

## STOCKAGE D'AÉROSOLS DANS DES CELLULES ALLANT JUSQU'À 12 000M<sup>2</sup>.

Destinataire : **Marine WINIGER**  
Chef de groupe Environnement  
Industriel et Urbanisme  
NG CONCEPT  
[mwiniger@ngconcept-ec.com](mailto:mwiniger@ngconcept-ec.com)  
Portable : 06 30 55 20 84

Copies : Alexandre Georges Picot  
Olivier Gentilhomme  
Benjamin Truchot

### 1. Contexte et objectifs

Au fil des ans, avec l'accroissement du volume et de la nature des produits stockés, les entrepôts logistiques se sont adaptés en augmentant les surfaces et hauteurs de stockage et en diversifiant les méthodes de stockage (rack classique, double deep, autostore, shuttle,...).

De plus, pour gagner en souplesse, les entrepôts réalisent de plus en plus de co-stockage de différentes rubriques ICPE<sup>1</sup>, sous réserve de compatibilité, dans une même cellule. Ainsi, certaines cellules peuvent stocker des produits de puissance classique appartenant à diverses rubriques telles que les rubriques 15XX, 26XX, 41XX... mais aussi des produits plus fortement combustibles tels que des aérosols (rubriques 4320, 4718 ou 4321).

Au regard de l'émittance élevée des flammes, de l'ordre de 100 kW/m<sup>2</sup> (cf guide INERIS Omega4<sup>2</sup>), les aérosols se démarquent de l'incendie de produits courants dont l'émittance est de l'ordre de 30 à 40 kW/m<sup>2</sup>. De plus, la nécessité de les stocker dans des conditions spécifiques (zones grillagées pour empêcher leur projection, zones protégées par un réseau de sprinklage spécifique) empêche de les répartir de manière homogène dans une cellule. La méthodologie de calcul des flux thermiques en cas d'incendie abritant à la fois des produits courants et des aérosols, tel que cela est réalisé actuellement dans les études de dangers, ne permet pas de prendre en compte clairement les spécificités de stockage des aérosols.

Cette note définit les conditions de co-stockage d'aérosols dans des cellules pouvant aller jusqu'à 12 000 m<sup>2</sup> dans le but de garantir la maîtrise des flux en cas d'incendie. Le but est de montrer que, en dessous d'une certaine quantité d'aérosols dans la cellule, et sous réserve de mettre en place certaines dispositions concernant le stockage, les flux thermiques pour un stockage hybride aérosols/produits courants ne sont pas supérieurs à ceux induits par un stockage constitué uniquement des mêmes produits courants.

<sup>1</sup> Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

<sup>2</sup> Omega 4 - Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels : Modélisation d'un incendie affectant un stockage de générateurs d'aérosols

Afin de répondre au besoin de co-stockage, cette étude vise à :

- définir les conditions de stockage permettant de limiter les flux thermiques liés aux aérosols ;
- définir la proportion acceptable d'aérosols afin de ne pas augmenter les distances de flux en comparaison d'une cellule n'en contenant pas.

L'étude se concentre, en particulier, sur le stockage des aérosols au centre de la cellule afin de limiter au maximum les effets sur les parois séparatives REI et de limiter au maximum les flux thermiques hors de la cellule.

## 2. Principe de l'étude et méthodologie

### 2.1 Principe de l'étude

L'objectif de cette note est d'analyser l'influence d'un co-stockage d'aérosols avec des produits de toutes rubriques, sous réserve de la compatibilité du stockage, conformément aux arrêtés ministériels, dont la puissance ne dépasse pas la puissance estimée pour la rubrique 2662 au titre de la méthode Flumilog afin de définir un ensemble de recommandations visant à limiter autant que faire se peut les augmentations de flux thermiques. Dans la mesure où les aérosols requièrent des conditions de stockage spécifiques et un sprinklage adapté, il est impossible de les répartir de manière uniforme dans la cellule. De plus, la forte puissance dégagée par les feux de palettes d'aérosols, avec projections possibles, pourrait conduire à une sollicitation des murs REI au-delà de la sollicitation normalisée, rendant par conséquent caduques les durées de tenue fixées pour ces derniers.

Dans ces conditions, l'étude vise à organiser le stockage de manière à protéger les murs coupe-feu d'une agression directe par les flammes d'aérosols et à évaluer les quantités d'aérosols admissibles sous la forme d'un pourcentage d'EPR (Emplacements Palettes Réservés) afin de limiter l'augmentation des flux thermiques en comparaison d'une situation sans aérosol tout en respectant les hypothèses du logiciel Flumilog. L'organisation de la cellule étudiée est présentée en Figure 1. Le but est d'isoler les aérosols au centre de la cellule afin de les éloigner autant que faire se peut des parois REI.

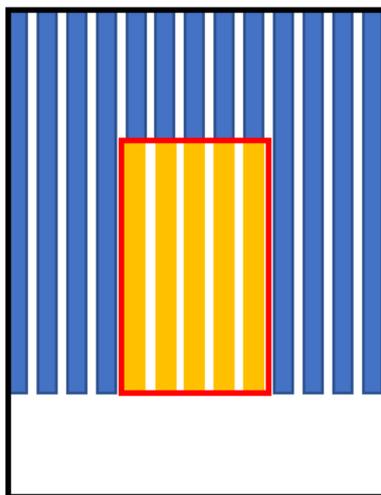


Figure 1 : Stockage envisagé. Bleu : rubrique 1510 ou 2662, Orange : aérosols (4320) — zone grillagée

