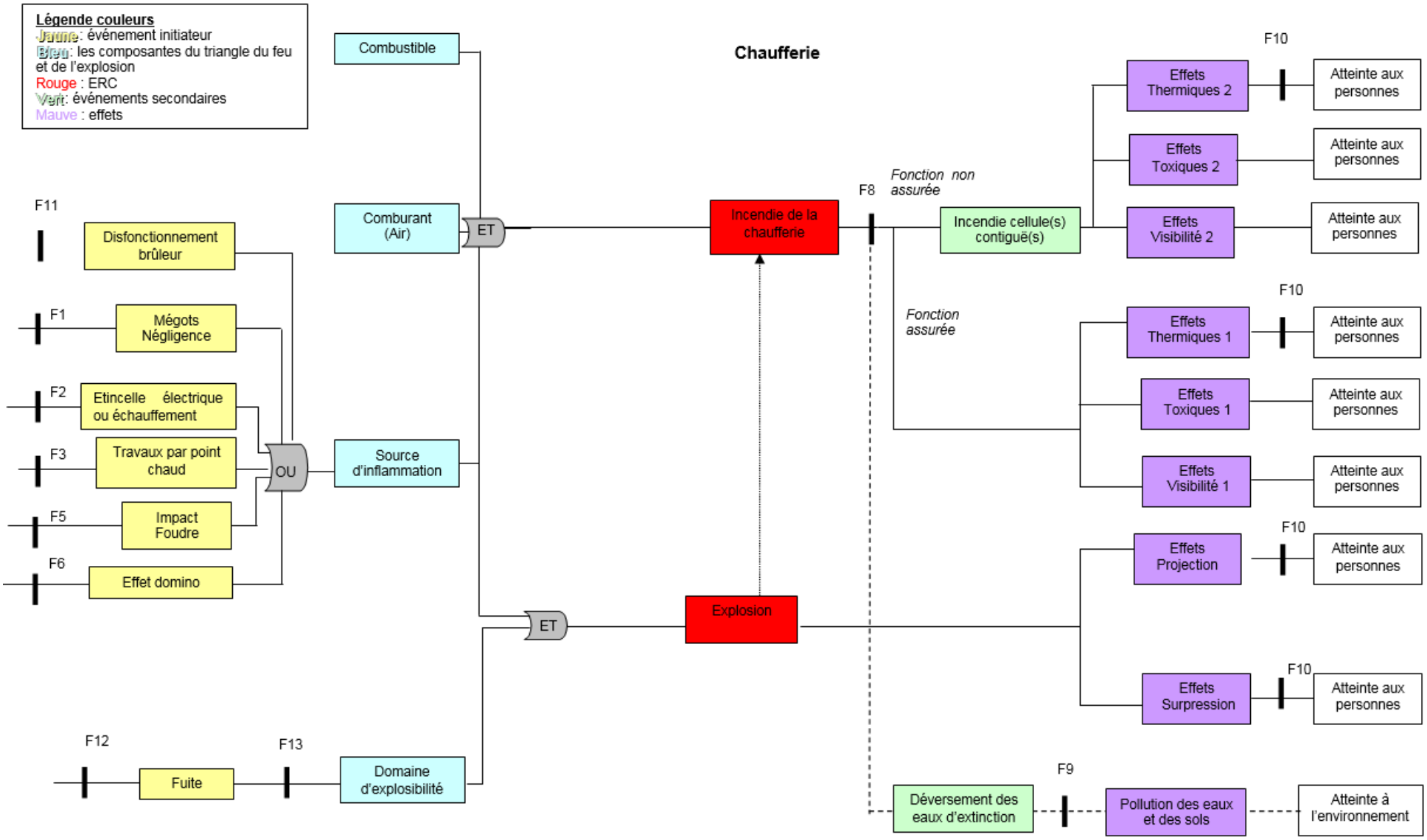
Sur les schémas nœud papillon ci-après apparaissent :

- 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.



Liste des fonctions de sécurité

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


Légende couleurs
Jaune: événement initiateur
Bleu: les composantes du triangle du feu et de l'explosion
Rouge : ERC
Vert: événements secondaires
Mauve : effets
Chaufferie
Combustible
Comburant (Air)
ET
Source d'inflammation
OU
Domaine d'explosibilité
F11
Disfonctionnement brûleur
F1
Mégots Négligence
F2
Etincelle électrique ou échauffement
F3
Travaux par point chaud
F5
Impact Foudre
F6
Effet domino
F12
Fuite
F13
Incendie de la chaufferie
Explosion
F8
Fonction non assurée
Fonction assurée
Incendie cellule(s) contiguë(s)
Effets Thermiques 2
Effets Toxiques 2
Effets Visibilité 2
Effets Thermiques 1
Effets Toxiques 1
Effets Visibilité 1
Effets Projection
Effets Surpression
F10
Atteinte aux personnes
Déversement des eaux d'extinction
F9
Pollution des eaux et des sols
Atteinte à l'environnement

Cellule de stockage

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
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		

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

5.5 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.

5.5.1 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.

5.5.2 Fonction « éviter les disfonctionnements 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.

5.5.3 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.

5.5.4 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.

5.5.5 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 moyens 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.

5.5.6 Fonction « éviter les effets dominos »

L'incendie d'une cellule pourrait provenir éventuellement d'un départ de feu dans un local de charge. Chaque local de charge des batteries de chariots élévateurs sera équipé d'une ventilation mécanique asservie à l'opération de charge des batteries.
Ils seront isolés 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.

5.5.7 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**

Des extincteurs adaptés aux produits stockés seront répartis dans les cellules de stockage du bâtiment à raison d'un appareil pour 200 m² de surface.
Ces équipements seront contrôlés annuellement par une société spécialisée.

- **Les RIA**

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**

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 700 m³ 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'APSAD, 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.

5.5.8 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_2 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 DH30.
Ces écrans formant des cantons de 1 650 m² 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.
Les poteaux incendie seront alimentés par le réseau de la zone d'activités interdépartementale Artenay-Poupry dont l'aménageur nous a indiqué qu'il était capable de fournir un débit de 120 m^3/h pendant deux heures.
Un complément sera apporté par une réserve incendie de 480 m^3 implantée sur le site. 3 aires d'aspiration de 32 m² chacune seront aménagées à proximité immédiate de la réserve incendie.

Le débit disponible sur le site (amené par les poteaux et par la réserve incendie) sera égal à 360 m^3/h (120 m^3/h sur les poteaux et 240 m^3/h pendant 2 heures sur la réserve incendie).

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

Le bâtiment sera divisé en cellules d'environ 6 000 m² 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.

5.5.9 Fonction « éviter la pollution des eaux et des sols »

La rétention des eaux d'extinction incendie sera assurée :

- dans les quais (volume retenu 321 m^3) pour un linéaire de quais de 136 m sans que la hauteur de stockage au point le plus haut ne dépasse 20 cm,
- dans les réseaux pour 46 m^3 (236 mètres linéaires de canalisation diamètre 500)
- pour le reste (1 293 m^3) dans le bassin d'orage étanche des eaux pluviales de voiries.

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 1 660 m^3.
Une vanne de barrage sera implantée en aval du bassin d'orage étanche des eaux pluviales de voiries de 1 735 m^3. En cas d'incendie, cette vanne sera fermée afin de retenir les eaux d'extinction dans ce bassin.

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

5.5.10 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	Coupure 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

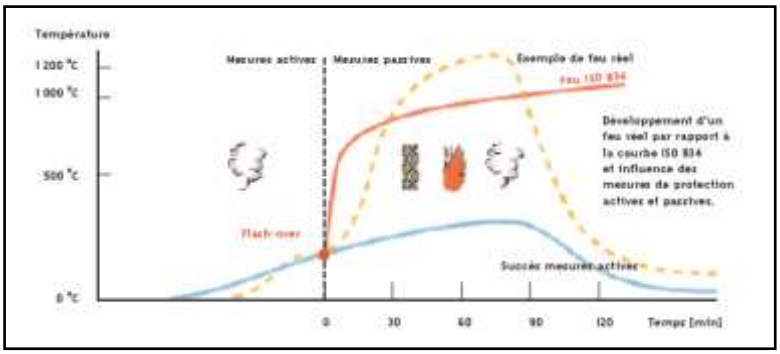
6 ETUDE DE LA CINETIQUE

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 mètres
Eau pulvérisée + additifs 6 litres	40 s	3 à 4 mètres
Poudre 6 kg	16 s	4 à 5 mètres
CO_2 2 kg	7 s	1 mètre

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 Embrasement 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 embrasement 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).
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'APSAD, 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_2 et H_2O 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 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.

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	110 m²	4 mètres	440 m³

7.2.3 Calcul des effets de surpression

On utilise la formule suivante :

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

Où :
$\overline{R}$ 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 440 m^3.

- **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**	**Indice de la méthode**
	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	
	X	X			X		7-10
	X	X				X	7-10
X		X			X		5-7
	X		X		X		5-7
	X		X			X	4-6
	X			X	X		4-6
X		X				X	4-5
	X			X		X	4-5
X			X		X		3-5
X			X			X	2-3
X				X	X		1-2
X				X		X	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.
- **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).

$$E = 3 \times V \times (Pmax-Pa)$$

Avec V : volume de l'enceinte considérée (ici 440 m^3)
Pmax-Pa = 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).

