



Efectis France
Espace Technologique
Bâtiment Apollo
Route de l'Orme des Merisiers
F-91193 Saint-Aubin
Tél : 33 (0)1 60 13 83 80

RAPPORT D'ÉTUDE

Référence : 23-000259-MBU
Affaire : 22-004963-ME

ETUDE DE FLUX THERMIQUES APPLIQUEE A UN BATIMENT DE GRANDE HAUTEUR DEDIE AU STOCKAGE FRIGORIFIQUE DE PRODUITS DE BOULANGERIE, DANS LA MARNE (51)

Rapport d'étude

Client demandeur Vandemoortele Bakery Products France SAS
Référence et date de commande Commande n°4502547137 du 02 Janvier 2023
Projet Stockage frigorifique grande hauteur – Site de Reims

Date : 01/02/2023
Indice de révision : A
Nombre de pages : 13

Auteur(s) :
Mathilde BRUN

SUIVI DES MODIFICATIONS

Indice de révision	Date	Modifications
A	01/02/2023	Version initiale

SOMMAIRE

1. Introduction.....	4
2. Documents de référence	5
2.1. Documents réglementaires et normatifs.....	5
2.2. Documents techniques	5
2.3. Documents fournis par le demandeur	5
3. Méthodologie FLUMilog	6
4. Présentation du bâtiment.....	7
5. Hypothèses retenues pour l'étude	9
5.1. Seuils de flux thermique applicables	9
5.2. Hauteur de cible	9
5.3. caractéristiques constructives	9
5.4. Caractéristiques de stockage	10
5.5. Données produit	11
6. Résultats d'étude.....	12
7. Conclusions	13

1. INTRODUCTION

La société VANDEMOORTELE BAKERY PRODUCTS France exploite une unité de fabrication de donuts, sur la commune de Reims dans la Marne (51).

Un projet d'extension est actuellement en cours d'étude et concerne notamment un bâtiment de stockage de grande hauteur contenant une chambre froide négative (-22°C), de 31,6 m de haut par 24 m de large et 70 m de long environ. Après construction, le site sera classé ICPE sous la rubrique 1511 au régime de la déclaration.

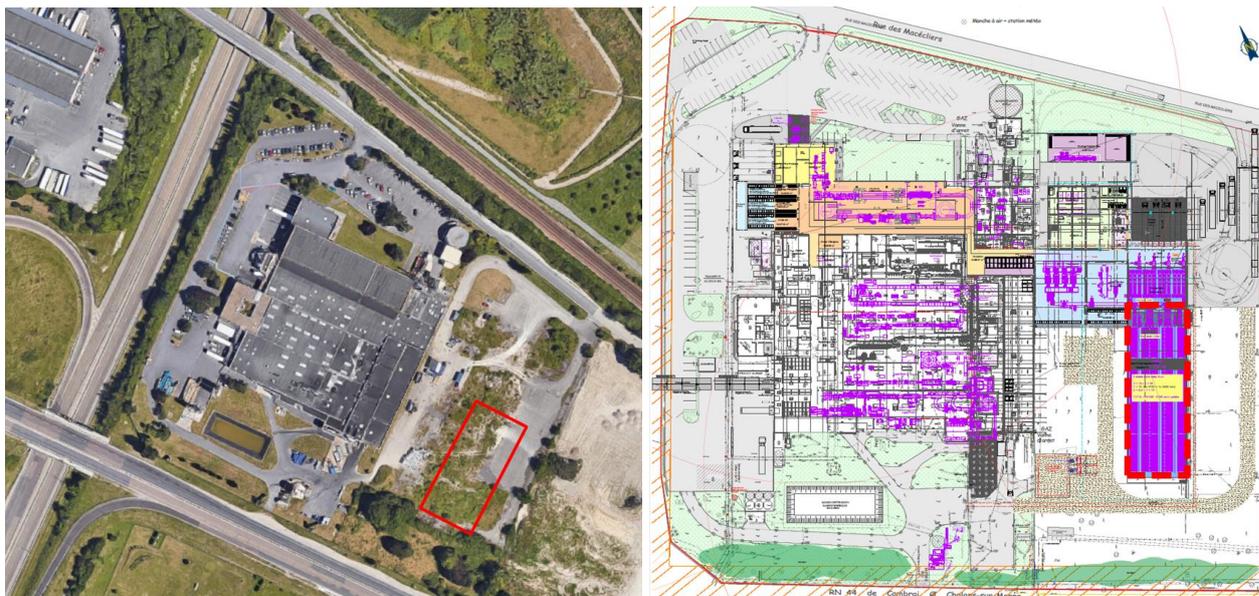


Figure 1-1 : Vue du site VANDEMOORTELE de Reims (51) et de la chambre froide à étudier