### 2.2 Méthodologie

Les simulations sont réalisées à l'aide du logiciel Flumilog<sup>3</sup>. Pour chaque configuration de stockage, deux calculs sont réalisés. Un calcul avec une cellule pleine de produit des rubriques type 1510 ou 2662 et un calcul avec un pourcentage fixé de produits aérosols (rubrique type 4320) regroupés au centre de la cellule. Les calculs ayant pour objectif de minimiser l'influence des aérosols sur les flux thermiques et leur agression sur les parois, l'organisation du stockage de ces derniers devra favoriser leur éloignement par rapport aux parois. Les flux maximaux obtenus pour les deux simulations sont ensuite sommés en chaque point de l'espace afin d'obtenir la nouvelle cartographie des flux correspondant au co-stockage. Le choix de cette méthode, imposée par le logiciel, implique que **les flux calculés seront obligatoirement supérieurs aux flux d'une cellule pleine de produits courants** (i.e. 1510 ou 2662), les effets de masque d'une flamme sur l'autre n'étant pas pris en compte. A noter que, dans cette approche, bien que les aérosols favorisent une cinétique d'incendie plus rapide, le fait de sommer les flux des simulations qui correspondent aux flux d'un stockage équivalent à 120% de la capacité de la cellule, en plus de la non prise en compte de l'effet écran des flammes liés au stockage des produits courants entourant les aérosols, ou de l'absorption plus importante liée aux suies permettant de limiter les flux thermiques, nous permet de conclure quant à l'aspect sécuritaire

<sup>3</sup> <https://www.flumilog.fr/>

de la méthode.

Comme la méthode repose sur la somme des flux totaux pour un stockage de 100% de produits à puissance standard en plus d'un stockage de 20% d'aérosols, le critère de validation de la méthode ne repose donc pas sur l'absence d'augmentation des flux, mais sur une augmentation limitée de ces derniers, de l'ordre de grandeur de la précision de l'outil, c'est-à-dire d'environ 10 m.

Les tests ont été réalisés pour 3 surfaces de cellules différentes, 6 000, 9 400 et 12 000 m<sup>2</sup>, présentées plus en détails dans le § 2.1. Le stockage est composé de doubles racks standards. Ces trois cellules couvrent un éventail suffisant de surfaces et de formes (ratio longueur/largeur compris entre 0,5 et 2) permettant de conclure de manière générale sur l'influence de ces paramètres sur les flux radiatifs pour l'ensemble des cellules dont la surface au sol est comprise entre 6000 et 12000 m<sup>2</sup>.

## 2.1. Nature du stockage d'aérosols

Comme décrit précédemment, les aérosols sont stockés au centre de la cellule en doubles racks standards. Ce stockage permet de protéger au maximum la structure de la cellule tout en garantissant le respect des règles de stockage des produits de la rubrique 4320, et en particulier, le stockage en zones grillagées afin de limiter les projections en cas d'incendie.

Les simulations de cette étude considèrent un stockage d'aérosols, tel que représenté en Figure 2 pour chacune des cellules. La distance entre aérosols et paroi doit être maximisée afin de protéger au mieux les murs et réduire l'impact des aérosols sur les flux finaux. Les flux obtenus pour ces simulations sont ensuite sommés aux flux obtenus pour la même cellule remplie de produits dont la puissance correspond à des produits courants (i.e. 1510 ou 2662) afin d'en déduire l'impact sur les flux maximums. Comme précisé précédemment, dans la mesure où les flux des deux configurations sont sommés, soit une puissance correspondant à une quantité de palette supérieure à la capacité de stockage de la cellule (100% de produits dont la puissance est équivalente à des produits courants + X% d'aérosols), les flux seront obligatoirement majorés. Dès lors le critère de validité retenu sur la base des hypothèses et des modèles utilisés par le code est une augmentation des flux inférieure au seuil de précision de l'outil, estimé à 10 m.

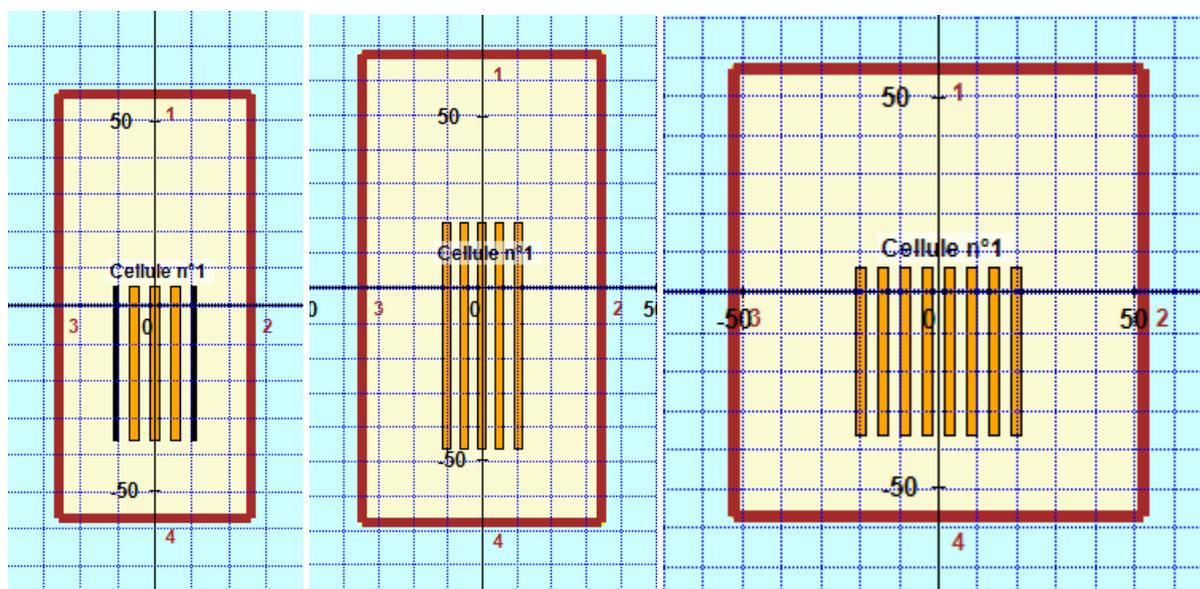


Figure 2 : Présentation du stockage des aérosols pour les cellules de 6 000, 9 400 et 12 000 m<sup>2</sup>