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

Avec P0 étant la pression atmosphérique en Pascal

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

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

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

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

- **Résultats**

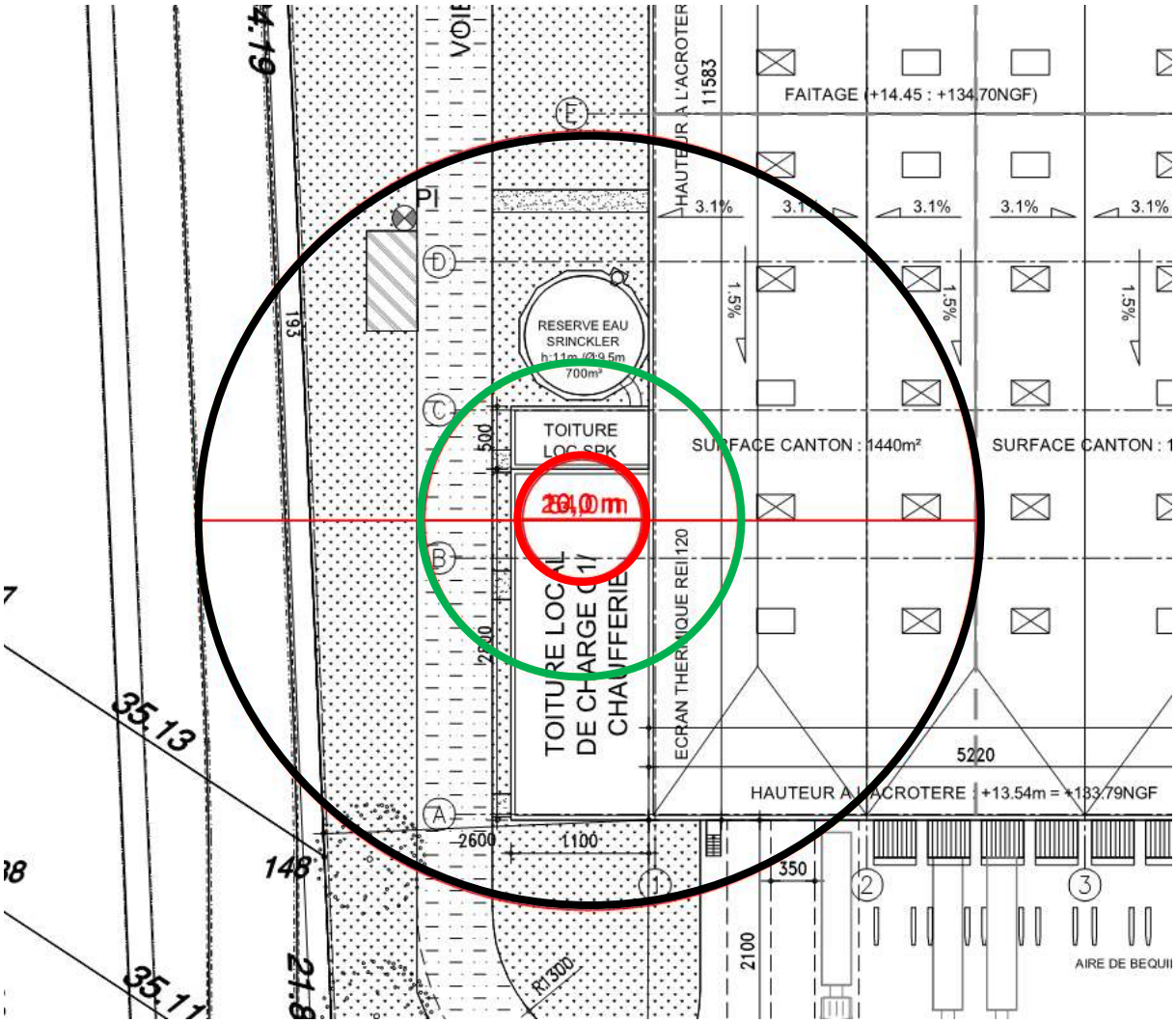
La distance X entre le centre du nuage et le seuil de surpression est défini selon :

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

Surpression	Distance d'effets
20 mbar	29,4
50 mbar	11,76 mètres
140 mbar	4,7 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 :
- 20 mbar
- 50 mbar
- 140 mbar

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

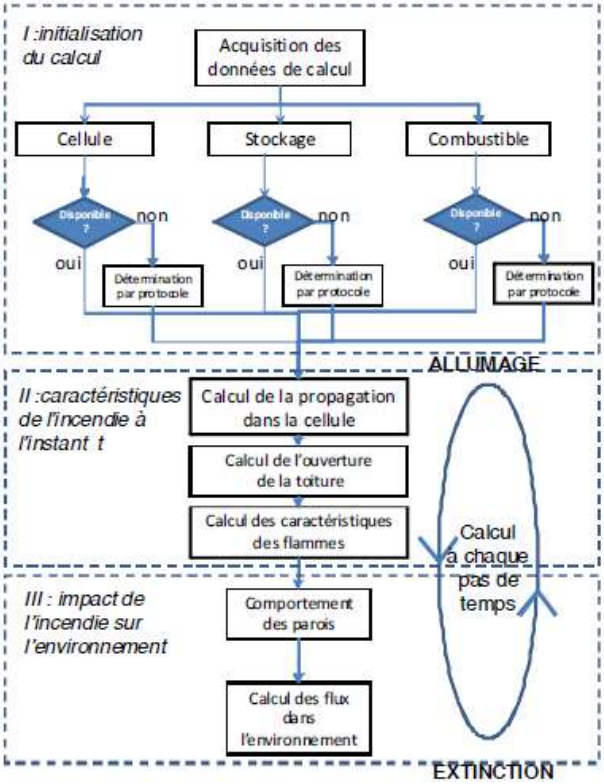
Pour l'incendie des cellules de stockage des produits combustibles, la modélisation a été réalisée à partir de la méthode de calcul FLUMILOG V5.1.1.0 (outil de calcul V5.01).

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/m²** pour le seuil des effets domino correspondant au seuil de dégâts grave sur les structures.
- **5 kW/m²** pour le seuil des effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
- **3 kW/m²** 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	116 m
Largeur	52 m
Hauteur sous bac moyenne	13,4 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 %

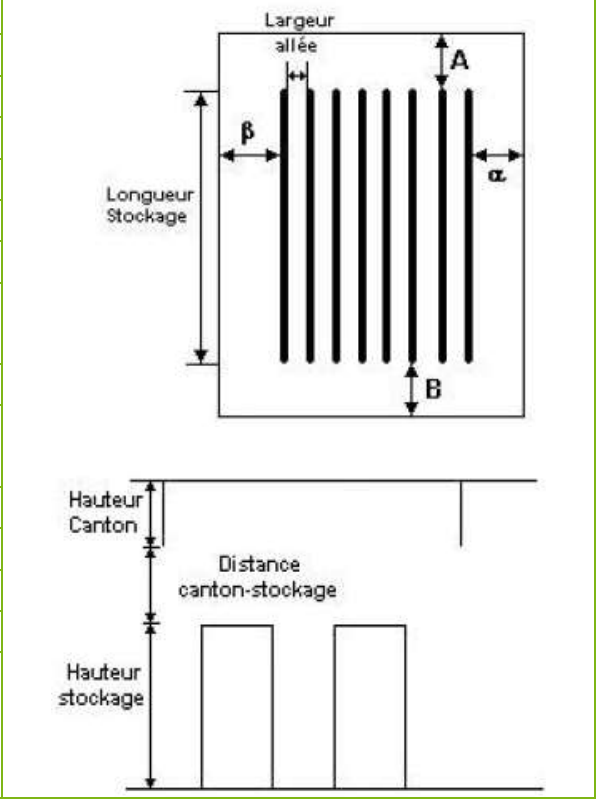
- **Caractéristiques des parois extérieures**

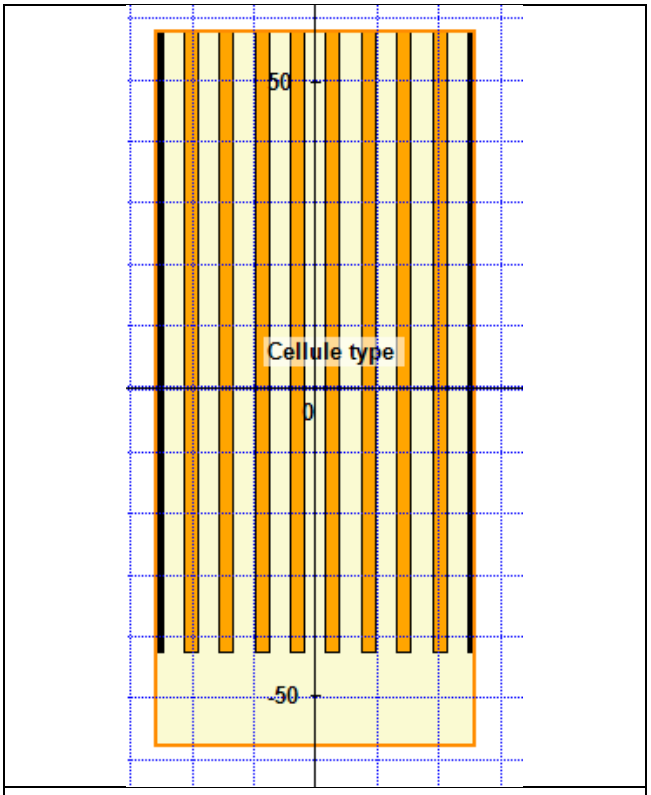
Celles 1 à 5					
Géométrie de la cellule					
Caractéristiques des parois	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4	
Composantes de la paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Multiocomposante	
				Bas – 10m	Haut – 3,4 m
Structure support	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton	Poteau béton
Nombre de portes de quais	0	6	0	0	0
Matériau	Béton armé / cellulaire	Bardage double peau	Béton armé / cellulaire	Béton armé / cellulaire	Bardage double peau
R(i) : Résistance structure (min)	120	60	120	120	60
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	15	120	120	15
I(i) : Critère d'isolation de la paroi (min)	120	15	120	120	15
Y(i) : Résistances des fixations (min)	120	15	120	120	15

- **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.