Dans le cadre de ce projet d'extension, la Société VANDEMOORTELE souhaite faire appel à Efectis pour la réalisation d'une étude de flux thermiques autour de ce bâtiment de grande hauteur. Efectis, en tant que membre du comité technique et co-développeur de l'outil FLUMilog est en mesure de proposer une démarche d'étude sécuritaire pour la représentation de stockages atypiques ou hors normes.

En effet, la hauteur du bâtiment est de 31,6 m (30 m hors sol) et la hauteur de stockage maximale de 29 m. Dans la mesure où des problématiques multiples et particulières (ruine possible des racks, murs coupe-feu, intervention des secours, etc.) entrent en jeu dès lors que des incendies sont envisagés dans des cellules de grande hauteur, l'utilisation de l'outil FLUMilog est limitée par défaut à une hauteur de 23 m.

Efectis France, faisant partie des co-développeurs de l'outil FLUMilog, est conscient des différents enjeux liés aux cellules de grandes hauteur, et a la possibilité de débloquer cette limite d'utilisation de hauteur de l'outil.

Pour compléter cette étude et dans le champ d'application de la doctrine générale n°BRTICP/2011-331/ALPB du 28/11/11, relative au classement des stockages [3], et de l'évaluation des distances d'effets thermiques autour des installations classées pour l'environnement, au moyen de la méthode FLUMilog [4][5], la Société VANDEMOORTELE a souhaité déterminer les caractéristiques de la combustion de palettes conditionnant des donuts surgelés. Ces essais, effectués par Efectis, ont fait l'objet d'un rapport distinct [6] et ont permis de déterminer les caractéristiques incendie des palettes testées, données d'entrée de la présente étude de flux thermique.

Cette étude est réalisée sur la base des informations disponibles à ce jour sur les caractéristiques constructives et sur mode de stockage dans la cellule. A l'avenir, si des modifications sur les caractéristiques constructives ou sur le mode (racks / masse) ou encore la nature de stockage (autres types de produits) étaient réalisées, une mise à jour de la présente étude sera à réaliser pour s'assurer de la représentativité et de l'aspect sécuritaire des hypothèses et résultats présentés.

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

2.1. DOCUMENTS REGLEMENTAIRES ET NORMATIFS

- [1] Arrêté du 29/09/05 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 (NOR : DEVPO540371A)
- [2] Arrêté du 27/03/14 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à déclaration sous la rubrique n° 1511 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement

2.2. DOCUMENTS TECHNIQUES

- [3] Note de doctrine Générale BRTICP/2011-331/AL-PB du 28 novembre 2011
- [4] Protocole d'essais de caractérisation de l'incendie d'une palette (rapport INERIS DRA-13-133881-07549A, mars 2014)
- [5] FLUMilog - Description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt (Version 2 – réf : DRA-09-90977-14553A)
- [6] Rapport EFECTIS 23-000033-MBU du 23/01/2023 : Essais de caractérisation sous hotte calorimétrique de la combustion de palettes selon le protocole FLUMilog – Palette de donuts surgelés

