

BUREAU VERITAS
Service Maîtrise des Risques HSE
Bâtiment n°4
Square Henri Laborit
60 471 COMPIEGNE
Tél. : 03 44 20 02 85 - Fax : 03 44 23 30 20

Votre Contact: Bureau Veritas :

Salvatore CAPUANO
Email : salvatore.capuano@fr.bureauveritas.com
06.75.47.68.33

A l'attention de :

Mme DELOZANNE
a.delozanne@betalena.com
Tél : 03 26 86 77 26



Assistance Conseil Réglementation ICPE
Modélisation des Flux thermiques

BET ALENA
Parc d'affaires TGV Reims-Bezannes
67 rue Louis Néel
51430 BEZANNES

Version rapport	0	1	2
Date rapport	11/05/2016		
Rédigé par	Salvatore CAPUANO		

La reproduction de ce rapport de bilan de classement n'est autorisée que sous sa forme intégrale.
Ce rapport comporte 15 pages

*Avançons en confiance

BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	---	-----------------

SOMMAIRE

1.	<i>INTRODUCTION.....</i>	<i>3</i>
2.	<i>VALEURS DE REFERENCE</i>	<i>4</i>
3.	<i>METHODOLOGIE VERIFLUX.....</i>	<i>5</i>
4.	<i>MODELISATIONS</i>	<i>10</i>
I.	CHOIX DES HYPOTHESES	10
II.	RESULTATS.....	11
III.	REPRESENTATION GRAPHIQUE.....	12

BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	--	-----------------

1. INTRODUCTION

Afin de compléter son dossier de demande d'Enregistrement et suite à une demande de l'inspection des ICPE, la société BET ALENA nous demande de réaliser des modélisations des flux thermiques pour son client FLOREPI à Guignicourt (02).

L'objectif de cette mission est d'évaluer les conséquences possibles sur l'environnement du site d'un incendie de 3 zones spécifiques de FLOREPI :

- Zone de Stockage journalier
- Chambre froide
- Zone d'Emballage

Les caractéristiques des stockages et de la configuration des locaux ont été transmises par BET ALENA.

Nota :

Principales correspondances entre les appellations relatives au degré coupe-feu des constructions (Arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages) :

- R au lieu de SF, RE au lieu de PF, REI au lieu de CF, associé à un degré de performance (exemple : l'appellation REI 120 remplace l'appellation CF 2h)
- Broof (t3) au lieu de T30/1
- A1 pour M0
- Etc.

BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	--	-----------------

2. VALEURS DE REFERENCE

Les valeurs de référence pour les installations classées sont les suivantes (arrêté ministériel du 29 septembre 2005) :

	Valeurs	Commentaires
Effets sur l'homme	8 kW/m ² ou 1 800 [(kW/m ²) ^{4/3}].s	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement.
	5 kW/m ² ou 1 000 [(kW/m ²) ^{4/3}].s (zone Z1)	Seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement. => zone dans laquelle il convient de limiter l'implantation de constructions ou d'ouvrages concernant notamment des tiers
	3 kW/m ² ou 600 [(kW/m ²) ^{4/3}].s (zone Z2)	Seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine ». => zone dans laquelle il est possible d'autoriser la construction de maisons d'habitation ou d'activité économique à l'exclusion toutefois d'aménagements et de constructions destinés à recevoir du public dont l'évacuation pourrait se trouver compromise
Effets sur les structures	Contact des flammes ou 200 kW/m ²	Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.
	20 kW/m ²	Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures, correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton.
	16 kW/m ²	Seuil d'exposition prolongée des structures, correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures (hors structures béton).
	8 kW/m ²	Seuil des effets dominos correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures.
	5 kW/m ²	Seuil significatif de destructions des vitres

BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	--	-----------------

3. METHODOLOGIE VERIFLUX

L'évaluation du niveau de risque réalisée ci-après suppose qu'il n'y ait aucune intervention des services d'incendie et de secours, ce qui est extrêmement majorant.