Stockage Racks Cellules 1 à 5	
Nombre de niveaux	6
Mode de stockage	Racks
Longueur du stockage	101
Longueur de préparation A	0
Longueur de préparation B	15
Déport latéral α	0
Déport latéral β	0
Hauteur maximale de stockage(*)	11,6
Hauteur du canton	1
Ecart entre le haut de stockage et le canton	0.8
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	3,4 mètres





Cellules 1 à 5

- **Marchandises entreposées**

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

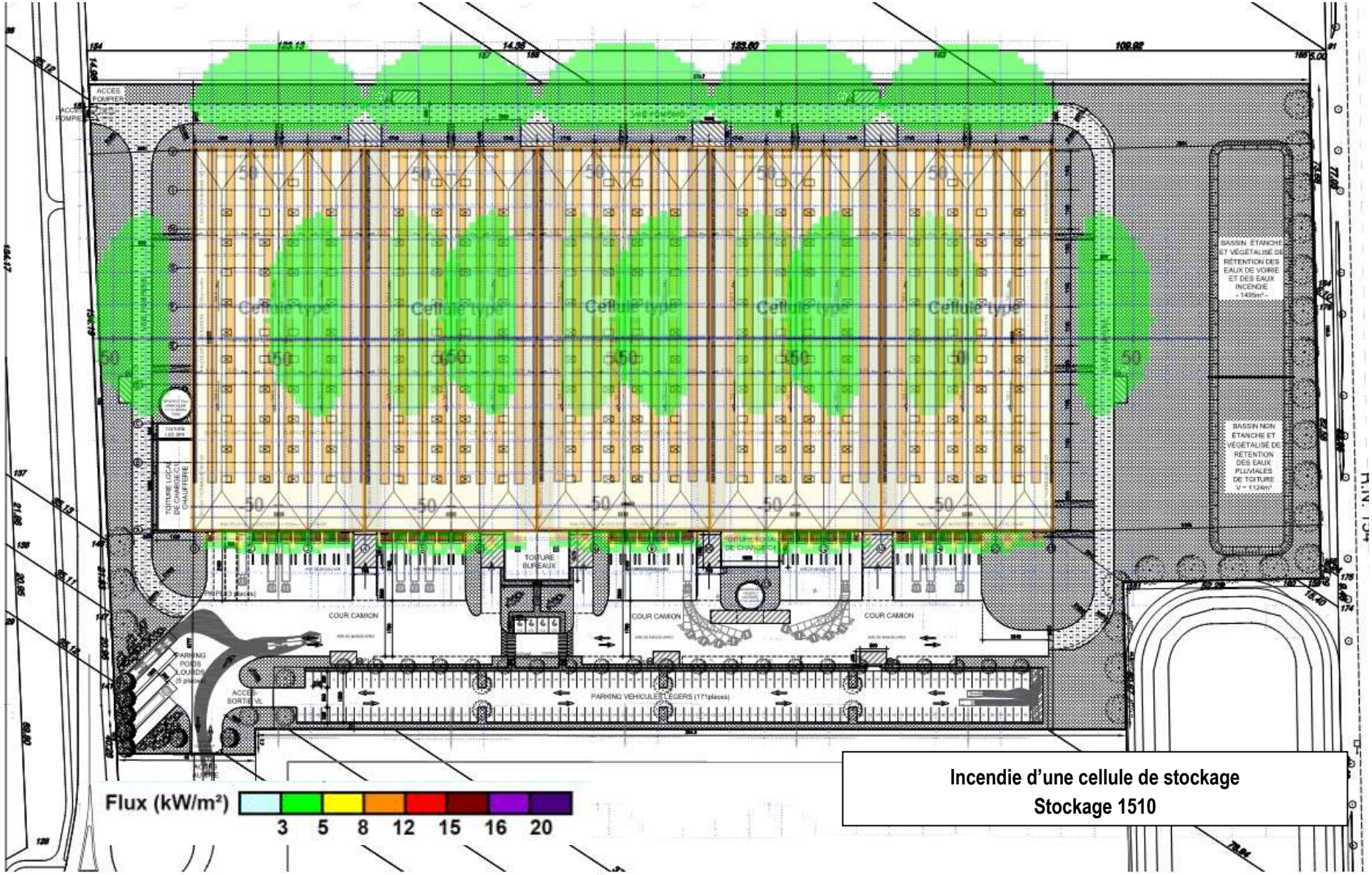
- Modélisation 1510 : palette type 1510,
- Modélisation 2662 : palette type 2662,
- Modélisation 1530: palette de 200 kg constituée à 100% de carton,
- Modélisation 1532 : palette de 200 kg constituée à 100% de bois,
- Modélisation 2663 : palette de 750 kg constituée de 350 kg polyéthylène, de 140 kg de PVC, 210 kg de caoutchouc et de 50 kg de bois.

La hauteur de stockage est de 11,6 m sauf pour la rubrique 2662 où elle est limitée à 8 m.

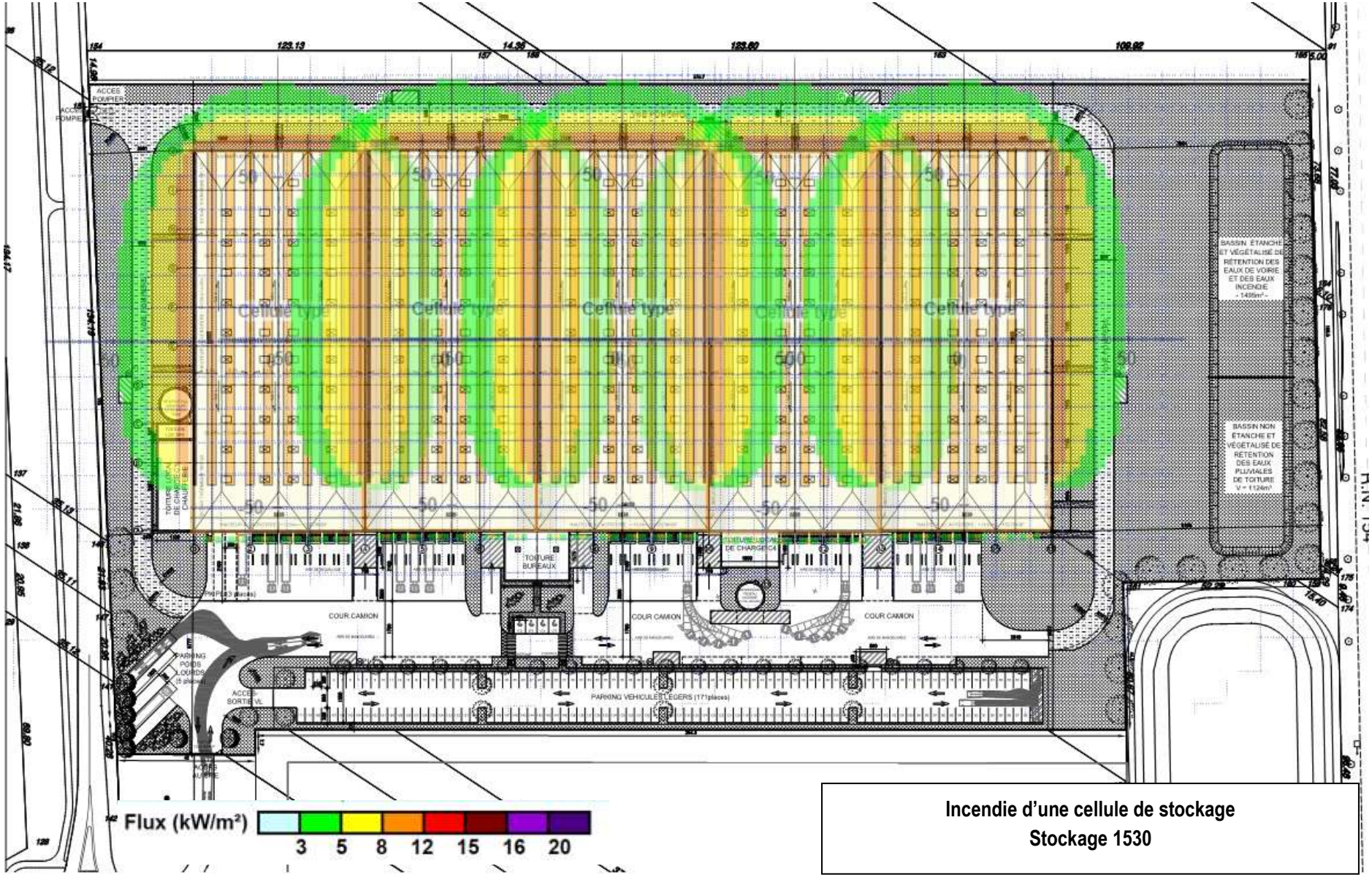
8.1.4 Résultats obtenus

Les fichiers de résultats obtenus pour l'incendie des cellules de stockage étudiées sont présentés en annexe n° 12.