2.3. DOCUMENTS FOURNIS PAR LE DEMANDEUR

- [7] Appel téléphonique de M. Dominique SAVAJOLS, BEXI Ingénierie pour le compte de VANDEMOORTELE BAKERY PRODUCTS France, le 02/12/2022
- [8] Email de M. Dominique SAVAJOLS, BEXI Ingénierie pour le compte de VANDEMOORTELE BAKERY PRODUCTS France, le 05/12/2022, comprenant le plan « 2219-Projet Vandemoortele Reims annoté_EFECTIS.jpg » datant du 25/11/2022
- [9] Réunion d'échange pour élaboration de l'offre, EFECTIS/BEXI le 07/12/2022
- [10] Email de M. Tony SAUVAGE, BEXI Ingénierie pour le compte de VANDEMOORTELE BAKERY PRODUCTS France, comprenant le plan « 2233-VDM REIMS-230122 » et datant du 23/01/2023
- [11] Email de M. Tony SAUVAGE, BEXI Ingénierie pour le compte de VANDEMOORTELE BAKERY PRODUCTS France, le 05/12/2022, apportant des précisions sur les performances au feu des parois
- [12] Appel téléphonique de M. Antoine GUERIN et M. Tony SAUVAGE (BEXI Ingénierie) du 27/01/2023, suite au retour des premiers résultats
- [13] Réunion entre M. Antoine GUERIN et M. Tony SAUVAGE (BEXI Ingénierie) et Mme Mathilde BRUN et Mme Marie BABEAU (EFECTIS) du 31/01/2023 apportant des précisions sur la résistance de la structure, nature des parois et de la couverture.
- [14] Email de M. Tony SAUVAGE, BEXI Ingénierie pour le compte de VANDEMOORTELE BAKERY PRODUCTS France, comprenant la documentation technique des parois ainsi que le PV de réaction au feu.
- [15] Email de M. Tony SAUVAGE, BEXI Ingénierie pour le compte de VANDEMOORTELE BAKERY PRODUCTS France, comprenant le plan « 2219-VDM REIMS-SD2t-VEP 1-300.pdf » et datant du 31/01/2023

3. METHODOLOGIE FLUMILOG

La méthode de calcul FLUMilog [1] a été développée pour évaluer les flux thermiques issus d'incendies généralisés dans les entrepôts. Étant un outil réglementaire, il se doit de présenter des résultats sécuritaires mais aussi réalistes que possible dans la plupart des cas, dans l'ensemble de son domaine de validité.

Efectis, en tant que membre du Comité Technique FLUMilog est conscient de l'ensemble des hypothèses prises dans l'outil, et est capable de les adapter à des types de stockage atypiques.

La méthodologie FLUMilog impose le suivi d'une démarche sécuritaire afin de déterminer l'enveloppe des flux thermiques autour de l'incendie d'une cellule de stockage, en prenant en compte tous les paramètres pouvant avoir une influence sur les distances d'effets. Ces paramètres sont notamment les suivants :

- Caractéristiques constructives de la cellule (performance au feu de la structure, et des murs),
- Type de stockage (racks / masse), et dimensions (allées entre les zones de stockage, etc),
- Produits stockés (nature des produits, compacité),
- Et enfin, environnement de la cellule : si présence d'autres cellules adjacentes, il peut y avoir des risques de propagation de l'incendie, et donc d'augmentation de l'intensité des flux thermiques.

De plus, l'outil prend notamment en compte les deux hypothèses suivantes :

- Les racks à l'intérieur des cellules en feu restent en place ;
- La hauteur des flammes peut atteindre jusqu'à 2,5 fois la hauteur des racks.

En effet, la première de ces hypothèses est faite sur la base d'un retour d'expérience suite à des incendies d'entrepôts où il a parfois été observé qu'une partie des racks restait en place, généralement pour des hauteurs jusqu'à 5 m ou 6 m maximum ; à ces hauteurs, les contraintes mécaniques sur les racks sont relativement faibles.

La seconde hypothèse a été faite sur la base d'observations dans le cadre du programme FLUMilog, lors d'essais grandeur nature de cellules de stockage présentant une surface de l'ordre de 1 000 m² maximum et une hauteur allant jusqu'à 12 m.

Conserver ces deux hypothèses pour traiter des cas de **cellules de très grande hauteur apparait sécuritaire**.