La méthode de calcul employée tient compte des caractéristiques de la surface en feu et de la nature des produits mis en jeu. Elle permet également de prendre en compte de la présence de dispositions constructives assurant une limitation des flux rayonnés (murs coupe-feu) si concerné.

Elle repose sur le modèle de la flamme solide : la flamme est vue soit comme un radiateur plan vertical (foyer de section rectangulaire) soit comme un cylindre vertical (foyer de section circulaire).

Les calculs sont réalisés à l'aide du logiciel VERIFLUX V3.0 développé par Bureau Veritas sur la base des corrélations présentées ci-après.

Équation générale

La radiation thermique reçue par une cible est donnée par la relation suivante :

$$\phi = \phi_0 \times F \times \tau$$

avec :

- ϕ : flux thermique reçu par la cible (kW/m²)
- ϕ_0 : flux thermique émis en surface de la flamme (kW/m²)
- F : facteur de vue (sans dimension)
- τ : transmission atmosphérique (sans dimension)

Pour calculer ce flux, il faut, au préalable, déterminer les caractéristiques du feu qui sont :

- le diamètre équivalent de la nappe en feu, Deq
- la vitesse de combustion (ou débit massique surfacique de combustion), m''
- la hauteur de la flamme, H_f

Diamètre équivalent de la nappe en feu : Deq (m)

Pour le calcul de la hauteur des flammes pour les feux non circulaires, il est nécessaire de calculer le diamètre équivalent :

$$Deq = 4 \frac{S_f}{P_f}$$

avec :

- Deq : diamètre équivalent (m)
- S_f : surface de la nappe en feu (m²)
- P_f : périmètre de la nappe en feu (m)

Selon les recommandations de l'INERIS, dans le cas des foyers très allongés, pour lesquels le rapport longueur/largeur est supérieur à 2, le diamètre équivalent est pris égal à la largeur du foyer.

Nota : Dans le modèle employé, l'incendie est considéré comme uniforme, c'est-à-dire généralisé, plein régime, et la surface du foyer est supposée constante pendant toute la durée de l'incendie et égale à la surface totale considérée. Ces hypothèses qui font abstraction de la cinétique d'évolution du feu sont majorantes.

BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	--	-----------------

Débit massique surfacique de combustion : m'' (kg/m².s)

Le débit massique surfacique de combustion d'un produit, noté m'' , représente la quantité de combustible participant à l'incendie par unité de temps et de surface de combustible au sol.

Le débit de combustion d'un certain nombre de composés courants a été déterminé expérimentalement (essais en Tewarson).

Les valeurs utilisées dans la présente étude, issues de la littérature, sont les suivantes :

Matériaux	Taux de combustion (g/m ² .s)	Source
Bois (palettes conditionnées), papier, carton	14	SFPE - Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition
Bois (palettes vides)	60	INERIS – TE EDD Entrepôt BOCQUET LOGISTIC – Nov. 1999
Liquides inflammables	60	DREAL – EDD Hempel France SA – Fev. 2009
Peintures solvantées, colles...	45	INERIS - TE Plate forme logistique MANUTAN SA - Janvier 02
Polyéthylène	26	SFPE – Handbook of Fire Protection Engineering – Third Edition
Entrepôt	30	INERIS – TE EDD Plate-forme logistique MANUTAN SA – Janv. 2002

⁽¹⁾ Cas d'un incendie parfaitement ventilé, généralisé à toute la surface.

BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	--	-----------------

Hauteur de flamme : Hf (m)

La hauteur de la flamme est calculée selon la corrélation de THOMAS, valable en l'absence de vent :

$$H_f = 42 D_{eq} \left[\frac{m''}{\rho_a (g D_{eq})^{0.5}} \right]^{0.61}$$

avec :

Hf : hauteur de la flamme (m)

Deq : diamètre du feu circulaire ou diamètre équivalent du feu non circulaire (m)

m'' : débit massique surfacique de combustion massique (kg/(m².s))

ρ_a : densité de l'air ambiant (kg/m³) – ρ_a = 1,22 kg/m³ à 15°C

g : accélération de la pesanteur (m/s²) – g = 9,81 m/s²

La valeur calculée par le logiciel VERIFLUX V3.0 est la hauteur d'une flamme dont la base se situerait au niveau du sol.

