

GROUPE CNPP Département Feu et Environnement Route de la Chapelle Réanville CD 64 - CS 22265 F 27950 SAINT MARCEL Tél. 33 (0)2 32 53 64 33 Fax 33 (0)2 32 53 64 68

Prévention et maîtrise des risques

# RAPPORT D'ETUDE N° CR 17 10811-1

DATE : 06 décembre 2017

Etude d'ingénierie de sécurité incendie pour GSE Dans le cadre de la réhabilitation d'un bâtiment industriel à Douvrin

CLIENT : GSE 11, rue John Hadley 59666 CS 70362 VILLENEUVE D'ASCQ CEDX FRANCE

RESPONSABLE CLIENT : M. Stanislas GRASSIEN Mail : sgrassien@GSE1.onmicrosoft.com

Le présent rapport comporte : 80 pages dont 16 pages d'Annexe

Ce document atteste uniquement des caractéristiques de l'échantillon soumis aux essais ou à l'examen du laboratoire et ne préjuge pas des caractéristiques de produits similaires. Il ne constitue donc pas une certification de produit au sens de l'article L115-27 du code de la consommation, ni un agrément de quelque nature que ce soit. La reproduction de ce document n'est autorisée, sauf approbation préalable du CNPP que sous sa forme intégrale. Le CNPP décline toute responsabilité en cas de reproduction ou de publication non conforme. Le CNPP se réserve le droit d'utiliser les enseignements qui résultent du présent document pour les inclure dans des travaux de synthèse ou d'intérét général pouvant être publié par ses soins.

www.cnpp.com

CNPP Entreprise SARL au capital de 8 500 000 € • SIRET 34290125300050 - N° TVA FR 50342901253 - Code NAF 8559A • RC Évreux 1987B00299 Siège Social : CS 22265 - F 27950 SAINT-MARCEL • N° formateur 23270036727



# SOMMAIRE

1	CON	ITEXTE ET OBJET DE L'ETUDE	. 3			
2	ETU	DE DU DOSSIER ET DESCRIPTION DE L'EXISTANT	. 5			
	2.1 2.2 2.3 2.4 2.5	DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PERIMETRE DE L'ETUDE D'INGENIERIE STOCKAGE ISSUES DE SECOURS ET EVACUATION DU PERSONNEL SYSTEME DE SECURITE INCENDIE	. 5 . 7 . 8 . 8 . 9			
3 MISE EN DONNEES DE L'ETUDE D'INGENIERIE						
	3.1 3.2 3.3 3.4	PRESENTATION DU CODE DE CALCUL RETENU MODELE STRUCTURE RETENU HYPOTHESES DE L'ETUDE MODELE 3D	11 11 12 17			
4	DEF	INITION DES SCENARIOS D'ETUDE 1	18			
	4.1 4.2 4.3	SCENARIOS D'ETUDE	18 19 23			
5	RES	ULTATS DE LA MODELISATION	25			
	5.1 5.2 5.3 5.4	SCENARIO N°1 : FOYER CENTRE DANS LA CELLULE 01B	25 33 40 48			
6	SYN	THESE ET RECOMMANDATIONS	56			
	6.1 6.2 6.3	RESULTATS RELATIFS AUX CONDITIONS D'EVACUATION DES OCCUPANTS	57 58 59			
7	BIBI	LIOGRAPHIE	53			
8	ANN	IEXE 1 - MODELES A CHAMPS: CODE FDS	<b>3</b> 5			
9 D	ANN E STRU	IEXE 2 – METHODE DE CALCUL ANALYTIQUE DE LA TEMPERATURE D'UN ELEMEN ICTURE	1T 36			
10	) ANN	IEXE 3 – NOTE DE CALCUL DU DESENFUMAGE – PROJET	38			



# 1 CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE

Cette étude concerne l'évaluation du principe de désenfumage, du temps d'évacuation et de la stabilité au feu par l'ingénierie de sécurité incendie d'un projet de réhabilitation d'anciens ateliers de la Française de Mécanique à Douvrin (62). Ce projet prévoit la création d'un entrepôt de stockage logistique composé de 2 cellules de très grandes surfaces (23483 m<sup>2</sup> et 22236 m<sup>2</sup>, *cf.* Figure 1).