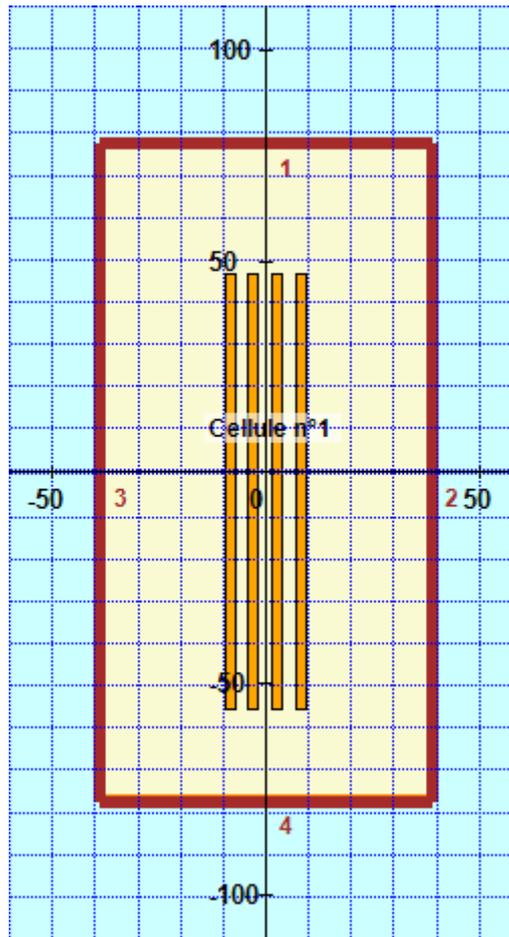


Figure 3 : Configuration de stockage idéale pour les aérosols dans une cellule de 12 000 m<sup>2</sup>

La durée de feu des produits de type aérosols est fixée forfaitairement à 120 min dans l'outil flumilog afin d'alerter sur la nécessité d'évaluer les scénarios de propagation en présence d'aérosols en raison de la forte émittance des flammes de ces derniers qui dépasse l'agression définie par la norme européenne 13501-2. Cependant, le retour d'expérience et les essais réalisés sur des palettes d'aérosols montrent que ce type d'incendie est de courte durée. Dans la mesure où le stockage d'aérosols se situe en centre de cellule, est éloigné des murs et est isolé des parois par les racks et le stockage adjacent, il est légitime de considérer le maintien des parois pour les feux aérosols dans la configuration modélisée. Pour cette raison, et afin de bien tenir compte de l'aspect écran des murs dans l'ensemble des directions, ces derniers sont modélisés par des merlons, Figure 2. En effet, dans la mesure où la cellule accueille des produits aérosols, les parois de la cellule à l'exception de la paroi de quai se doivent d'être REI 120.

### 2.1.1. Cellule de 6 000 m<sup>2</sup>

Cette cellule fait 52 m de large 115 m de long, et 14,5 m de haut. Toutes les parois sont REI 120 à l'exception de la paroi des quais qui est REI 1. Le ratio longueur/largeur est donc de 2,22, Figure 2. Après une étude paramétrique sur l'organisation du stockage et la quantité de palettes aérosols, les simulations réalisées montrent que, pour un stockage de 20% d'aérosols situé au centre de la cellule, et entouré de produits divers de puissance inférieure ou égale à la puissance représentative des palettes de la rubriques 1510 ou 2662, respectant le ratio longueur/largeur de la cellule, les distances correspondant au flux de 3 kW/m<sup>2</sup> pour un stockage de produits type 1510 sont augmentées d'environ 12 m latéralement.