Coefficient de transmission atmosphérique : τ (sans dimension)

La radiation de la flamme vers l'environnement est partiellement atténuée tout au long de son parcours dans l'air. Ceci est le fait de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone et des poussières qui absorbent et dissipent une partie des radiations émises. La vapeur d'eau est le principal facteur d'absorption.

Le coefficient de transmission atmosphérique (τ) correspond donc à la fraction de chaleur transmise à l'atmosphère.

Ce coefficient de transmission peut être déterminé à l'aide d'abaque, comme une fonction de la distance et de l'humidité relative de l'air. Nous avons retenu le modèle de Brzustowski et Sommer :

$$\tau = 0.79 \left(\frac{100}{RH} \right)^{1/16} \left(\frac{30.5}{d} \right)^{1/16}$$

avec :

□ : coefficient de transmission atmosphérique (sans dimension)

RH : taux d'humidité de l'air (%), pris égal à 70% – valeur raisonnablement pessimiste et représentative des valeurs moyennes relevées en France

d : distance entre le centre de la flamme et la cible (m)

BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	--	-----------------

Facteur de vue (ou facteur de forme) : F (sans dimension)

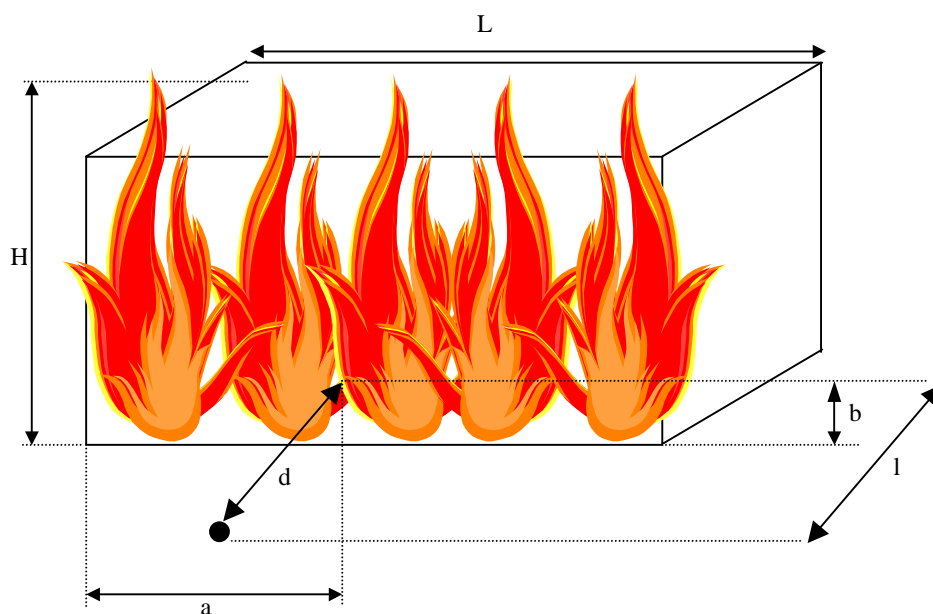
Le facteur de vue F, fonction de l'angle solide sous lequel la cible reçoit le rayonnement, a été évalué selon la méthodologie développée dans l'ouvrage Yellow Book – rapport TNO CPR 14E, édition 1997, Chapitre 6 « Heat flux from fires ». Il a été tabulé en fonction de la géométrie de l'émetteur et des positions respectives de l'émetteur et de la cible, pour une cible verticale.

Le flux thermique reçu par un point situé face à un mur de flamme varie selon :

- la distance entre le récepteur et le mur de flamme (d) ;
- la hauteur de la cible par rapport au sol (c'est-à-dire base de la surface en feu) (h) ;
- la distance entre l'extrémité latérale du mur de flamme et la perpendiculaire au point concerné (a).