Figure 1 : Plan de masse (@Google maps) du projet d'aménagement en une cellule de 23483 m<sup>2</sup> (en vert) et en une cellule de 22236 m<sup>2</sup> (en orange)

Le projet d'aménagement doit répondre aux prescriptions de l'Arrêté du 11 avril 2017 [7] qui permet l'exploitation de cellules non recoupées de plus de 12000 m<sup>2</sup> et de moins de 13.7 m de hauteur, ce qui s'applique au bâtiment en objet de l'étude. L'arrêté [7] spécifie toutefois : « A l'appui de cet engagement, l'exploitant fournit une étude spécifique d'ingénierie incendie qui démontre que la cinétique d'incendie est compatible avec la mise en sécurité et l'évacuation des personnes présentes dans l'installation et l'intervention des services de secours aux fins de sauvetage de ces personnes. ». La présente étude vise à répondre à cette prescription.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer le niveau de sécurité (désenfumage et structure) du projet d'aménagement de l'existant à savoir une activité logistique sous la rubrique 1510. L'étude d'ingénierie de sécurité incendie permet :

- de modéliser le développement d'un incendie représentatif basé sur les conditions d'exploitations prévues,
- d'évaluer l'efficacité du désenfumage vis-à-vis de la propagation des fumées et gaz chauds ainsi que l'emprise du flux thermique radiatif,
- d'estimer le temps nécessaire à l'évacuation des occupants de l'entrepôt,
- d'estimer le temps de stabilité de la structure et le mode de ruine sous feu réel,
- d'estimer le temps de remise en cause des conditions de tenabilité pour les occupants et les services de secours, selon les critères du « Guide des bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage » publié en 2017 par le LCPP [8].



Par ailleurs, la réhabilitation et le changement de destination imposent une mise à niveau importante du système de mise en sécurité incendie, en particulier du point de vue de l'extinction automatique, du désenfumage et de la détection.

Or les contraintes de l'existant et la viabilité économique du projet compliquent en particulier la mise à niveau du système d'extinction automatique existant. Cela concerne notamment la présence de volumes de type sheds en toiture qui permettent un éclairage zénithal et accueillaient les anciens ouvrants de désenfumage (voir figure ci-après).





Figure 2 : Vues d'une des cellules et détail des sheds

Suite à une visite technique sur site du référent sprinkleur du Groupe CNPP le rapport de visite [9] présente deux solutions de mise à niveau dont une solution non dérogatoire, mais trop impactante économiquement (isolation des sheds existants en toiture, reprise du réseau de tuyauterie), et une solution dérogatoire économiquement envisageable (puisqu'il s'agit de conserver le réseau de tuyauteries existant) assorti d'une mesure compensatoire établie qualitativement sur avis d'expert. Cette dernière solution serait acceptable aux conditions suivantes :

- Vérifier s'il y a équivalence à la solution non dérogatoire notamment par une approche ISI ;
- Vérifier que la sécurité automatique équipant les exutoires se déclenche bien après le déclenchement du sprinkleur.

Il est possible de répondre à ces points du point de vue de la précocité de déclenchement, qui peut être évaluée sur la base de l'étude ISI.



# 2 ETUDE DU DOSSIER ET DESCRIPTION DE L'EXISTANT

## **2.1 Dispositions constructives**

La hauteur du bâtiment sous toiture hors sheds est de 9.3 m et elle est d'environ 11.9 m au point le plus haut (sheds). La hauteur sous poutre structure type treillis est de 7 m.

L'activité du site sera de type entrepôt logistique de 48661 m<sup>2</sup>. Le stockage pour l'activité logistique sera découpé comme suit :

- Cellule 1A 3826 m<sup>2</sup>
- Cellule 1B 19590 m<sup>2</sup>
- Cellule 2 21819 m<sup>2</sup>

La figure suivante est issue des plans définissant le projet [1] :



Figure 3 : Plan masse du projet, détail des ouvrages séparatifs

Le bâtiment disposera également d'espace de bureaux et de locaux sociaux au RDC et au R+1 d'une surface de 2361 m<sup>2</sup>, de locaux techniques au RDC et au R+1 de 548 m<sup>2</sup> et de locaux de charges de 517 m<sup>2</sup>.