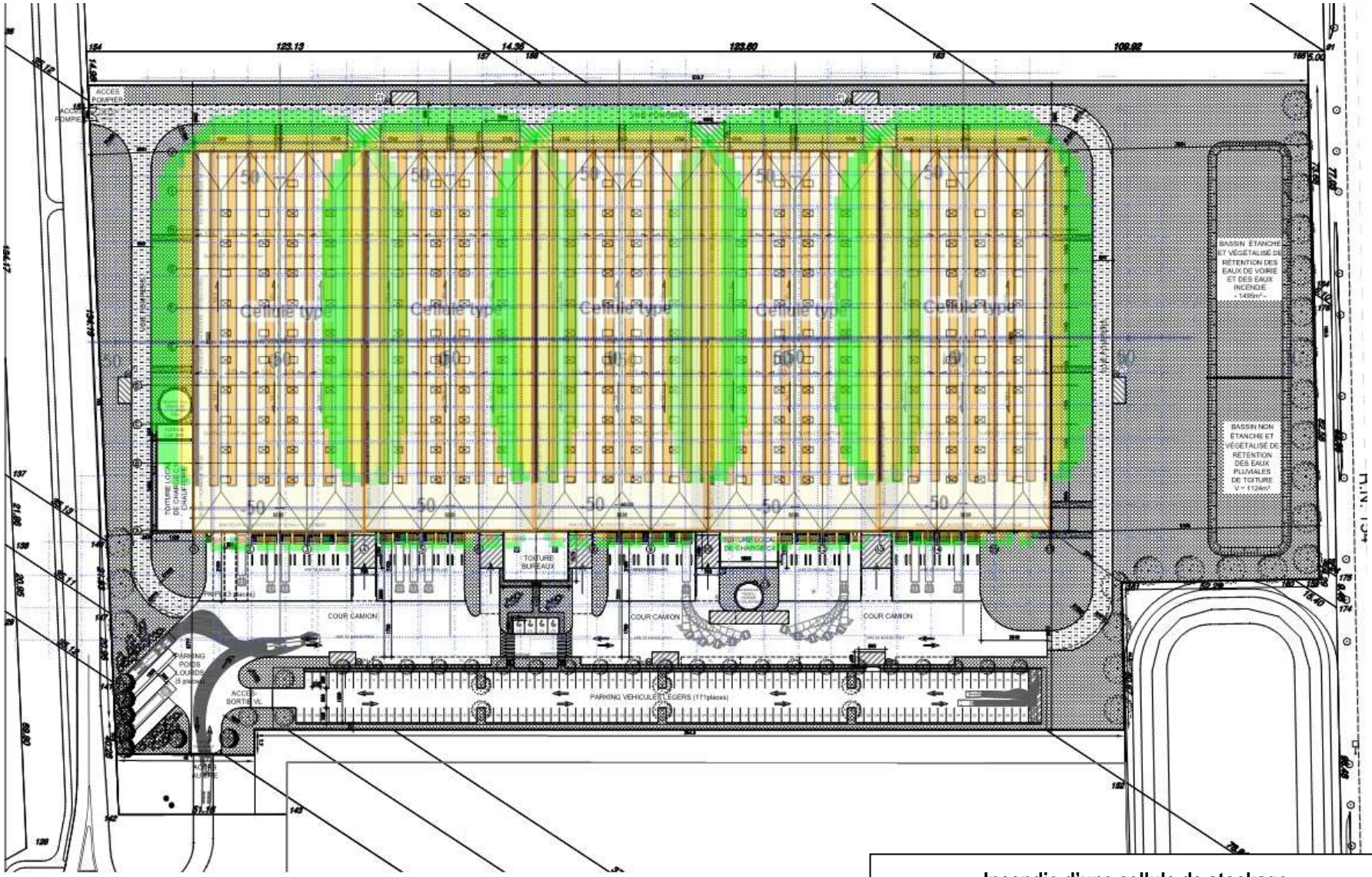
Les plans joints en pages suivantes permettent de visualiser les distances de perception des flux thermiques.

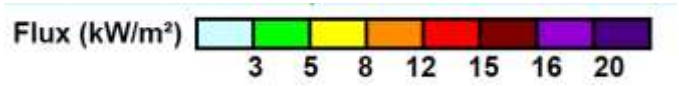


Incendie d'une cellule de stockage
Stockage 1510



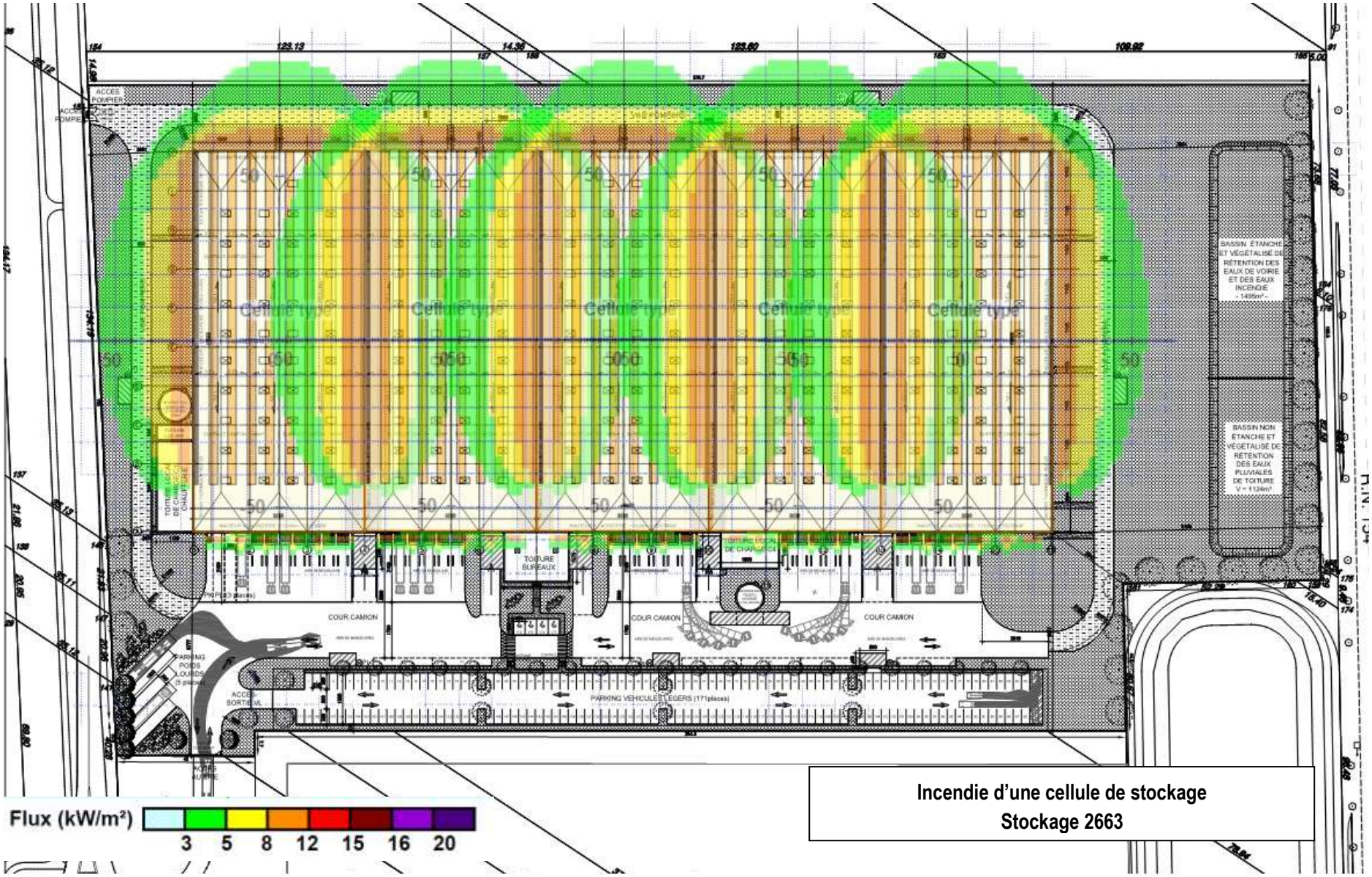
Incendie d'une cellule de stockage
Stockage 1530





Incendie d'une cellule de stockage
Stockage 1532

Incendie d'une cellule de stockage
Stockage 2662



Incendie d'une cellule de stockage
Stockage 2663

- **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/m² ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 5 kW/m² ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 3 kW/m² sort côté Nord du site.

8.2 Incendie d'une cellule de denrées alimentaires

La cellule 1 de l'établissement pourra abriter un stockage de denrées alimentaires sous température dirigée.