Tous paramètres étant égaux par ailleurs, le flux thermique est maximum au niveau de la médiatrice du mur de flamme ($a = L/2$) et minimum aux extrémités latérales ($a = L$).

Dans le cas où un mur coupe-feu, constituant un écran de protection est interposé, le facteur de vue est modifié pour tenir compte de ce mur coupe-feu. Il en est de même si le foyer n'est pas à la même hauteur que la cible.



Hauteur de la cible

Pour les effets sur l'homme, la cible est prise à 1,80 m de hauteur ce qui correspond à une situation légèrement majorante par rapport à la hauteur moyenne du visage d'un homme.

BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	--	-----------------

Flux émis en surface de la flamme : ϕ_0 (kW/m²)

Le pouvoir émissif (ou émittance) de la flamme est estimé :

- soit à partir de valeurs expérimentales disponibles dans la littérature (TNO, INERIS) – quelques valeurs sont données dans le tableau 3 ci-après ;
- soit en supposant un pouvoir émissif moyenné sur toute la hauteur des flammes, le plus souvent pris aux alentours de 30 kW/m² pour les grands feux pétroliers (> 2000 m²) (INERIS – Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA-006) – □□□ – Modélisation d'un incendie affectant un stockage d'aérosols – Septembre 2002) ;
- soit, pour les feux très fumigènes, à partir de la relation de Mudan (MUDAN – Fire Hazards Calculations for large open hydrocarbon fires), rappelée ci-dessous :

$$\Phi_0 = 140 \exp(-0.12Deq) + 20(1 - \exp(-0.12Deq))$$

avec :

ϕ_0 : pouvoir émissif de la flamme (kW/m²)
Deq : diamètre équivalent de la surface en feu (m)

Cette corrélation rend compte de la diminution de ϕ_0 avec l'augmentation de la surface en feu, en raison, principalement, de la recrudescence des imbrûlés (suies) et donc de l'obscurcissement de la flamme. Elle a été établie notamment à partir de feux de kérosène ou de GPL et n'est adaptée qu'à des feux produisant des suies en quantités significative.

Elle est utilisée, par extrapolation, aux feux moyennement fumigènes, de combustibles solides et de liquides inflammables, mais en prenant comme valeur limite, pour les foyers de diamètre équivalent supérieur à 20 m, $\phi_0 = 30$ kW/m².

➔ Dans le cas des produits combustibles non gazeux (les aérosols sont donc exclus), l'émittance moyenne de la flamme est donc évaluée en appliquant la formule de Mudan.

Matériaux	Radiance de flammes (kW/m ²)	Source
Bois (palettes conditionnées), papier, carton	23,8	DRYSDALE - An introduction to fire dynamics - 2nd edition
Bois vides (palettes)	30	INERIS – TE EDD Entrepôt BOCQUET LOGISTIC – Nov. 1999
Liquides inflammables	40	DREAL – EDD Hempel France SA – Fev. 2009
Polyéthylène	26	SFPE – Handbook of Fire Protection Engineering – Third Edition
Entrepôt	30	INERIS – TE EDD Plate-forme logistique MANUTAN SA – Janv. 2002

⁽¹⁾ Cas d'un incendie parfaitement ventilé, généralisé à toute la surface.

Nota : Les valeurs citées dans la littérature ont été obtenues sur feux bien oxygénés, au stade initial d'expansion de l'incendie. Elles peuvent donc être supérieure à la valeur moyenne de 30 kW/m² usuellement retenue pour les entrepôts de stockage par extrapolation de la formule de Mudan.

BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	--	-----------------

4. MODELISATIONS

I. CHOIX DES HYPOTHESES

Stockage modélisé	Surface (Longueur x largeur)	Présence ou non de mur coupe-feu 2H	Caractéristiques du stockage	Données d'entrée VERIFLUX
Chambre froide	177 m ² (15 m x 11,8)	Non	127 palettes de produits finis avec une palette type : 25 kg bois + 250 kg de pâtisseries + 41 palettes de matières premières avec une palette type : 25 kg bois + 200 kg de matières premières surgelées Stockage en rack avec une hauteur maxi de 5,90 m.	*Vitesse de combustion : 30 g/m ² .s *Radiance de flammes : 30 kw/m ² **Hauteur de la flamme : 13 m
Stockage journalier	142,2 m ² (18 m x 7,9)	Non	5 palettes d'emballages en carton avec une palette type : 25 kg bois + 200 kg de carton + 55 palettes d'emballages en plastique avec une palette type : 25 kg bois + 150 kg de plastique Stockage en rack avec une hauteur maxi de 4,20 m.	*Vitesse de combustion : 30 g/m ² .s *Radiance de flammes : 30 kw/m ² **Hauteur de la flamme : 9 m
Emballage	174 m ² (17,4 m x 10)	Mur coupe-feu En façade Ouest et Nord (à 4,5 m de la face Nord) sur une hauteur de 5,5 m	30 palettes d'emballages en carton avec une palette type : 25 kg bois + 200 kg de carton + 6 palettes d'emballages en plastique avec une palette type : 25 kg bois + 150 kg de plastique Stockage en masse avec une hauteur maxi de 3m car présence d'un plénum technique	*Vitesse de combustion : 30 g/m ² .s *Radiance de flammes : 30 kw/m ² ***Hauteur de la flamme : 7,5 m

* INERIS – TE EDD Plate-forme logistique MANUTAN SA – Janv. 2002

** Selon la corrélation de Thomas

*** La hauteur de flamme retenue pour la zone emballage est de 2,5 fois la hauteur de stockage car présence d'un plénum technique à 3 m

BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	--	-----------------

II. RESULTATS

Les résultats sont présentés sous la forme de tableaux intégrant les flux de 3, 5 et 8 kW/m² pour chaque face de la zone en feu.

Chambre froide		Distances maximales atteintes en m pour chaque face de la chambre froide			
Faces		Ouest (15 m)	Nord (11,8 m)	Est (15 m)	Sud (11,8 m)
Flux thermiques	8 kW/m ²	*10,2 m	9 m	10,5 m	9 m
	5 kW/m ²	*10,2 m	13 m	15 m	13 m
	3 kW/m ²	*10,2 m	18 m	20,5 m	18 m

*Limité par le mur coupe-feu

Stockage journalier		Distances maximales atteintes en m pour chaque face de la zone stockage journalier			
Faces		Ouest (7,9 m)	Nord (18 m)	Est (7,9 m)	Sud (18 m)
Flux thermiques	8 kW/m ²	7 m	10 m	7 m	10 m
	5 kW/m ²	9,5 m	14 m	9,5 m	14 m
	3 kW/m ²	13 m	19 m	13 m	19 m

Zone emballage		Distances maximales atteintes en m pour chaque face de la zone emballage			
Faces		Ouest (17,4 m) Présence du mur coupe-feu	Nord (10 m)	Est (17,4 m)	Sud (10 m)
Flux thermiques	8 kW/m ²	Non atteint	*4,5 m	9 m	7 m
	5 kW/m ²	Non atteint	*4,5 m	12,5 m	10 m
	3 kW/m ²	Non atteint	*4,5 m	17 m	13 m

*Limité par la présence du mur coupe-feu





BET ALENA	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	FLUX THERMIQUES
-----------	--	-----------------