Les deux cellules de stockage 1 et 2 seront séparées par un mur coupe-feu 4h dépassant en toiture de 1 m [2]. Une bande incombustible sera également présente à la jonction entre les 2 cellules. Les cellules 1A et 1B seront également séparées par un mur coupe-feu 2h.



Les façades extérieures du projet pour le bâtiment de stockage sont reportées sur la Figure 4.



Projet façade Sud

Figure 4 : Projet pour le bâtiment – vue des façades

La structure métallique du bâtiment comporte 19 files dans le sens de la longueur du bâtiment et 14 files dans le sens de la largeur. Elle est constituée d'une charpente métallique de type treillis reposant sur des poteaux métalliques. La structure a été reconstituée d'après les plans fournis [5]. On distingue les poutres principales longitudinales de type treillis de 24 m de portée en appui sur les poteaux, les poutres secondaires longitudinales en appui sur les poutres principales transversales, les poutres principales transversales de 13,5 m de portée en appui sur les poteaux (Figure 5). Le tableau suivant synthétise différentes valeurs des facteurs de massiveté des sections d'acier de la structure porteuse du bâtiment.

Type de section	Facteur de massiveté [A <sub>m</sub> /V] <sub>b</sub> (m <sup>-1</sup> )
HEA 500 / IPE 500	124
HEA 400 / IPE 500	134
HEB 400	97
HEA 500	107
HEA 300	153
HEA 320	141
HEA 360	128
HEA 400	120
HEA 220	195
HEA 260	171
HEA 180	226
HEA 160	234
HEA 100	264
IPE-A120	428
Cornière 120x120x12	152
Cornière 70x50x6	307
Cornière 70x70x7	261
Cornière 50x50x5	366
Cornière 45x45x4.5	406
Cornière 80x80x8	228
Cornière 60x60x6	305
Cornière 90x90x9	203

Tableau 1 : Facteur de massiveté des différentes sections d'acier



Figure 5 : coupes de la structure métallique du bâtiment [5]

# 2.2 Périmètre de l'étude d'ingénierie

Les deux cellules de stockage concernées sont représentées sur la Figure 6.

En vert, la cellule n°1 sera composée de 2 zones dont une occupera 3862 m<sup>2</sup> (ZONE01A) et l'autre 19610 m<sup>2</sup> (ZONE01B). Ces deux zones seront séparées entre elles par un mur coupefeu 2h. En orange, la cellule n°2 occupera 22236 m<sup>2</sup>.

Le périmètre de l'étude se limite aux deux zones : Cellule 01B et Cellule 02.



Figure 6 : Périmètre de l'étude



## 2.3 Stockage

Le projet est un entrepôt logistique dans lequel seront exercées des activités de transit et de manutention de marchandises, à des fins d'expédition. Aucune marchandise dangereuse ne devra transiter sur le site. La nature des marchandises en stockage est reprise ci-dessous :

- Produits de grande consommation : bazar, vélos, jouets, décorations.
- Produits Atlantic : chaudières, climatiseurs, chauffes eau, pièces détachées et équipements divers électriques.
- Equipements divers automobiles.
- Matériels électriques divers.
- Emballages papier et carton.

La nature de ces marchandises correspond aux rubriques 1510, 1532 et 1530 selon la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement. Le stockage relevant de la rubrique 1510 étant très majoritaire, le stockage relevant des autres rubriques ne sera pas considéré dans l'étude (stockages de cartons et de palettes bois notamment).

## 2.4 Issues de secours et évacuation du personnel

Les issues de secours prévues pour le projet sont représentées en vert sur la Figure 7.

La cellule 01A disposera de 4 issues de secours dont 2 donnant directement sur l'extérieur. 2 autres issues permettront d'accéder à la Zone 01B.

La cellule 01B disposera de 12 issues de secours dont 8 donnant à l'extérieur du bâtiment, 2 donnant dans la cellule 01A et 2 autres donnant dans la cellule 02.

La cellule 02 disposera également de 12 issues dont 10 débouchant sur l'extérieur et 2 sur la cellule 01B. L'exploitant prévoit des aménagements qui viseront à respecter, en tout point de l'ouvrage accessible au personnel, la distance d'évacuation maximale de 75 m fixée dans l'arrêté [7] (voir §3.3.3).