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

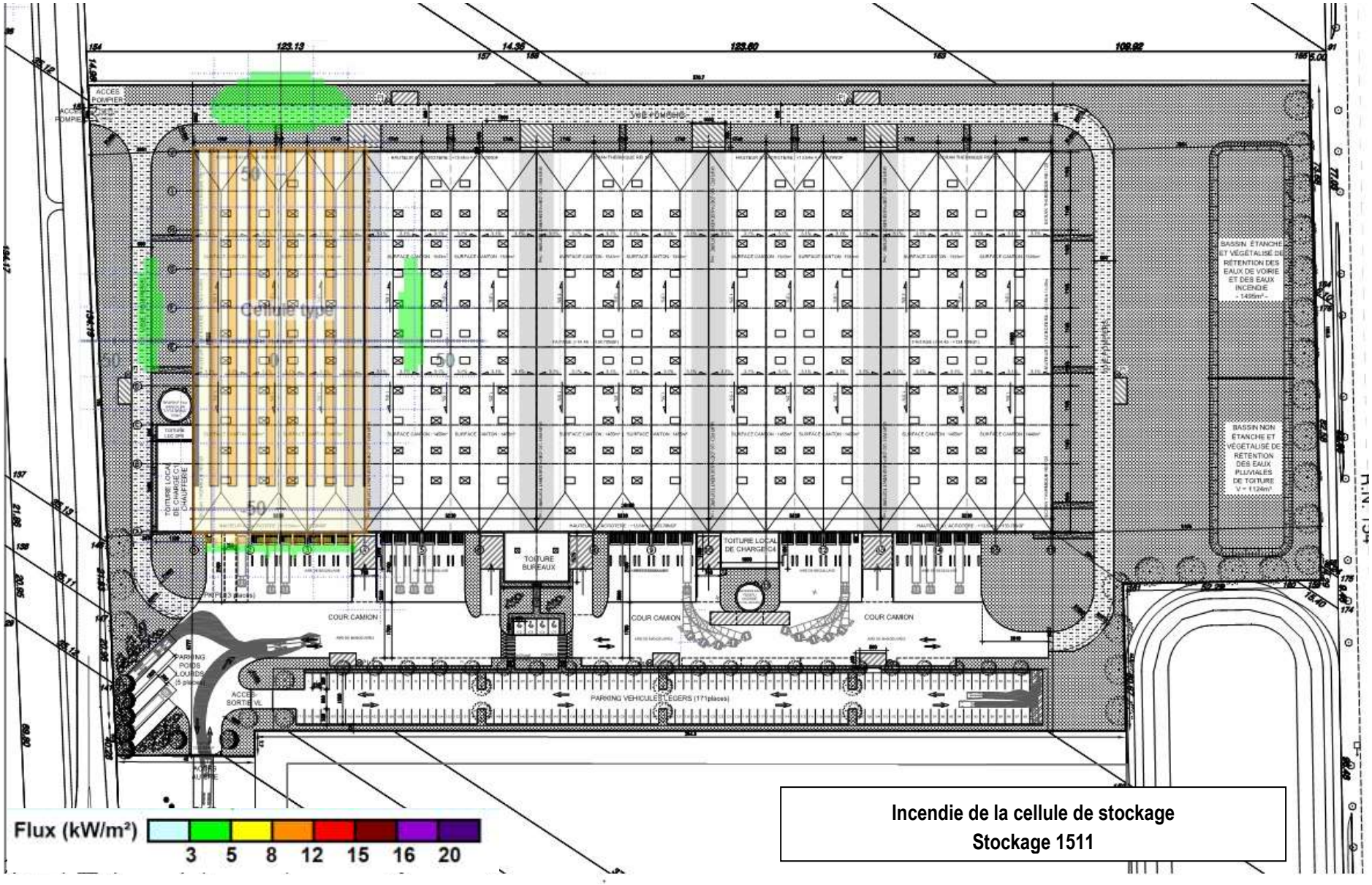
8.2.1 Données d'entrée

Les caractéristiques des cellules restent inchangées par rapport aux modélisations décrites plus avant.

La modélisation est basée sur la palette type 1511.

8.2.2 Résultats obtenus

Le fichier des résultats obtenus pour l'incendie de la cellule de stockage étudiée est présentée en annexe n° 12.



Incendie de la cellule de stockage
Stockage 1511

- **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/m² ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 5 kW/m² ne sort pas des limites de propriété.
- Dans le cas le plus défavorable, le flux de 3 kW/m² ne sort pas des limites de propriété.

8.3 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.

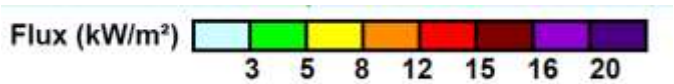
8.3.1 Données d'entrée

Les caractéristiques des cellules restent inchangées par rapport aux modélisations décrites plus avant.

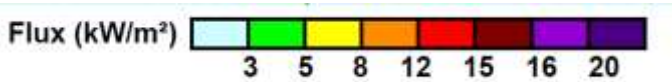
8.3.2 Résultats

Les fichiers de résultats sont en annexe n° 13.

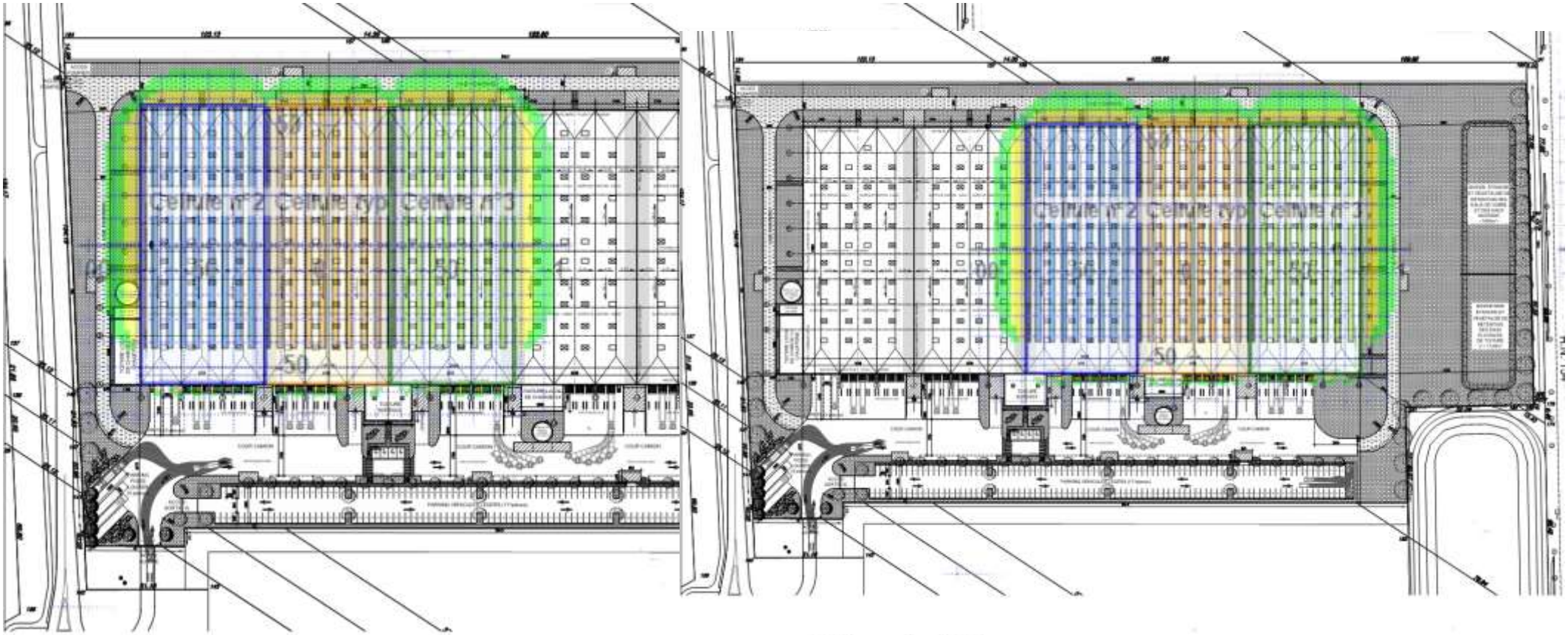
Les distances maximales de perception des flux thermiques à partir des murs périphériques du bâtiment sont visualisables sur les schémas ci-dessous :

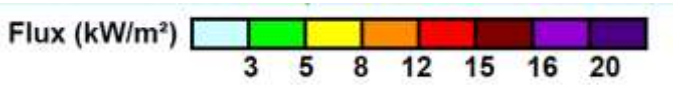


Incendie de trois cellules de stockage
Stockage 1510

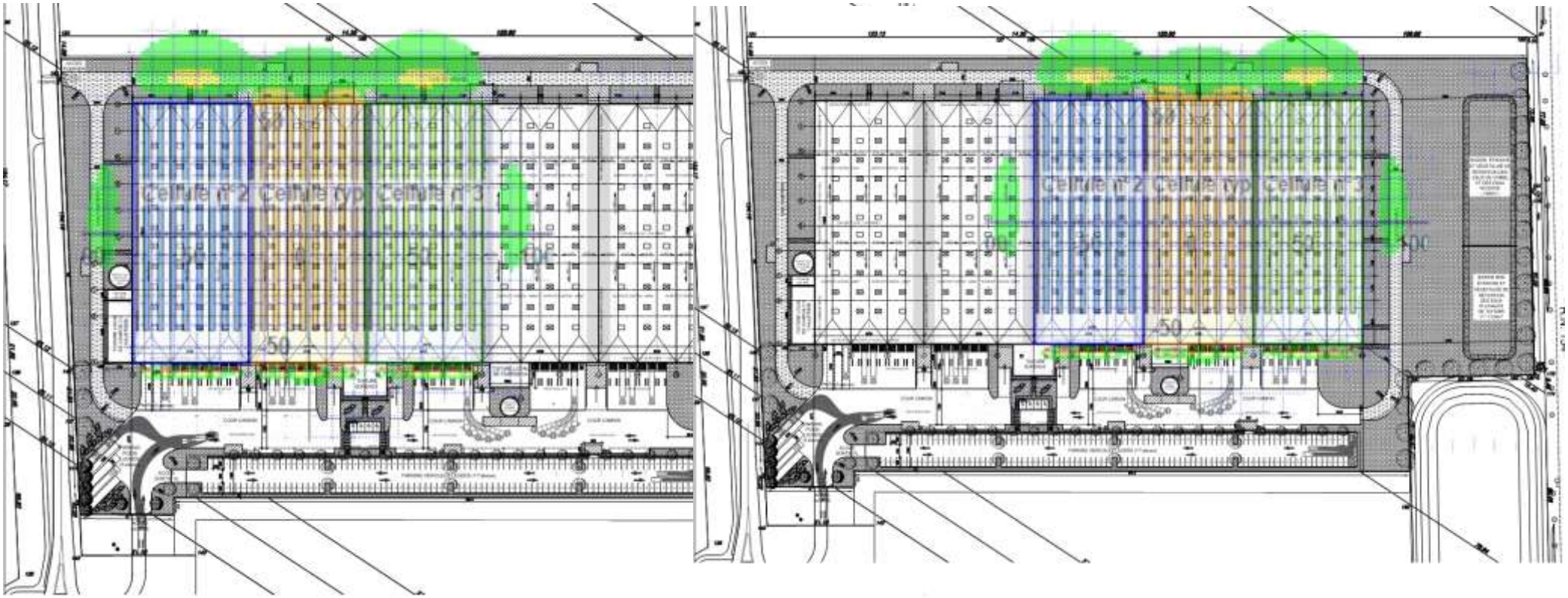


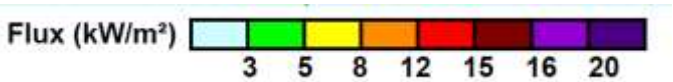
Incendie de trois cellules de stockage
Stockage 1530