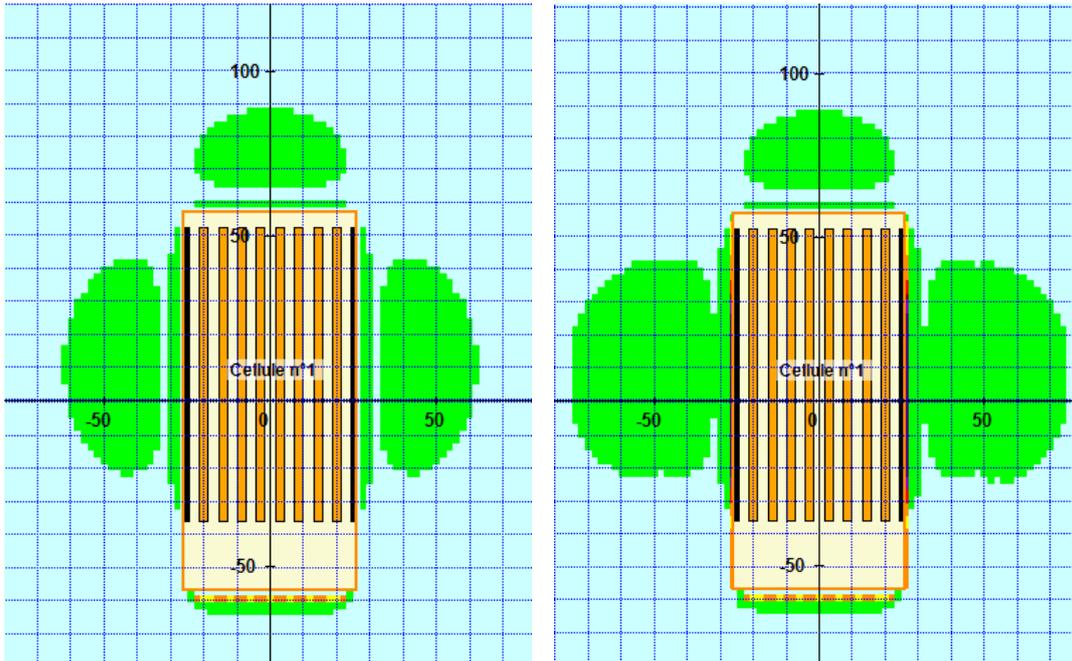


Figure 4 : Comparaison des flux thermiques pour un stockage 100 % 1510 (gauche) et un stockage 100 % 1510 + 20 % 4320 (droite) dans une cellule de 6000 m<sup>2</sup>

Pour l'ajout de 20 % d'aérosols dans un stockage de produits type 2662, l'augmentation latérale des distances correspondant aux flux de 3 kW/m<sup>2</sup> et 5 kW/m<sup>2</sup> est d'environ 10 m.

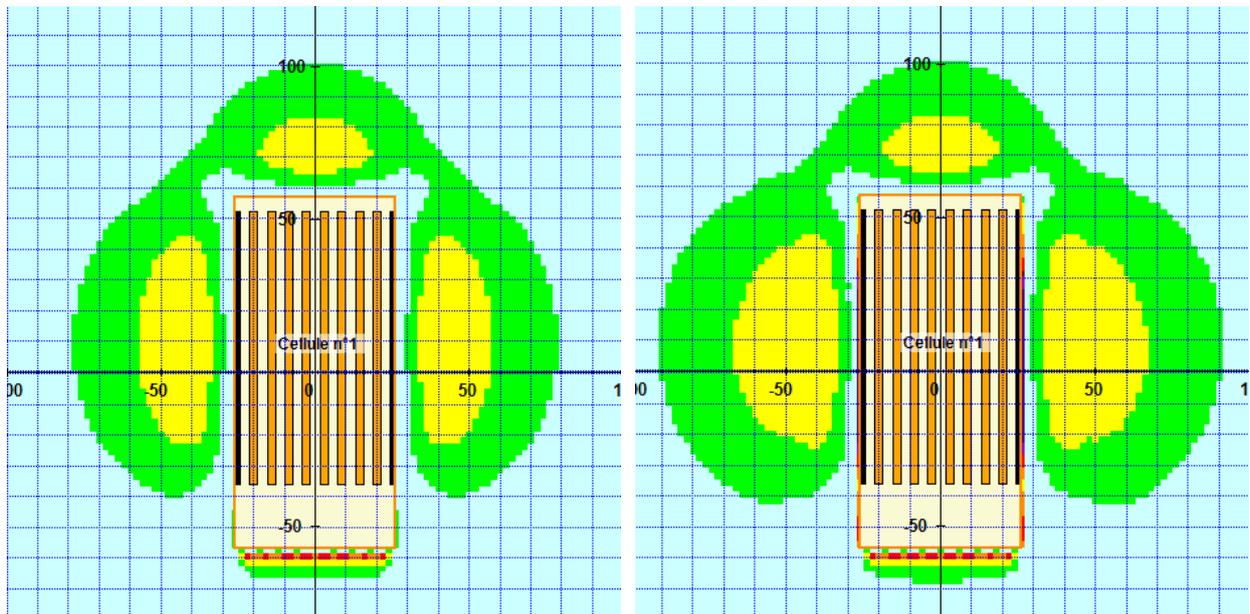


Figure 5 : Comparaison des flux thermiques pour un stockage 100 % 2662 (gauche) et un stockage 100 % 2662 + 20 % 4320 (droite) dans une cellule de 6000 m<sup>2</sup>

### 2.1.2. Cellule de 9 400 m<sup>2</sup>

Cette cellule fait 69 m de large 136 m de long, et 14,5 m de haut. Toutes les parois sont REI 120 à l'exception de la paroi des quais qui est REI 1. Le ratio longueur/largeur est donc de 1,97, Figure 2. Les simulations réalisées montrent que, pour un stockage comprenant 20 % d'aérosols supplémentaires, les distances correspondant au flux de 3 kW/m<sup>2</sup> pour un stockage de produits type 1510 sont augmentées d'environ 8 m latéralement.