Figure 7 : Position des issues de secours dans les 2 cellules de stockage



## 2.5 Système de sécurité incendie

### 2.5.1 Système de détection automatique incendie

Une détection automatique incendie (détection de fumées) est prévue dans les cellules de stockage. Le plan d'implantation et les caractéristiques n'étant pas encore disponibles, une installation correspondant à un dimensionnement de type APSAD R7 [10] sera considéré dans la présente étude, sur la base du principe d'une détection linéaire.

### 2.5.2 Système sprinkleur

Le projet prévoit de sprinkler les cellules de stockage selon les dispositions du référentiel NFPA 13 [11], sur la base d'un système de type ESFR<sup>1</sup>. Ce système haute performance est conçu pour obtenir une action rapide et permettre de maîtriser un départ de feu à condition de respecter les règles d'installation et de maintenance qui lui sont spécifiques. Il convient de noter que cette étude ne constitue en aucun cas un diagnostic, une vérification ou une validation de l'installation du système sprinkleur vis-à-vis d'une quelconque règle d'installation.

### 2.5.3 Système de désenfumage

Le nombre projeté de cantons à créer est de 4 pour la cellule 01 Zone A ; de 16 pour la cellule 1 Zone B et de 17 pour la cellule B. La répartition du cantonnement des cellules est représentée sur la Figure 8. La note de calcul sprinkleur fournie [4] spécifie un cantonnement transversal à l'intérieur des sheds tous les 6 mètres.



Figure 8 : Projet de cantonnement des cellules de stockage

Les positions des exutoires à créer et des exutoires existants conservés [2] sont représentées sur la Figure 9.



Figure 9 : Position des exutoires dans chaque canton [2]

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Early Suppression Fast Response



Dans la cellule 01B (19610 m<sup>2</sup>), 90 exutoires seront créés et 5 seront conservés par rapport à l'existant (Tableau 2). La surface utile de désenfumage totale sera de 416 m<sup>2</sup> soit 2 % de la surface de la cellule.

Dans la cellule 02 (22236 m<sup>2</sup>), 100 exutoires seront créés et 17 seront conservés par rapport à l'existant (Tableau 2). La surface utile de désenfumage totale sera de 476 m<sup>2</sup> soit 2 % de la surface de la cellule. Le détail du projet pour les exutoires de chaque canton de désenfumage est reporté en annexe (section § 10).

		<u>(</u>	CELLULE n°01	ZONE A		
	Dimer (n L	nsions n) I	Surface géométrique unitaire (m <sup>2</sup> )	Nombre d'exutoires	Coefficient d'efficacité	Surface d'efficacité totale (m²)
Exutoires existants	1.60	1.67	2.67	31	0.58	48.04
Exutoires créés	2.00	3.00	6.00	7	0.76	31.92
Total	-	-	124.83	38	-	79.96
			•	·		
		<u>(</u>	CELLULE n°01	ZONE B		
	Dimer (n L	nsions n) I	Surface géométrique unitaire (m <sup>2</sup> )	Nombre d'exutoires	Coefficient d'efficacité	Surface d'efficacité totale (m²)
Exutoires existants	1.40	1.40	1.96	5	0.58	5.68
Exutoires créés	2.00	3.00	6.00	90	0.76	410.40
Total	-	-	549.80	95	-	416.08
		<u>(</u>	CELLULE n°01	ZONE B		
	Dimer (n L	nsions n) I	Surface géométrique unitaire (m <sup>2</sup> )	Nombre d'exutoires	Coefficient d'efficacité	Surface d'efficacité totale (m²)
	1.40	1.40	1.96	8	0.58	9.09
Exutoires existants	1.40	1.55	2.17	9	0.58	11.33
Exutoires créés	2.00	3.00	6	100	0.76	456.00
Total	-	-	635.21	117	-	476.42

Tableau 2 : Surface utile de désenfumage prévue pour le projet

L'ouverture des exutoires pour chaque canton est réalisée manuellement, après le déclenchement de la détection automatique incendie et après le délai de levée de doute.