Cet aspect sécuritaire étant connu, il existe une limite pratique (stockage maximal à 23 m de haut) à l'utilisation du logiciel pour les utilisateurs (non développeurs) du logiciel. Cette limite est mise en place pour que seuls des utilisateurs avertis, conscients de l'aspect sécuritaire et des limites du système prennent en compte des hauteurs très importantes. En effet, des problématiques multiples et particulières (ruine possible des racks, murs coupe-feu, intervention des secours, etc.) entrent en jeu dès lors que des incendies sont envisagés dans des cellules de grande hauteur

Efectis France, faisant partie des co-développeurs de l'outil FLUMilog, est conscient des différents enjeux liés aux cellules de grande hauteur, et a la possibilité de débloquent cette limite d'utilisation de hauteur de l'outil. Ainsi, dans le cadre de cette prestation, Efectis France intervient afin d'étendre le domaine d'utilisation de l'outil FLUMilog à un stockage présentant une hauteur supérieure à 23 m.

Plus généralement, Efectis propose la définition d'hypothèses de modélisation, en prenant bien en compte toutes les spécificités qu'elles impliquent, afin de toujours rester dans une démarche sécuritaire. L'ensemble de ces hypothèses sont détaillées dans le présent rapport.

4. PRESENTATION DU BATIMENT

Le bâtiment objet de l'étude ne comporte qu'une seule cellule et présente une longueur de 70 m et une largeur de 24 m, soit une surface de 1680 m² pour une hauteur de 31,6 m, dont 30 m hors sol. Il se situe à environ 31 mètres de la limite est de propriété Est et 47 mètres de sa limite Sud.

La structure du bâtiment est constituée par des racks autoporteurs présentant une résistance au feu de 15 min (R15) [13]. La toiture et les parois extérieures du bâtiment sont en panneaux sandwich (PU) Isocab quad Core 200mm, présentant une performance EI60 [14]. La surface d'exutoire en toiture est de 0%. Aucune porte de quai n'est présente (convoyage des palettes vers bâtiment voisin).

Les figures ci-dessous présentent les caractéristiques de stockage. La hauteur maximale de stockage est de 29 mètres. Il y a 10 niveaux de stockage, répartis en 16 x 38 emplacements soit 6 080 emplacements palettes. Celles-ci sont disposées dans le stockage avec la longueur dans le sens Nord-Sud, il s'agit d'une orientation de stockage relative aux transstockeurs, et considérée atypique par rapports au mode de stockage en racks classiques qui accueillent habituellement les palettes dans l'autre sens. Les palettes stockées ont pour dimension 1,2 m x 0,8 m x 1,92 m et correspondent aux palettes testées lors des essais de caractérisation [6].

Une représentation du stockage en rack est donnée en Figure 4-1 et Figure 4-2.