III. REPRESENTATION GRAPHIQUE

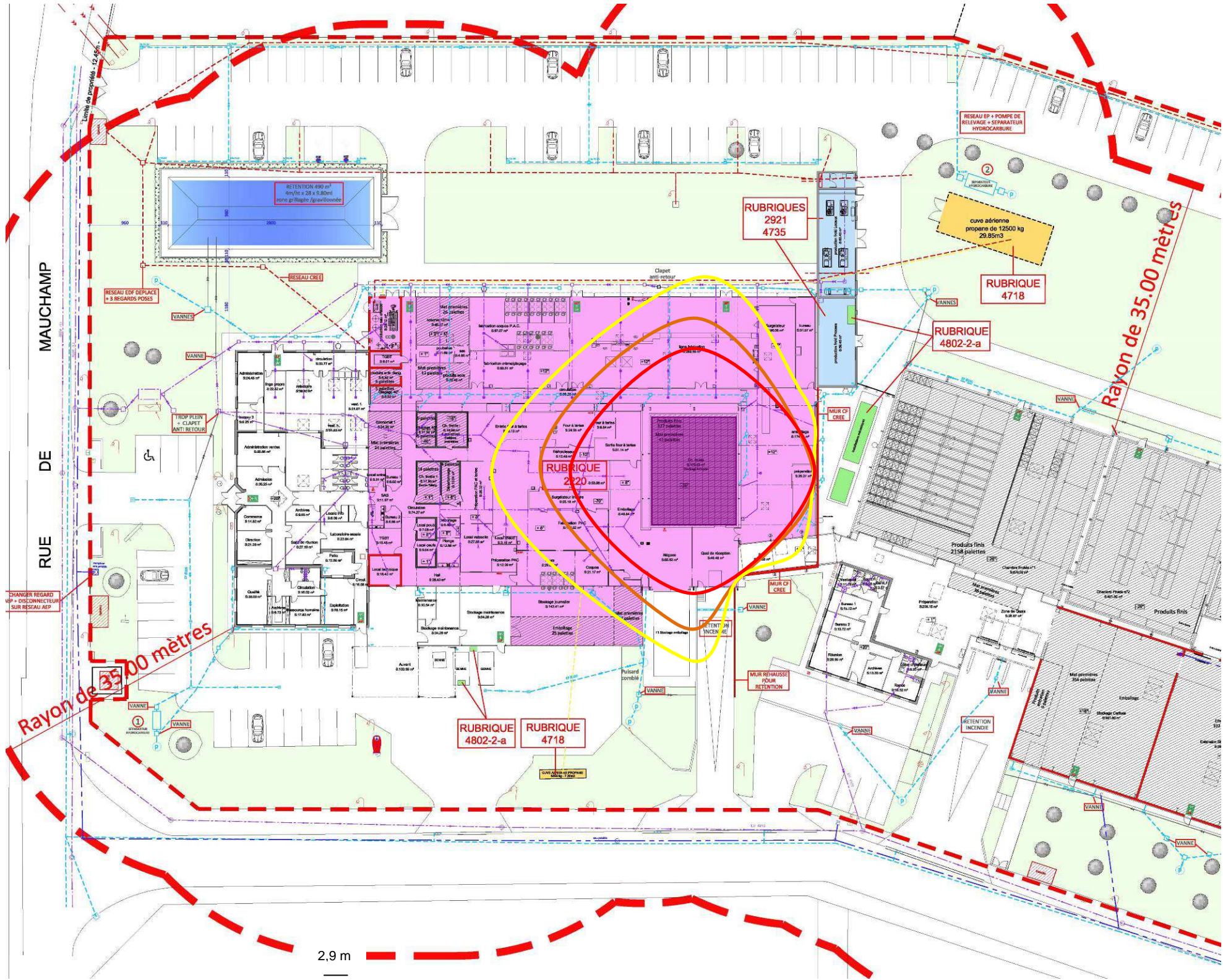
Afin de visualiser les résultats, les distances calculées sont reportées sur le plan d'ensemble.

Cette représentation graphique permet de visualiser les distances, mais reste néanmoins une représentation théorique des conséquences d'un incendie.