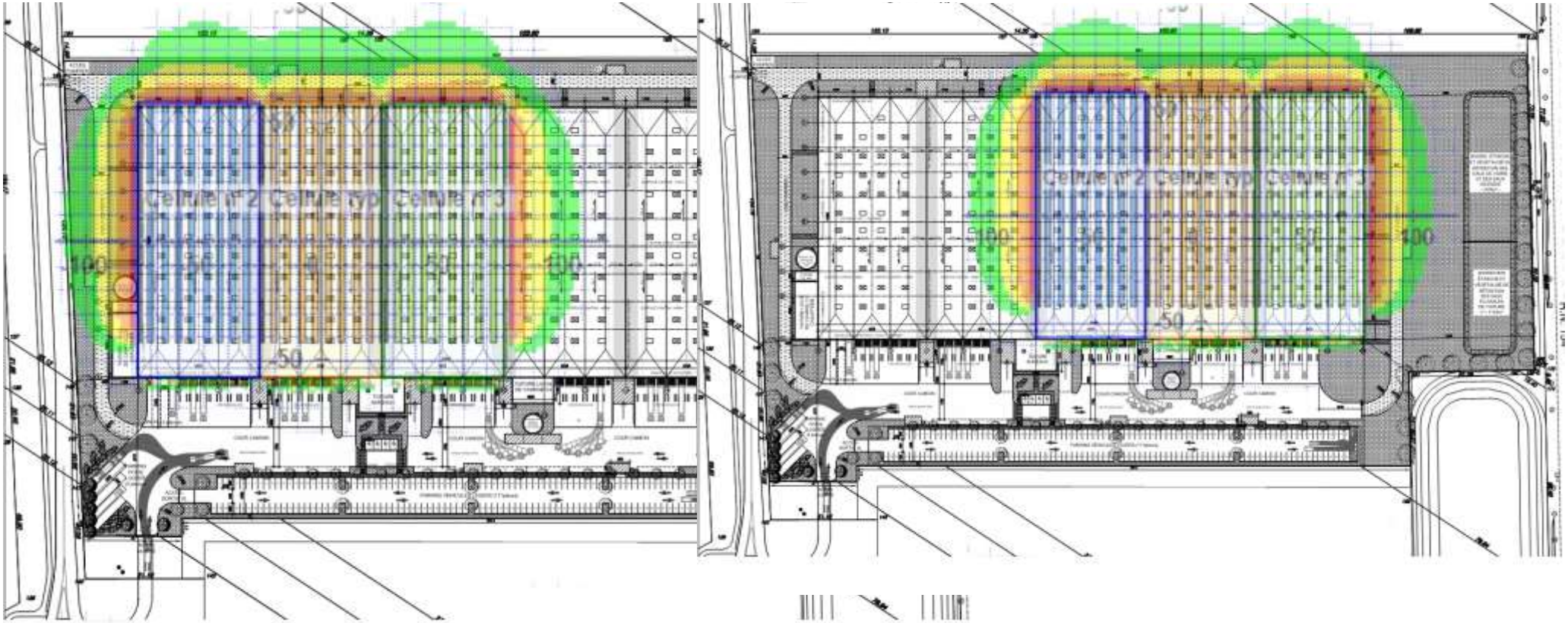


Incendie de trois cellules de stockage
Stockage 1532





Incendie de trois cellules de stockage
Stockage 2662



Flux (kW/m²) 3 5 8 12 15 16 20

Incendie de trois cellules de stockage
Stockage 2663

9 ETUDE DES EFFETS TOXIQUES ET DES EFFETS SUR LA VISIBILITE DES FUMEES

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 consument 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 consument 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_2,
- La combustion d'1 kg de polyéthylène engendre 15,708 kg de produits de combustion dont 3,14 kg de CO_2,
- 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_2,
- La combustion d'1 kg de polystyrène entraîne la formation de 14,2 kg de produits de combustion dont 3,38 kg de CO_2,
- 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_2.

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 $CO/CO_2 = 0,1$.

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 6 000 m².
En nous basant sur une vitesse de combustion de 0,025 kg/m².s, pour une cellule de 6 000 m² nous obtenons un débit total de 150 kg/s.

On obtient ainsi pour une cellule :

- Polyéthylène : 60 kg/s,
- Cellulose : 52,5 kg/s,
- PVC: 22,5 kg/s,
- Polystyrène : 12 kg/s,
- Polyuréthane: 3 kg/s.

Ces vitesses permettent d'établir, sur la base de la stœchiométrie, les débits de fumées et de toxiques :

- Fumées totales : 1 588 kg/s
- HCl : 13,14 kg/s (soit 0,83%)
- HCN : 1,02 kg/s (soit 0,065%)
- Suies : 11,11 kg/s (soit 0,7%)
- CO_2 : 348,7 kg/s (soit 22%)
- CO : 34,9 kg/s (soit 2,2%)

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/m³) Z2	Effets	SEL (en mg/m³) 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_2	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/m³.

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 9.1.3 on obtient :

	SEI équivalent (en mg/m³) Z2	SEL équivalent (en mg/m³) 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_2, 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	Jour Selon un rayonnement solaire incident			Nuit Selon une couverture nuageuse	
	Fort Eté – ciel dégagé	Modéré Ciel nuageux	Léger Hiver – ciel couvert	Dense >1/2 surface	Dégagée <1/2 surface
en m/s	A A – B B C C	A – B B B – C C – D D	B C C D D	E D D D	F E D D

La modélisation a été réalisée pour les ensembles de conditions météorologiques suivants :

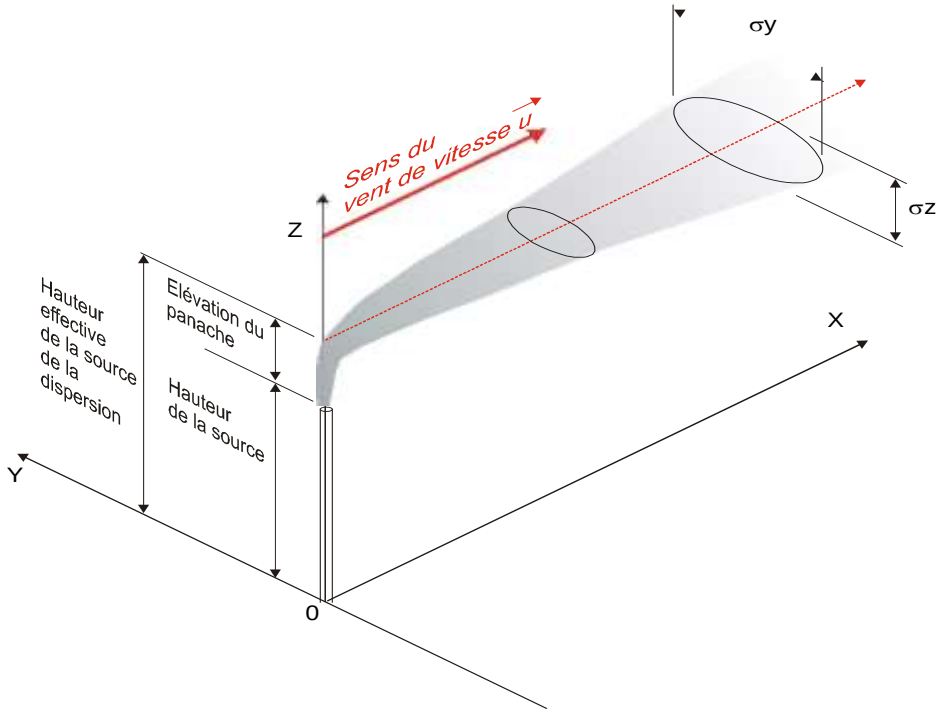
- Classe de stabilité A avec un vent de 2 m/s et une température de l'air ambiant de 20°C. Cette condition météorologique associe une atmosphère très instable et une faible vitesse de vent permettant d'illustrer les effets d'une dilution important du panache ascendant au voisinage de l'incendie.
- Classe 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 :

$H_{Rauch} = 186.^{Q0.25}.U^{-1}$

$H_{Moses\text{-}Carson} = 82.Q^{0.5}.U^{-1}$

$He = 2/3\ H_{Rauch} + 1/3\ H_{Moses\text{-}Carson}$

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 6 000 m² dans laquelle se développe un incendie dont la vitesse de propagation est égale à 0,025 kg/m².s, on obtient une puissance du foyer égale 3 750 MW.