L'exploitant fournit un **délai de 5 minutes** à partir du déclenchement de la détection automatique incendie pour que la levée de doute soit réalisée et que le système de désenfumage soit déclenché dans les cantons touchés.

Les exutoires sont également équipés d'une fonction de sécurité qui permet une ouverture individuelle automatique via le déclenchement d'un fusible thermique. Comme l'installation d'extinction automatique à eau prévue est de type ESFR sous le référentiel NFPA13 [11], mais que la température de déclenchement du fusible thermique associé à l'exutoire de désenfumage n'est pas explicitée par ce référentiel, on retiendra la température de 140°C imposée par la règle d'installation APSAD R1 [12].

Ces dispositions devraient permettre d'assurer que le désenfumage soit dans tous les cas activé après le déclenchement du système d'extinction automatique, ce qui fera l'objet de vérifications dans les simulations.



## 3 MISE EN DONNEES DE L'ETUDE D'INGENIERIE

Cette section aborde les méthodes de calcul mises en œuvre pour cette étude, et détaille les hypothèses communes à tous les scénarios d'étude.

## 3.1 Présentation du code de calcul retenu

Le code FDS est largement reconnu et utilisé en modélisation des phénomènes d'incendie, et plus particulièrement dans le cadre d'études d'Ingénierie de la Sécurité Incendie (ISI). Il s'agit d'un code à champs permettant une modélisation des phénomènes physiques tridimensionnels liés à la fois au développement d'un feu et au transport de ses effluents (gaz de combustion). FDS est utilisé dans le cadre d'études d'ingénierie du désenfumage en France et dans le monde mais également dans le domaine de la recherche scientifique. Il bénéficie en plus d'un important retour d'utilisateurs permettant sa vérification et sa validation sur de nombreux cas. C'est dans ces conditions que ce code est mis en œuvre dans cette étude. Une présentation sommaire des hypothèses intrinsèques au code de calcul FDS est reportée en <u>Annexe 1</u>.

## 3.2 Modèle structure retenu

## 3.2.1 Approche thermo-structurelle avancée (Code ASTER)

Code\_Aster est un logiciel de simulation numérique développé initialement par EDF pour ses besoins internes, notamment en termes d'études de structures en ingénierie nucléaire. Ce logiciel est par la suite devenu un logiciel libre, placé sous licence GNU GPL en 2001. Le code est toujours développé et maintenu par EDF.

Le code repose sur un solveur éléments finis permettant de résoudre un grand nombre de problèmes mécaniques, thermiques, acoustiques, sismiques, etc.

La documentation théorique présentant les modèles utilisés est accessible à l'adresse http://www.code-aster.org/V2/doc/default/fr/index.php?man=R.

Le Code\_Aster est vérifié et validé à travers un ensemble d'environ 3000 cas test (http://www.code-aster.org/V2/doc/default/fr/index.php?man=V).

Il est également à noter que, dans le cadre d'une démarche de validation sur des applications spécifiques, CNPP a également confronté les résultats de Code\_Aster à ceux d'autres codes commerciaux sur la base d'un benchmark [1].



Figure 10 : Exemple de résultats obtenus avec Code\_Aster sur la déformation d'un portique d'entrepôt sous contrainte thermique (Courbe orange sur la figure de droite) en comparaison avec des codes commerciaux.



## 3.3 Hypothèses de l'étude

En plus des hypothèses intrinsèques au code, des hypothèses de calcul doivent être posées afin de restituer des conditions de simulation pertinentes vis-à-vis des scénarios d'étude. Ces hypothèses comprennent les dispositions constructives, ainsi que tous les dispositifs de mise en sécurité incendie susceptibles d'interagir avec le système de désenfumage.

### 3.3.1 Dispositions constructives

Toutes les dispositions constructives ayant un impact sur les fonctions du désenfumage sont intégrées, et en particulier les écrans de cantonnement qui équipent les cellules ainsi que les sheds.

De plus :

- le volume considéré comme étant accessible aux fumées est l'ensemble de la cellule étudiée. Les locaux adjacents séparés physiquement par des murs, vitrages ou des ouvrages séparatifs coupe-feu ne seront pas considérées dans la modélisation ;
- une des limitations actuelle du code de calcul FDS est liée à la représentation des obstacles, lesquels sont discrétisés par des cellules élémentaires cubiques. De ce fait les éléments obliques ou courbes ne peuvent être restitués fidèlement (modélisation « en briques »). La qualité de la reconstitution est donc assujettie au degré de précision voulu. Compte tenu de la géométrie de l'étude, ceci ne devrait avoir que peu d'impact.