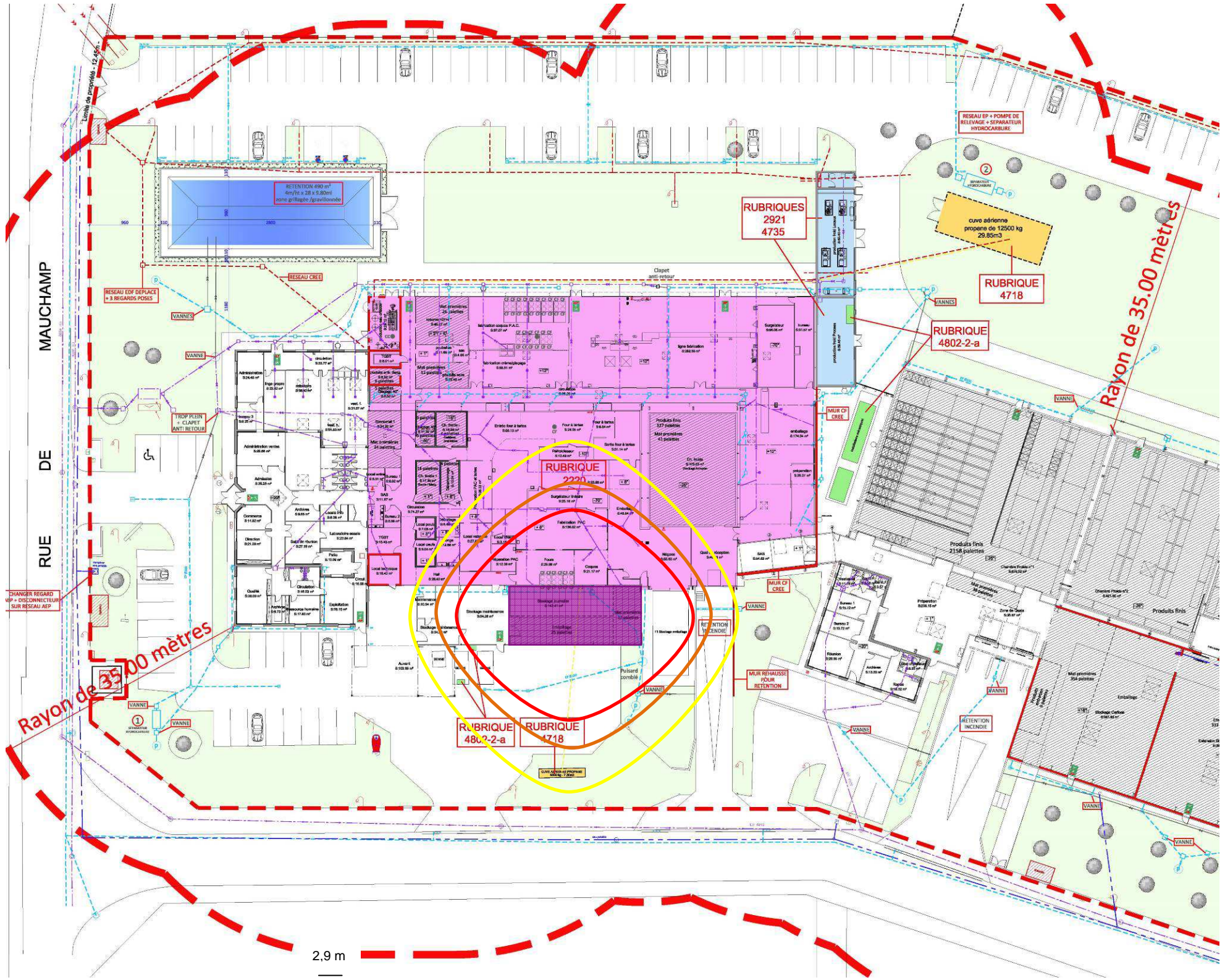
Légende

-  Surface en feu
-  Flux thermique de 8 kW/m²
-  Flux thermique de 5 kW/m²
-  Flux thermique de 3 kW/m²