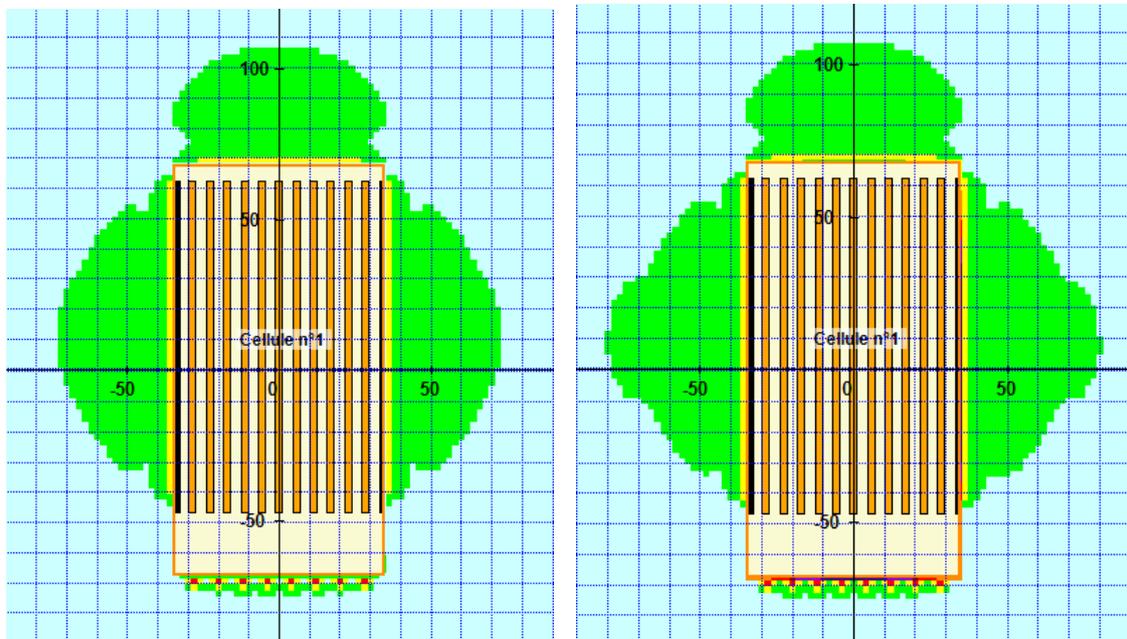


Figure 6 : Comparaison des flux thermiques pour un stockage 100 % 1510 (gauche) et un stockage 100 % 1510 + 20 % 4320 (droite) dans une cellule de 9400 m<sup>2</sup>

Pour l'ajout de 20 % d'aérosols dans un stockage de produits type 2662, l'augmentation latérale des distances correspondant aux flux de 3 et 5 kW/m<sup>2</sup> est d'environ 12 m et 2 m respectivement.

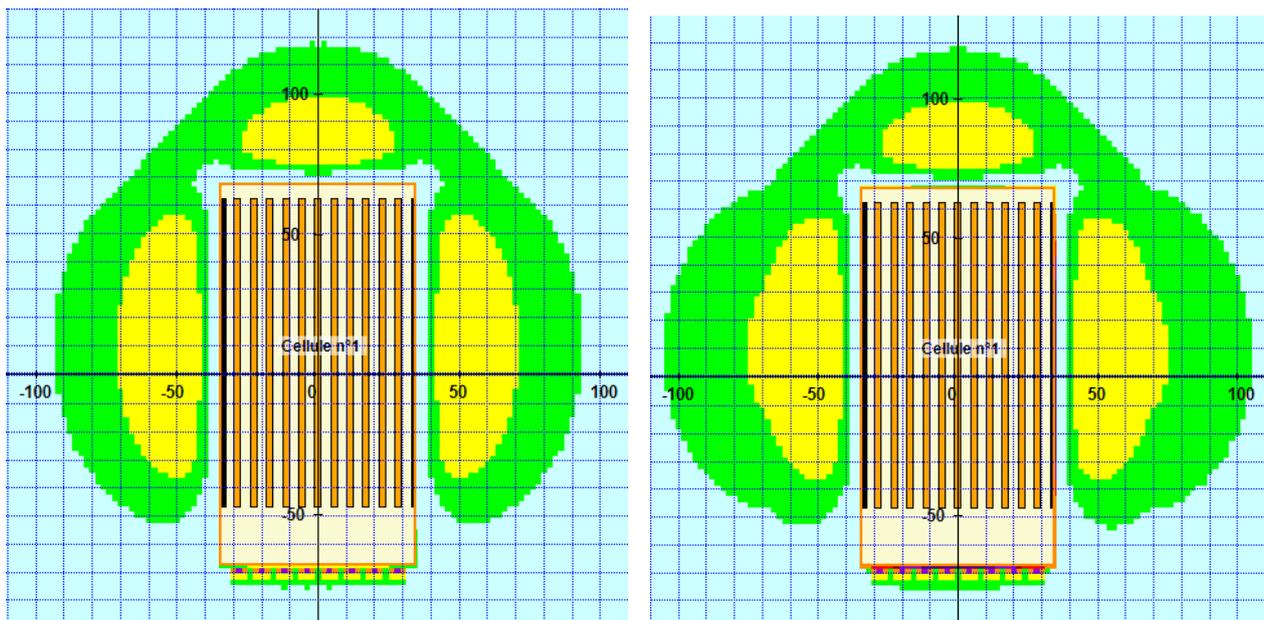


Figure 7 : Comparaison des flux thermiques pour un stockage 100% 2662 (gauche) et un stockage 100 % 2662 + 20 % 4320 (droite) dans une cellule de 9400 m<sup>2</sup>.

### 2.1.3. Cellule de 12 000 m<sup>2</sup>

Cette cellule fait 104 m de large, 115,5 m de long, et 14,5 m de haut. Toutes les parois sont REI 120 à l'exception de la paroi des quais qui est REI 1. Le ratio longueur/largeur est donc de 1,11, Figure 2. Les simulations réalisées montrent que, pour un stockage comprenant 20 % d'aérosols supplémentaires, les distances correspondant aux flux de 3 kW/m<sup>2</sup> et 5 kW/m<sup>2</sup> pour un stockage de produits type 1510 sont à peine modifiées.