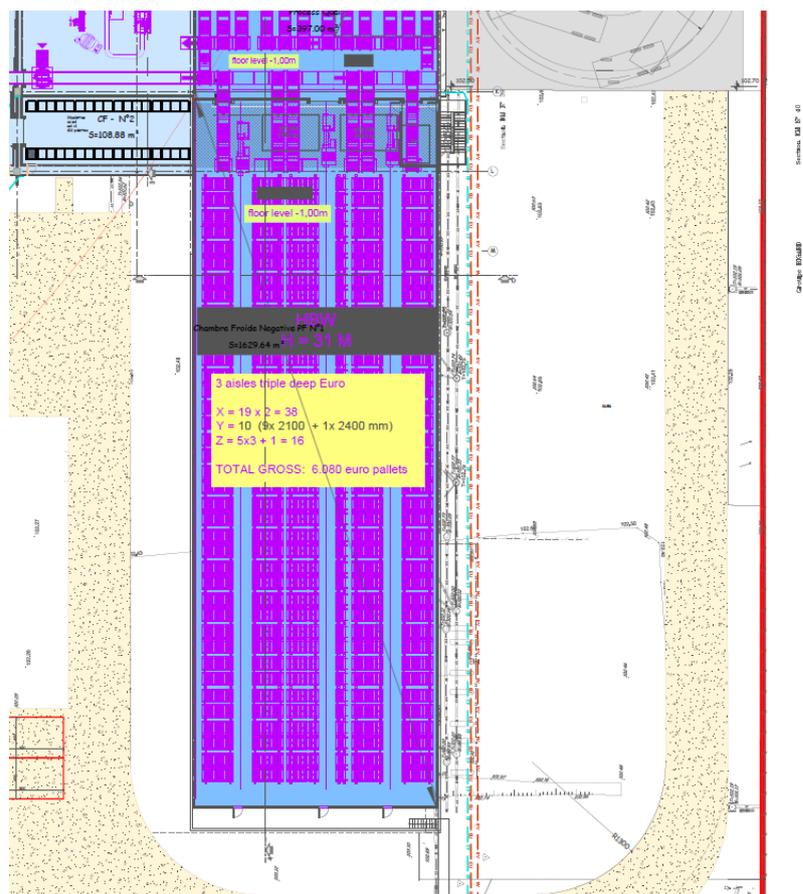


Figure 4-1 : Plan du futur bâtiment [15]

5. HYPOTHESES RETENUES POUR L'ETUDE

Les paragraphes ci-après présentent les hypothèses retenues pour la représentation de la cellule grande hauteur dans l'outil FLUMilog. Certaines données d'entrée ont été adaptées, suivant une démarche sécuritaire, pour permettre une modélisation pertinente, et suivant les spécificités de l'outil.

5.1. SEUILS DE FLUX THERMIQUE APPLICABLES

Suivant la réglementation applicable aux seuils de flux thermiques pour les entrepôts classés sous la rubrique ICPE 1511 [2], le seuil étudié est **5 kW/m²** soit le seuil des effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine mentionnés à l'article L.515-16 du code de l'environnement. Ces effets létaux doivent être contenus dans l'enceinte du site, la valeur de 5 kW/m² ne doit donc pas être dépassée en limite de propriété.

5.2. HAUTEUR DE CIBLE

La dalle du bâtiment étant située 1,6 mètre sous le niveau du terrain naturel, la hauteur de cible retenue est de 3,4 mètres, pour correspondre à une hauteur d'Homme de 1,8 mètre en bordure de bâtiment et au niveau de la limite de propriété.

5.3. CARACTERISTIQUES CONSTRUCTIVES

Pour l'ensemble de la définition des caractéristiques constructives, les parois sont numérotées comme suit :

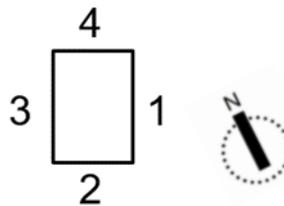


Figure 5-1 : Numérotation des parois

Les dimensions des cellules sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Dimensions de la cellule	
Dimensions parois 1 et 3 (m)	70
Dimensions parois 2 et 4 (m)	24
Hauteur (m)	31,6
Surface (m ²)	1680

Tableau 5-1 : Caractéristiques de cellule

Le tableau ci-dessous synthétise les caractéristiques de toiture retenues pour la cellule.

Toiture et désenfumage	
Résistance au feu des poutres (min)	15
Résistance au feu des pannes (min)	15
Matériaux constituant la couverture	Panneau sandwich PU
% d'exutoires en surface utile	0

Tableau 5-2 : Caractéristiques de toiture

Les tableaux ci-après synthétisent les caractéristiques constructives de la structure et des parois retenues pour la cellule. Pour tenir compte de la partie encaissée du bâtiment, la partie basse des parois est représentée à l'aide d'un équivalent béton avec une performance supérieure à la durée de l'incendie (arbitraire 200 min).

Parois	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4
Structure support	Autostable			
Résistance au feu de la structure support (min.)	Partie haute : 15 Partie basse : 200			
Matériau constituant la paroi	Partie haute : 30 m Panneaux sandwich PU Partie basse : 1,6 m en terre Béton			
Étanchéité aux gaz chauds (min.)	Partie haute : 60 Partie basse : 200			
Critère d'isolation de paroi (min.)	Partie haute : 60 Partie basse : 200			
Résistance des fixations (min.)	Partie haute : 60 Partie basse : 200			
Portes de quai	/			

Tableau 5-3 : Caractéristiques constructives

5.4. CARACTERISTIQUES DE STOCKAGE

Le stockage réel est un transstockeur présentant un stockage par accumulation. Il a été représenté dans l'outil Flumilog par un stockage en double rack équivalent. De plus, les palettes sont stockées avec leur longueur dans le sens de la longueur usuelle des stockages en racks. Cette disposition n'est pas modélisable en l'état dans l'outil FLUMilog. En conséquence, la largeur de double rack a été ajustée afin de conserver le nombre de palettes et les largeurs d'allées ont été adaptées. Il s'agit d'une hypothèse sécuritaire, qui permet de conserver par la suite les dimensions réelles de la palette.