### 3.3.2 Dispositions de mise en sécurité incendie

La mise en œuvre du désenfumage sera prise en compte via le déclenchement d'ouvertures en toiture dont la surface correspond à la surface utile installée. Sauf cas particulier les simulations réalisées intègrent un déclenchement du désenfumage respectant les dispositions prévues au §2.5.3, soit sous un délai de cinq minutes après le déclenchement de la détection automatique incendie.

Dans les cantons où la détection sera plus tardive, les exutoires pourront s'ouvrir individuellement sur déclenchement du fusible thermique associé.

On fera l'hypothèse que l'ouverture des amenées d'air pour un canton impacté sera concomitante à l'ouverture du premier exutoire pour ce canton.

Le déclenchement de la détection automatique incendie sera calculé par simulation. Ce temps sera exploité pour le déclenchement du désenfumage dans les premiers cantons détectés ainsi que dans le cadre du post-traitement des résultats pour le calcul du temps disponible pour l'évacuation.

L'effet de la protection incendie par aspersion n'est à ce jour pas considéré comme pouvant être modélisé correctement sur une installation n'ayant pas fait l'objet d'essais feu spécifiques. Cet effet ne sera donc pas pris en compte dans l'étude.

Cependant, le temps de déclenchement de la première tête sprinkleur pourra être évalué (le plan d'implantation n'étant pas encore connu, un plan de mesure de températures sera placé à hauteur des têtes pour estimer le temps de déclenchement de l'installation en fonction des caractéristiques de déclenchement, typiquement pour une température de 74°C et un RTI de 26  $\sqrt{(m.s)}$ ). Ce temps permettra d'estimer la réactivité de l'installation et sur la base de cette estimation de s'assurer que le système se déclenche avant le désenfumage.



#### 3.3.3 Calcul du temps d'évacuation

Le temps d'évacuation est la somme des temps suivants :

- t<sub>dét</sub> : le délai avant la détection du feu ;
- t<sub>1</sub>: le temps de pré-mouvement. Ce temps correspond au temps nécessaire à la prise de la décision d'évacuer le bâtiment suite au déclenchement de l'alarme incendie ;
- t<sub>2</sub> : le temps de trajet dépendant de la distance du chemin d'évacuation. En règle générale, le temps de parcours est calculé en fonction des distances maximales de parcours pour atteindre une issue de secours à une vitesse de marche de 1 m/s en terrain plat, 0.4 m/s pour la montée d'escaliers et 0.7 m/s pour la descente [13]



Figure 11 : Principe de calcul du temps d'évacuation

Le délai de détection est extrait de la simulation sur la base du déclenchement de la détection optique. Il est supposé que l'alarme d'évacuation est concomitante au délai de détection.

En général, le délai de mise en mouvement est pris égal à 60 s.

Un des chemins les plus critiques pour l'évacuation de la cellule 01B est tracé sur la Figure 12. La distance de parcours maximale relevée dans cette cellule pour l'évacuation est de 75 m. Avec l'hypothèse d'une vitesse de 1 m/s, le délai d'évacuation est donc de 75 secondes après le temps de détection et le temps de mise en mouvement.





Figure 12 : Cheminement critique pour l'évacuation de la Cellule 01B

Les chemins critiques pour l'évacuation de la Cellule 02 sont représentés sur la Figure 13. L'exploitant assure l'aménagement de certaines zones pour que celles-ci ne soient pas accessibles aux occupants de façon à respecter les prescriptions de l'arrêté [7] sur les distances d'évacuation. Dans ce cas la distance de parcours la plus importante à effectuer pour le personnel est de 75 m soit un temps de parcours de 75 secondes.