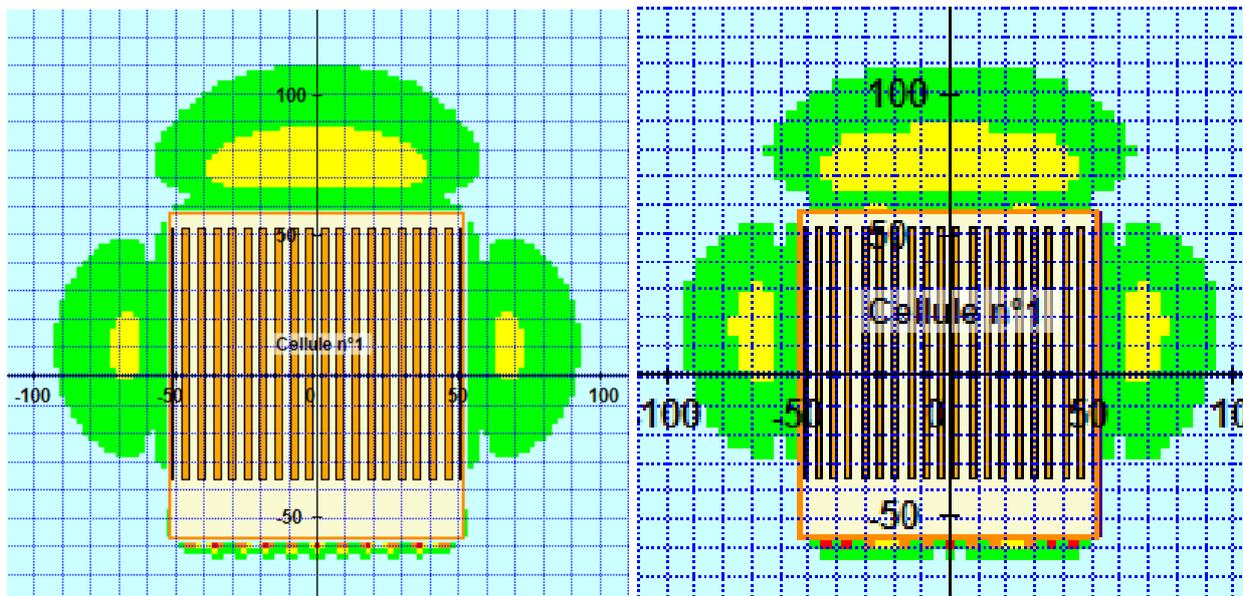


Figure 8 : Comparaison des flux thermiques pour un stockage 100% 1510 (gauche) et un stockage 100 % 1510 + 20 % 4320 (droite) dans une cellule de 12 000 m<sup>2</sup>

Pour l'ajout de 20 % d'aérosols dans un stockage de produits type 2662, l'augmentation latérale des distances correspondant aux flux de 3 et 5 kW/m<sup>2</sup> est d'environ 5 m et 3 m respectivement. Pour les flux de 8 kW/m<sup>2</sup>, les distances correspondant à ce seuil ne changent pas, seule la zone d'effets pour ce flux est légèrement modifiée.

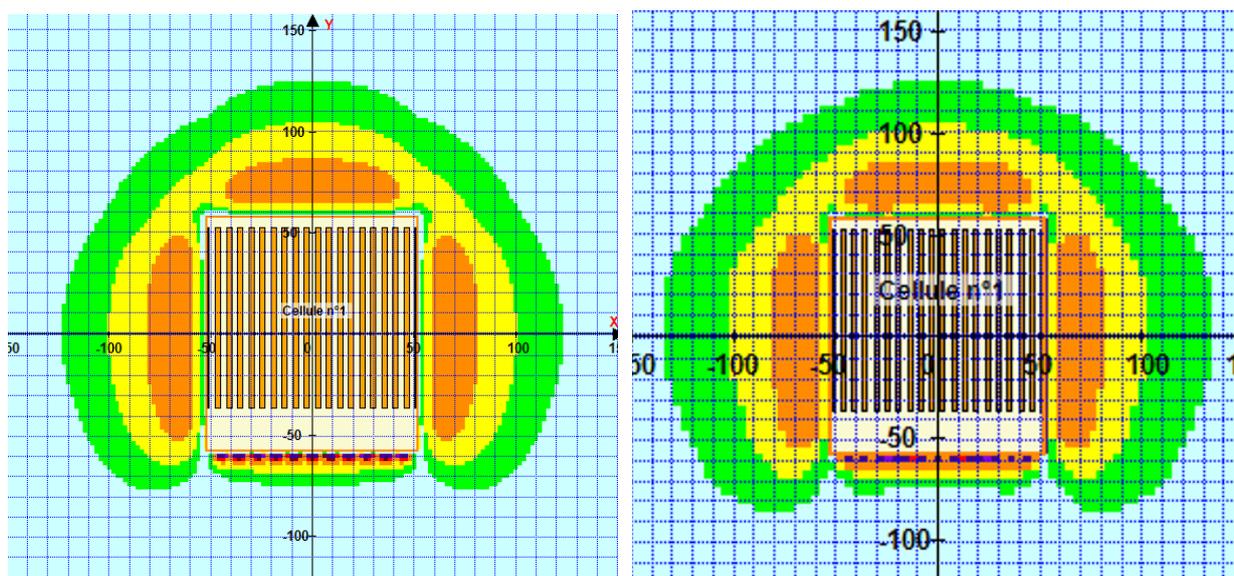


Figure 9 : Comparaison des flux thermiques pour un stockage 100% 2662 (gauche) et un stockage 100 % 2662 + 20 % 4320 (droite) dans une cellule de 12 000 m<sup>2</sup>.

Cette cellule fait 78 m de large, 154 m de long, et 14,5 m de haut. Toutes les parois sont REI 120 à l'exception de la paroi des quais qui est REI 1. Le ratio longueur/largeur est donc de 1,98, Figure 10. Les simulations réalisées montrent que pour un stockage comprenant 20 % d'aérosols supplémentaires, les distances correspondant aux flux de 3 kW/m<sup>2</sup> et 5 kW/m<sup>2</sup> pour un stockage de produits type 1510 sont peu modifiées.