Les caractéristiques de stockage sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Stockage	
Longueur de stockage (m)	60
Nombre de doubles racks	5
Nombre de racks simples	0
Nombre de niveaux de stockage	10
Largeur d'un double rack (m)	2.4
Largeur d'un rack simple (m)	1.2
Largeur des allées entre les racks (m)	3
Déport A (m)	7.5
Déport B (m)	2.5
Déport α (m)	0
Déport β (m)	0
Hauteur de stockage (m)	29
Produits stockés	palette exp.

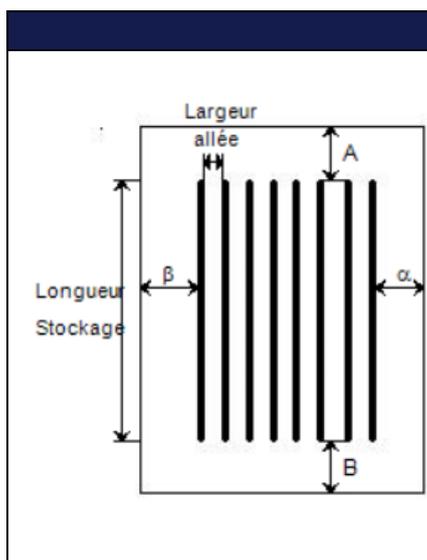


Tableau 5-4 : Caractéristiques de stockage de la cellule

Note : la cellule ne comporte pas de portes de quai.

5.5. DONNEES PRODUIT

Les données produit sont issues du rapport d'essai [6]. Sont retenues les caractéristiques suivantes :

Données palette	
Puissance (kW)	1100
Durée conservatoire (min)	53
Longueur	1,2
Largeur	0,8
Hauteur	1,92

Tableau 5-5 : Caractéristiques du produit

6. RESULTATS D'ETUDE

Dans le cas de cellules de grande hauteur (hauteur de stockage supérieure à 23 m), et compte tenu des différents enjeux entrant en compte (voir §3), il convient de réaliser une étude paramétrique préalable afin de s'assurer du caractère sécuritaire des résultats par rapport à la méthode de calcul initialement définie pour les cellules de hauteur standard.

Les résultats présentés dans les paragraphes ci-après tiennent bien compte de l'étude paramétrique réalisée par Efectis, et sont sécuritaires vis-à-vis de la grande hauteur de stockage.

La figure ci-dessous présente les distances d'effets de flux thermiques issus de la cellule de stockage à hauteur d'Homme (3,4 m). La durée d'incendie associée est de 157 min.