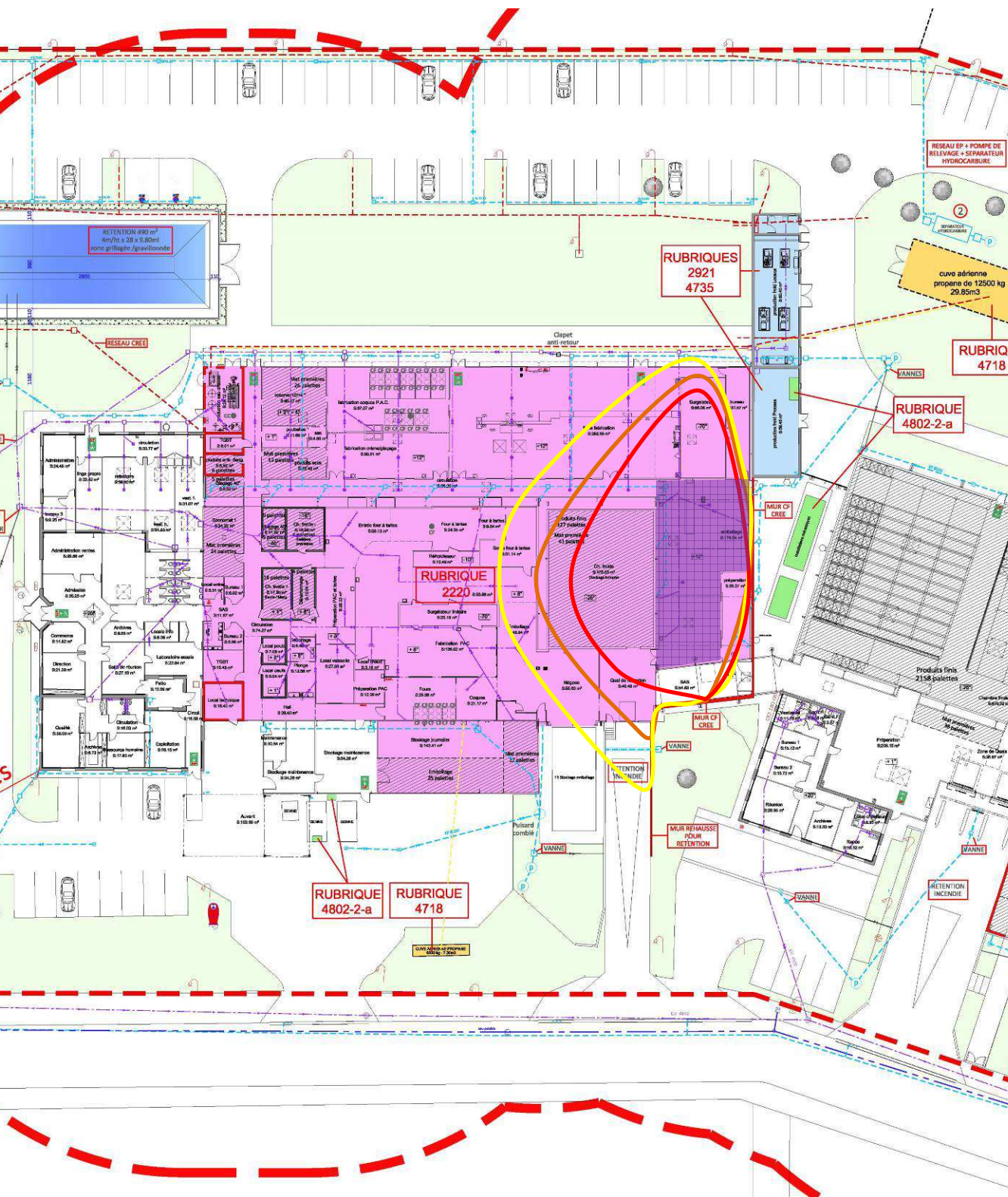
Représentation graphique des zones d'effets thermiques de la chambre froide.



Représentation graphique des zones d'effets thermiques de la zone de stockage journalier.



Représentation graphique des zones d'effets thermiques de la zone d'emballage



2,9 m