L'application des corrélations de Rauch et de Moses-Carson à un incendie dont la puissance thermique est égale à 3 750 MW conduit aux hauteurs de dispersions suivantes :

Vitesse du vent	H_{Rauch} (m)	$H_{Moses\text{-}Carson}$ (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	723 m	2 511 m	1 322 m	**441 m**
3 m/s	485 m	1 674 m	881 m	**294 m**
5 m/s	291 m	1 004 m	529 m	**176 m**

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 600 m² (soit environ 10% de la surface de la plus grande cellule), on obtient une puissance thermique égale à 375 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_{Rauch} (m)	$H_{Moses\text{-}Carson}$ (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	409 m	794 m	537 m	**179 m**
3 m/s	273 m	529 m	358 m	**119 m**
5 m/s	164 m	318 m	215 m	**72 m**

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_2	HCl		HCN	Fumées incendie	
Combustion d'une cellule de stockage de produits courants		Z1	Z2	Z2	Z1	Z2	Z1	Z1	Z2
Seuils en mg/m³	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° 14.

- **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 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.

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 m³ 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/m²,
- 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/m².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_2 et SO_2,
- 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_2	1733	86,54
SO_2	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/m²s pour une cellule de 6 000 m² environ, nous obtenons un débit de combustion égal à 204 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	27,34
CO	13,26
CO_2	353,53
SO_2	1,79
NO_2	0,51
Formol	0,02
Imbrûlés	12,04

HAP	0,02
Fumées	408,51

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/m³) Z2	**Effets**	**SEL (mg/m³) 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_2	89 980	Céphalées, vertiges	-	-	
SO_2	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_2	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/m³.
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 :

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{(\text{Concentration du polluant } P_i)}{(\text{Seuil du polluant } P_i)} = \frac{1}{\text{Seuil}_{\text{equivalent}}}$$

Ainsi, en utilisant les pourcentages du paragraphe 9.2.2 on obtient :

	SEI équivalent (en mg/m³) Z2	SEL équivalent (en mg/m³) 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°14.
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 :

$$H_{Rauch} = 186.^{Q0.25}.U^{-1}$$
$$H_{Moses\text{-}Carson} = 82.Q^{0.5}.U^{-1}$$
$$He = 2/3\ H_{Rauch} + 1/3\ H_{Moses\text{-}Carson}$$

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 6 000 m² dans laquelle se développe un incendie dont la vitesse de propagation est égale à 0,034 kg/m².s, on obtient une puissance du foyer égale à 6 120 MW.
Afin de réaliser une modélisation majorante, nous recherchons les hauteurs de flammes pour une surface en feu de 600 m² (soit 10% de la surface de la plus grande cellule).

Dans ce cas, la puissance thermique de l'incendie en phase de démarrage est égale à 612 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_{Rauch}	$H_{Moses\text{-}Carson}$	Hauteur du panache	Hauteur de dispersion
2 m/s	463 m	1014 m	646 m	**217 m**
3 m/s	308 m	676 m	431 m	**144 m**
5 m/s	185 m	406 m	259 m	**87 m**

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_2	SO_2		NO_2		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/m³	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° 14.

- **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 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.

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 18 000 m²
En nous basant sur une vitesse de combustion de 0,025 kg/m² nous obtenons un débit total de 450 kg/s.

On obtient ainsi pour les 3 cellules :

- Polyéthylène : 180 kg/s,
- Cellulose : 157,5kg/s,
- PVC: 67,5 kg/s,
- Polystyrène : 36 kg/s,
- Polyuréthane: 9 kg/s.

Ces vitesses permettent d'établir, sur la base de la stœchiométrie, les débits de fumées et de toxiques :

- Fumées totales : 4763,3 kg/s
- HCl : 39,42 kg/s
- HCN : 3,06 kg/s
- Suies : 33,34 kg/s
- CO_2 : 1 046,09 kg/s
- CO : 104,61 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 :

$$H_{Rauch} = 186.Q^{0.25}.U^{-1}$$
$$H_{Moses\text{-}Carson} = 82.Q^{0.5}.U^{-1}$$
$$He = 2/3\ H_{Rauch} + 1/3\ H_{Moses\text{-}Carson}$$

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 18 000 m² dont la vitesse de propagation est égale à 0,025 kg/m².s, on obtient une puissance du foyer égale à 11 250 MW.
L'application des corrélations de Rauch et de Moses-Carson à un incendie dont la puissance thermique est égale à 11 250 MW conduit aux hauteurs de dispersions suivantes :

Vitesse du vent	H_{Rauch} (m)	$H_{Moses\text{-}Carson}$ (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	958	4 349	2 088	**696**
3 m/s	639	2 899	1392	**464**
5 m/s	383	1 739	835	**278**

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 m² (soit 10% de la surface des trois cellules).

Ainsi pour une surface en feu de 1 800 m², 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_{Rauch} (m)	$H_{Moses\text{-}Carson}$ (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	539	1378	817	**272**
3 m/s	359	917	545	**182**
5 m/s	215	550	327	**109**

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_2	HCl		HCN	Fumées incendie	
Incendie 3 cellules de stockage de produits courants		Z1	Z2	Z2	Z1	Z2	Z1	Z1	Z2
Seuils en mg/m³	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° 14.

- **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 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.

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/m².s pour 18 000 m², nous obtenons un débit de combustion égal à 612 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	82
CO	39,8
CO_2	1060,6
SO_2	5,37
NO_2	1,55
Formol	0,06
Imbrûlés	36,12
HAP	0,06
Fumées	1225,53

Afin de réaliser une modélisation majorante, nous recherchons les hauteurs de flammes pour une surface en feu de 1 800 m² (soit 10 % de la surface de 3 cellules).

Dans ce cas, la puissance thermique de l'incendie en phase de démarrage est égale à 1 836 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_{Rauch} (m)	$H_{Moses\text{-}Carson}$ (m)	Hauteur du panache (m)	Hauteur de dispersion (m)
2 m/s	609	1757	991	**332**
3 m/s	406	1171	661	**221**
5 m/s	244	703	397	**133**

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_2	SO_2		NO_2		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/m³	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°14.

- **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 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.

Nous avons mis en œuvre des dispositifs de prévention pour limiter la probabilité de développement d'un incendie dans le bâtiment.

10 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**

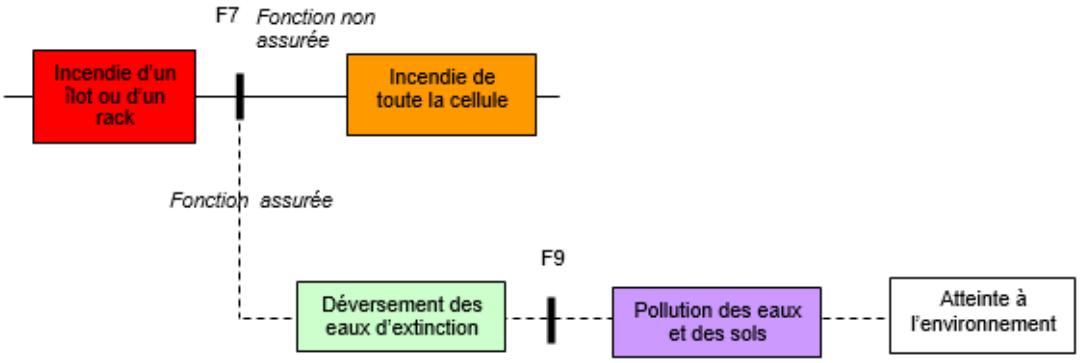
	E	D	C	B	A
Qualitatif	« événement possible mais extrêmement peu probable » N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années	« événement très improbable » S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures 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
Semi quantitatif	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitatives et quantitatives et permet de tenir compte des mesures de maîtrise des risques mises en place				
Quantitatif (par unité et par an)	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	

- **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			

10.1 Probabilité incendie

10.1.1 De l'inflammation à l'incendie d'une cellule



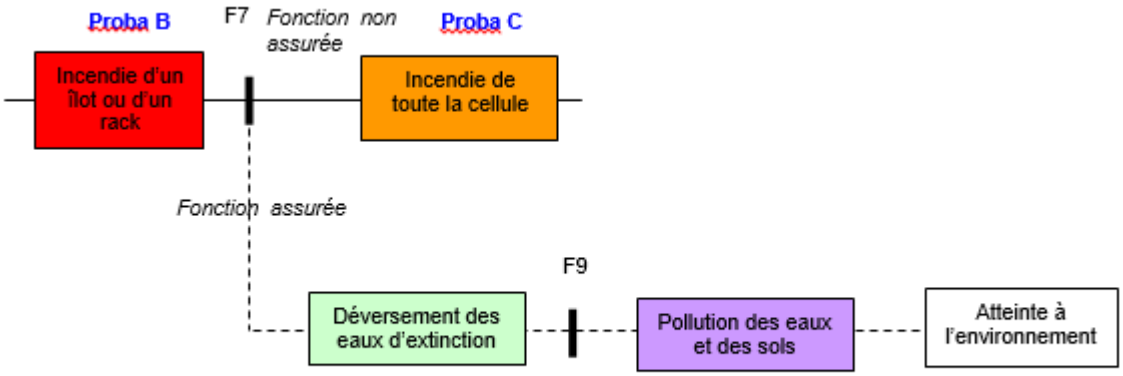
F7 : Eviter la propagation de l'incendie à la cellule et éteindre l'îlot/rack
F9 : Eviter la pollution des eaux et des sols

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 côté avec une valeur médiane de 5.10^{-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.