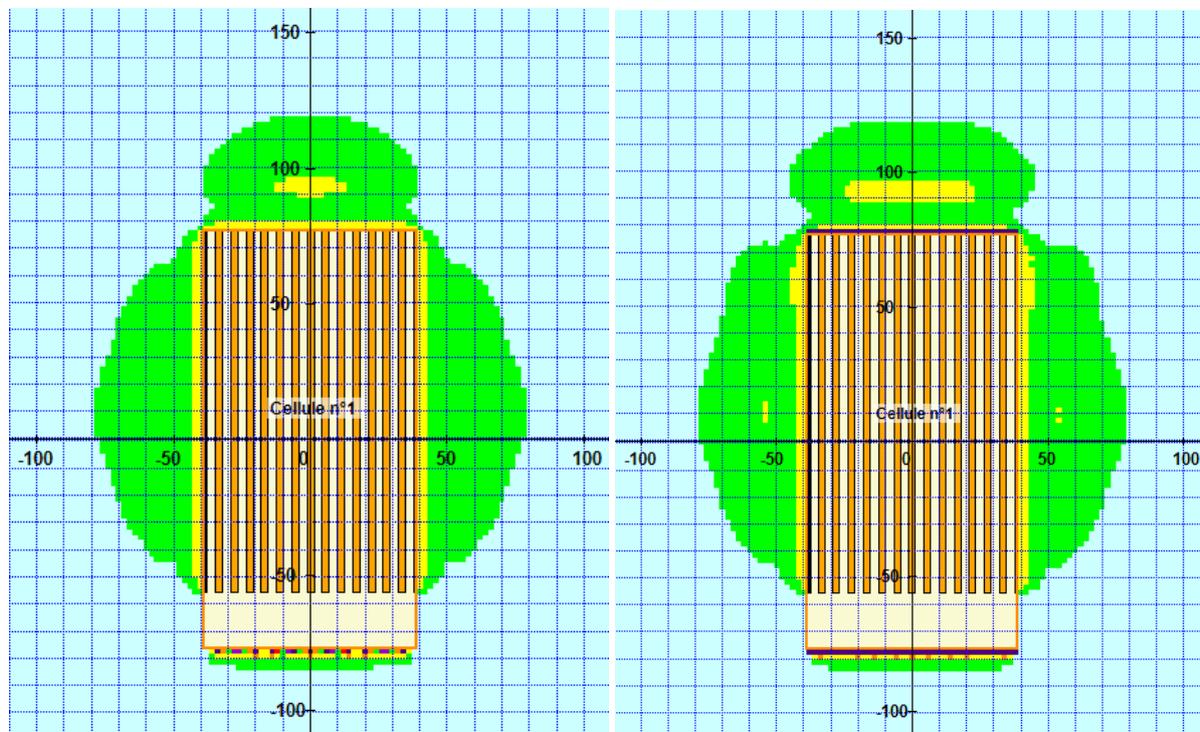


Figure 10 : Comparaison des flux thermiques pour un stockage 100% 1510 (gauche) et un stockage 100 % 1510 + 20 % 4320 (droite) dans une cellule de 12 000 m<sup>2</sup>

Pour cette configuration, le stockage des aérosols dans la cellule est présenté dans la Figure 11. Cette configuration est la plus optimale car elle éloigne les aérosols au maximum des murs et limite donc fortement leur impact sur les flux finaux.

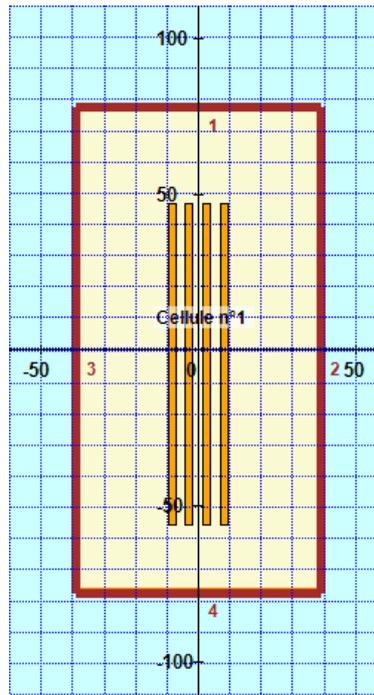


Figure 11 : Configuration de stockage idéale pour les aérosols dans une cellule de 12 000 m<sup>2</sup>

Il est donc important que le stockage des aérosols se fasse de manière à optimiser la distance entre les racks de palettes aérosols et les murs, ce qui équivaut à toujours avoir une distance constante entre les 4 faces de la zone de racks aérosols et les murs associés. Cette distance ne doit pas être inférieure à la hauteur sous bac pour respecter les hypothèses de Flumilog.

#### 2.1.4. Hauteur de stockage

Il convient de souligner que la hauteur de flamme pour les produits courant peut atteindre 2,5 fois la hauteur de stockage selon le retour d'expérience disponible et les essais réalisés dans le cadre du projet Flumilog. Pour les aérosols, les essais ont montré que la hauteur de flamme ne dépassera pas 10 m au-dessus du stockage. Par conséquent, il existe une hauteur de stockage charnière égale à 7 m pour laquelle la hauteur de flamme des produits courants peut devenir supérieure à la hauteur de flamme des produits aérosols, favorisant l'effet écran et limitant l'impact de cette dernière.

Une simulation avec une hauteur de stockage plus faible montre que l'influence des aérosols ne peut plus être négligée dans cette configuration.

Par mesure de sécurité, la hauteur de stockage doit donc être au moins de 12 mètres, ce qui correspond aujourd'hui au standard des entrepôts développés par NG Concept.