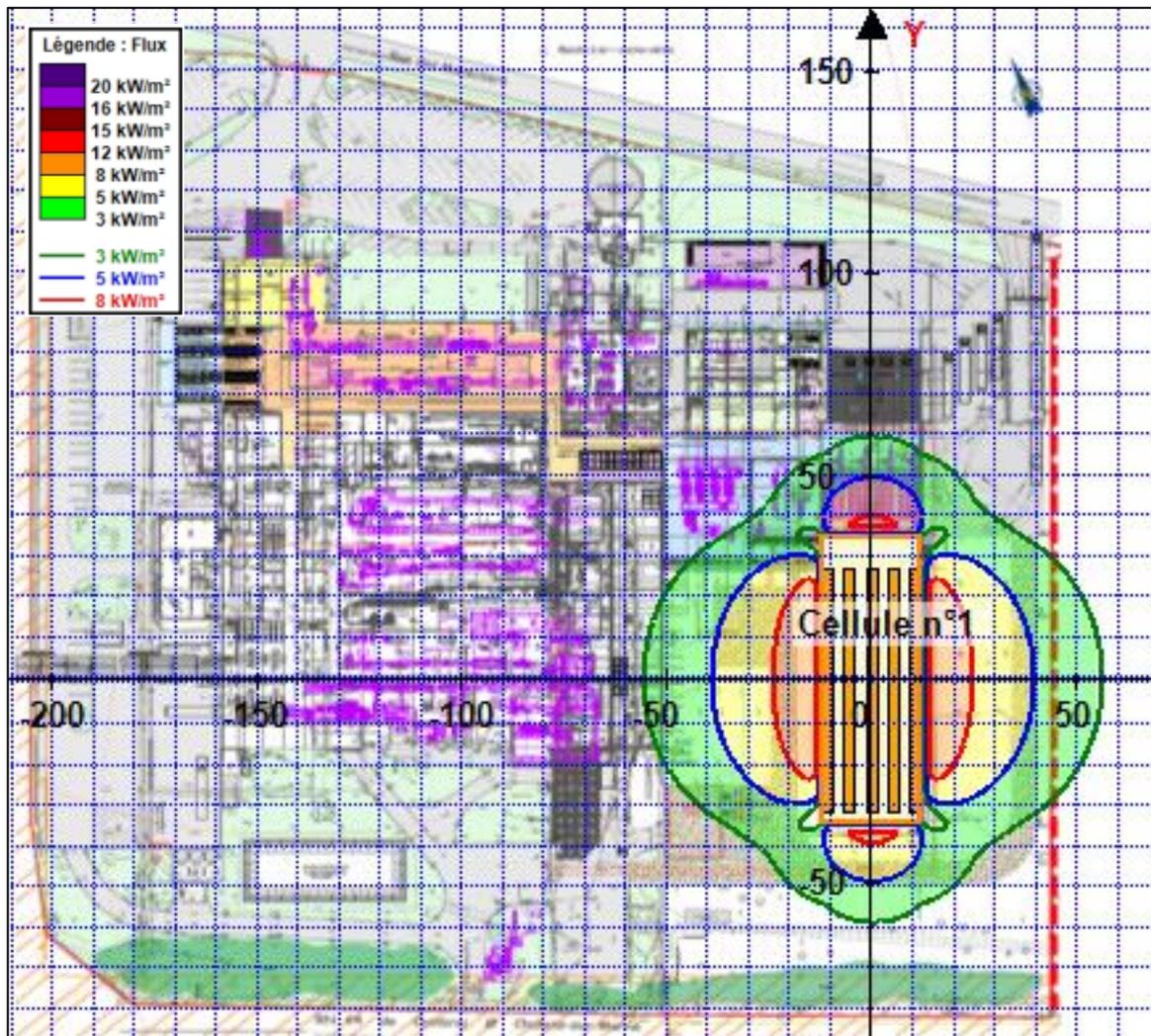


Figure 6-1 : Distances d'effets de flux thermiques

On observe que les flux thermiques supérieurs à 5 kW/m² sont bien contenus dans les limites de propriété (indiquées par les pointillés rouges).

7. CONCLUSIONS

Ce rapport s'est attaché à présenter l'étude de flux thermiques appliquée au projet de création d'un bâtiment de stockage pour la société VANDEMOORTELE.

La donnée d'entrée concernant les caractéristiques de combustion réelles de la palette type stockée (donuts surgelés) a fait l'objet d'essais sous hotte calorimétrique, avec un rapport spécifique [6].

Les hypothèses définies pour la représentation de la cellule et son mode de stockage ont été établies sur la base des données d'entrée disponibles, et tiennent compte des spécificités de l'outil FLUMilog.

Les calculs ont été réalisés afin de définir les distances d'effets à hauteur d'homme, tenant compte du niveau auquel se situe le bâtiment.

Les calculs réalisés ont finalement permis de montrer que l'ensemble des flux thermiques supérieurs au seuil de 5 kW/m² sont contenus à l'intérieur des limites de propriété à hauteur d'Homme.

Note :

Cette étude est réalisée sur la base des informations disponibles à ce jour sur les caractéristiques constructives et sur mode de stockage dans la cellule. A l'avenir, si des modifications sur les caractéristiques constructives ou sur le mode (racks / masse) ou encore la nature de stockage (autres types de produits) étaient réalisées, une mise à jour de la présente étude sera à réaliser pour s'assurer de la représentativité et de l'aspect sécuritaire des hypothèses et résultats présentés.