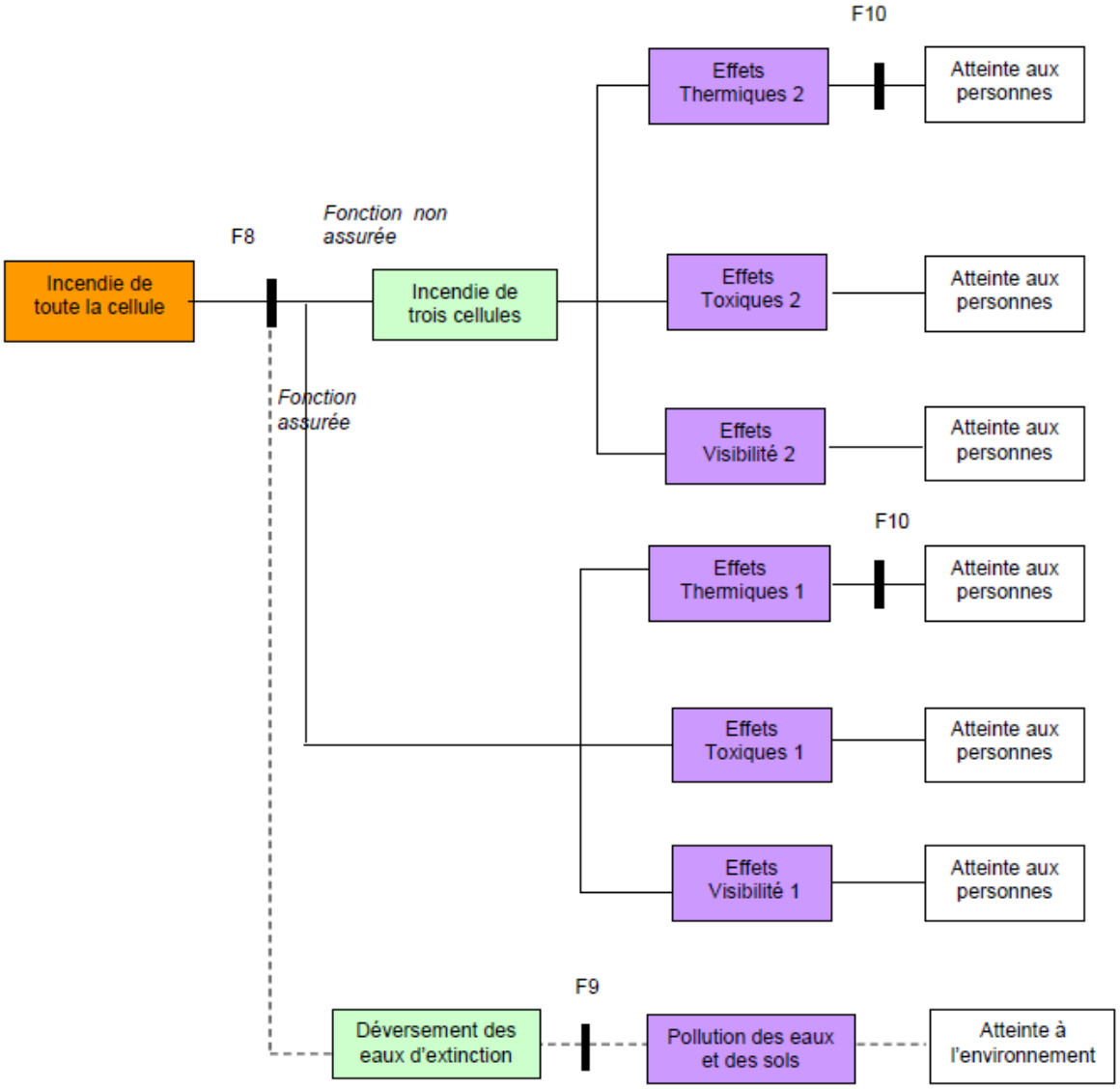
Aussi, nous pouvons considérer un niveau de confiance 1 pour cette mesure de maîtrise des risques (fonctionne correctement dans 90 % des cas), sachant que l'on est plus proche d'un niveau de confiance 2 (fonctionnement dans 99% des cas). On peut donc décoter la probabilité d'occurrence d'un incendie 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

10.1.2 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

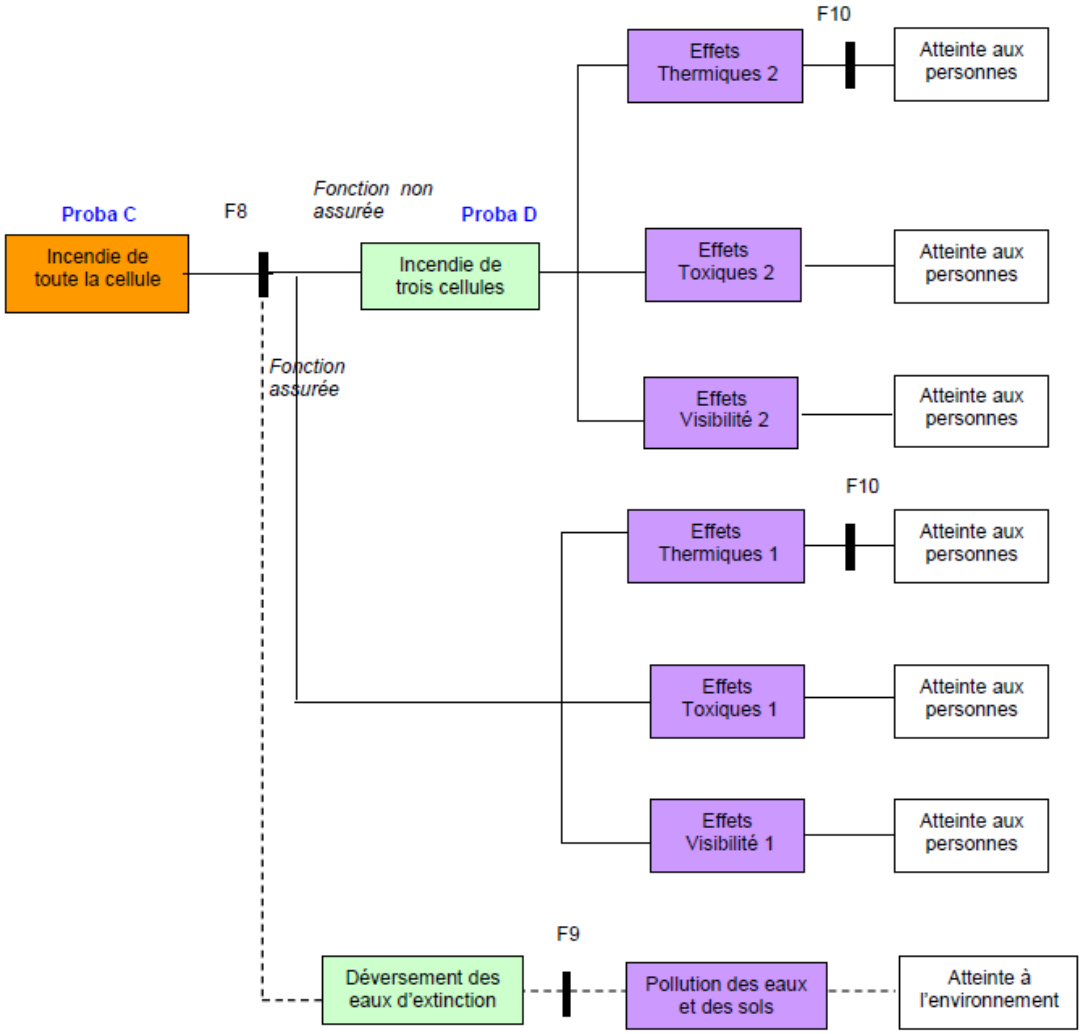
A ce stade, le système de sprinklage a été défaillant et l'incendie s'est propagé à la cellule.
Cet événement est déjà coté avec une probabilité C « événement improbable ».

- 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 décoter 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)

10.2 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.

10.2.1 Incendie d'une cellule de stockage de produits combustibles courants

Pour toutes les rubriques, les flux thermiques de 8 et 5 kW/m² restent dans les limites de propriété.
Nous prendrons l'hypothèse la plus pénalisante à savoir l'incendie d'une cellule de stockage de produits 1510.
Dans ce cas, le flux thermique de 3 kW/m² sort sur environ 400 m² côté Nord du site.

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 terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais…) tels que ceux impactés par le flux thermique de 3 kW/m² côté Nord, il faut compter 1 personne par tranche de 100 ha.

Les 400 m² impactés par le flux thermique de 3 kW/m² nous amènent à considérer la présence permanente de 8.10^{-4} 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**.

10.2.2 Incendie de la cellule de stockage de produits alimentaires

Les modélisations réalisées pour le stockage de produits alimentaires dans la cellule 1 de l'établissement, les flux thermiques de 8, 5 et 3 kW/m² ne sortent pas des limites de l'établissement.
Ce phénomène n'est donc pas à coter.

10.2.3 Incendie de trois cellules de stockage de produits combustibles courants

Pour toutes les rubriques, les flux thermiques de 8 et 5 kW/m² restent dans les limites de propriété.
Nous prendrons l'hypothèse la plus pénalisante à savoir l'incendie de trois cellules de stockage de produits 1510.
Dans ce cas, le flux thermique de 3 kW/m² sort sur environ 1600 m² côté Nord du site.

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 terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais…) tels que ceux impactés par le flux thermique de 3 kW/m² côté Nord, il faut compter 1 personne par tranche de 100 ha.

Les 1 600 m² impactés par le flux thermique de 3 kW/m² nous amènent à considérer la présence permanente de $1,6.10^{-3}$ 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**.

10.3 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.

10.4 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.

10.5 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 évènements redoutés restent à un niveau modéré.
Toutes les mesures ont été prises pour obtenir un niveau de risque aussi bas que possible.

11 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.