#### 2.1.5. Conclusion sur la géométrie des cellules et la nature du stockage

Les simulations réalisées montrent que pour des cellules respectant les conditions suivantes :

- ratio longueur/largeur de la cellule compris entre 0,5 et 2 ;
- stockage composé au maximum de 20% de palettes aérosols (rubrique 4320), stockées en centre de cellule (distance des racks par rapport aux parois supérieure à la hauteur sous bac) ;
- éloignement maximal des racks aérosols par rapport aux murs, c'est-à-dire équidistance des racks par rapport aux trois murs séparatifs ;
- largeur de la zone de quai supérieure à la hauteur sous bac, sinon la paroi de quai doit être REI 120 ;
- hauteur de stockage supérieure à 12 mètres.

Les flux maximums obtenus sont similaires à une cellule ne contenant que des produits dont la puissance est standard, de l'ordre des puissances des rubriques 1510 ou 2662. De plus cette organisation de stockage permet d'isoler les aérosols au centre de la cellule, limitant par la même occasion l'agression subie par les murs et donc les risques de propagation.

## 2.2. Influence des murs coupe-feu

Les simulations présentées dans les paragraphes précédents montrent que les distances associées aux flux thermiques sont peu modifiées malgré l'ajout de 20 % de palettes d'aérosols. Cependant, pour l'ensemble de ces simulations, les murs coupe-feu sont en place lorsque le feu est à son maximum.

Les règles établies au cours de cette étude ont pour objectif d'isoler les aérosols au centre de la cellule afin de limiter au maximum l'agression des murs par la flamme des aérosols, plus énergétique que celles des produits des rubriques 1510, 2662 ou autre dont la puissance est similaire. En outre, cet arrangement génère un effet écran du fait de la présence des racks de produits courants situés entre les racks de produits aérosols et les murs mais aussi, lors de la combustion de ces produits courants, du fait de la présence de la flamme et des suies émises.

La simulation sans murs, Figure 12, montre que l'influence des 20 % d'aérosols devient importante du fait de leur émittance élevée et de l'absence d'écran thermique. Par conséquent, le stockage hybride avec 20 % d'aérosols n'est envisageable qu'à la condition que la durée de tenue des murs soit garantie. Dans la mesure où la vitesse de combustion des aérosols est rapide, comme l'ont montré les essais de feu de palettes d'aérosols réalisés à l'INERIS, et afin de garantir la tenue des murs pendant cette période transitoire, il est impératif que les parois séparatives, soient, au minimum, de degré REI120.

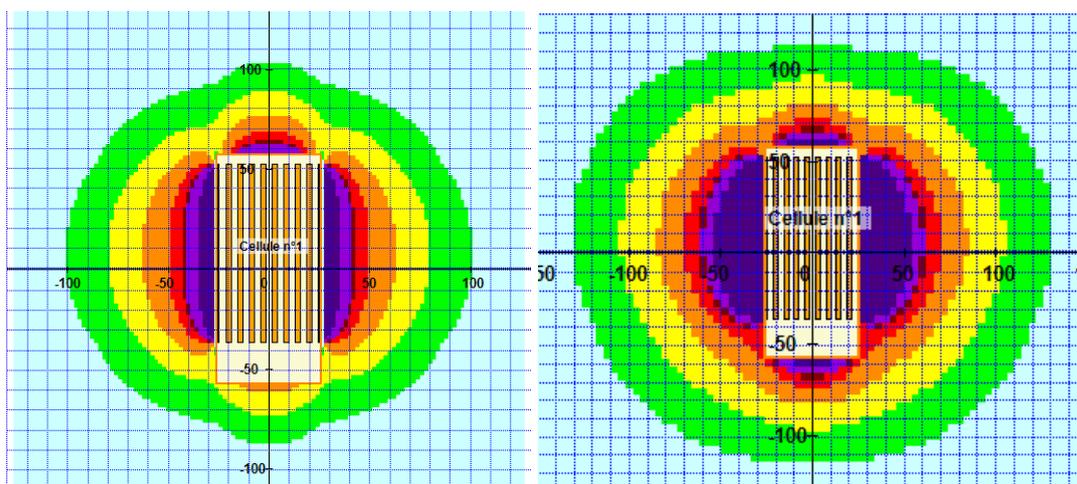


Figure 12 : Comparaison des flux thermiques pour un stockage 100 % 1510 (gauche) et un stockage 100 % 1510 + 20 % 4320 (droite) à l'air libre.

### 3. Conclusions

Les aérosols peuvent être stockés avec des produits courants en entrepôt mais ils doivent respecter des conditions de stockage spécifiques en raison de leurs propriétés de combustion, notamment en zone grillagée pour empêcher la projection d'éléments et en zone couverte par un sprinklage particulier.

En particulier, leur émittance élevée se traduit par des flux thermiques importants. Cette étude montre que les aérosols peuvent être stockés en racks classiques avec d'autres produits de puissance classique appartenant à diverses rubriques telles que les rubriques 15XX, 26XX, 41XX... sous réserve de compatibilité, dans une cellule pouvant aller jusqu'à 12000 m<sup>2</sup> sans modifier les distances des flux de manière significative. Pour cela, le stockage doit respecter certaines règles :

- ratio longueur/largeur de la cellule compris entre 0,5 et 2 ;
- stockage composé au maximum de 20% de palettes aérosols (rubrique 4320) ;
- éloignement maximal des racks aérosols par rapport aux murs, c'est-à-dire équidistance de la zone de racks par rapport aux trois murs séparatifs
- parois REI 120 ;
- largeur de la zone de quai supérieure à la hauteur sous bac, sinon la paroi de quai doit être REI 120 ;
- hauteur de stockage supérieure à 12 mètres.

Document approuvé le 05/07/2022 par BOUET REMY