Figure 13 : Cheminement critique pour l'évacuation de la Cellule 02

**Remarque** : Le temps calculé est une estimation du temps d'évacuation en conditions normales, à comparer avec le temps de remise en cause des critères de tenabilité retenus. Ce calcul ne présage en aucun cas du comportement particulier d'une personne et suppose que le personnel est physiquement et mentalement apte à l'évacuation dans le bâtiment, et sensibilisé au risque (cinétique rapide et feux de grande puissance si ceux-ci ne sont pas maitrisés). L'estimation du temps d'évacuation est donnée à titre indicatif, en tant qu'aide à la décision, de manière à mettre en perspective le temps de remise en cause des critères de tenabilité.



#### 3.3.4 Hypothèses de charges mécaniques

Les calculs au feu des structures sont réalisés aux Etats Limites Ultimes et conformément à la partie feu de l'EN 1991-1-1.

Les charges appliquées aux structures en situation d'incendie sont obtenues à l'aide des combinaisons de charges définies dans l'EN 1990 pour les situations accidentelles.

Comme pour un dimensionnement à froid, les combinaisons de charges à prendre en compte font intervenir les charges permanentes, les charges d'exploitation, le vent et la neige. Le poids propre de la structure est directement calculé par Code\_Aster. Les charges permanentes sont issues des documents de calculs à froid du bâtiment [3].

Les charges du vent et de la neige sont calculées respectivement selon l'Eurocode 1 EN1991-1-4 [14] et l'Eurocode 1 EN1991-1-3 [15].

Charges permanentes :

- Couverture : 32 daN/m<sup>2</sup> ;
- Bardage double peau : 25 daN/m<sup>2</sup> ;
- Vitrage armé simple des sheds : 20daN/m<sup>2</sup>;
- Vitrage double en façade : 35 daN/m<sup>2</sup> ;
- Garde-corps : 18 daN/ml ;
- Cloison sur plancher : 100 daN/m<sup>2</sup> ;
- Dalle plancher : 25 daN/cm d'épaisseur ;

Charges climatiques :

- Vent (bâtiment situé en région II) : 60 daN/m<sup>2</sup> ;
- Neige (bâtiment situé en région A1) : 45 daN/m<sup>2</sup> ;

Dans la chronologie du calcul, une phase préliminaire est réalisée lors de laquelle les combinaisons de charge et le poids propre sont appliqués à la structure qui se déforme en conséquence. La phase préliminaire s'achève après stabilisation des déplacements au temps t0 qui correspond au début de l'application de la contrainte thermique.

Il convient cependant de noter que les facteurs de pondération à appliquer en situation d'incendie sont moins pénalisants que les facteurs utilisés pour un dimensionnement à froid.

#### 3.3.5 Propriétés de l'acier

Les propriétés physiques suivantes sont retenues (à t = 20°C) :

- module d'Young	- 2,10E+11 Pa
- coefficient de Poisson	- 0,3
- masse volumique	- 7850 kg/m3
- coefficient de dilatation thermique	- 1,09E-05
- limite d'élasticité	- 2,35E+08 Pa



L'évolution des propriétés mécaniques de l'acier en fonction de la température est celle proposée dans les Eurocodes (EN 1993-1-2 [16]).

Le tableau suivant synthétise le facteur de réduction des propriétés mécaniques de l'acier en fonction de la température.

	Reduction factors at temperature $\theta_a$ relative to the value of $f_y$ or $E$ at 20 °C							
Steel Femperature $\theta_a$	Reduction factor (relative to $f_y$ ) for effective yield strength	Reduction factor (relative to fy) for proportional limit	Reduction factor (relative to $E_{n}$ ) for the slope of the linear elastic range					
	$k_{\rm v,0} = f_{\rm v,0}/f_{\rm v}$	$k_{\rm p,\theta} = f_{\rm p,\theta}/f_{\rm v}$	$k_{\rm E,0} = E_{\rm a,0}/E_{\rm a}$					
20°C	1,000	1,000	1,000					
100°C	1,000	1,000	1,000					
200°C	1,000	0,807	0,900					
300°C	1,000	0,613	0,800					
400°C	1,000	0,420	0,700					
500°C	0,780	0,360	0,600					
600°C	0,470	0,180	0,310					
700°C	0,230	0,075	0,130					
800°C	0,110	0,050	0,090					
900°C	0,060	0,0375	0,0675					
1000°C	0,040	0,0250	0,0450					
1100°C	0,020	0,0125	0,0225					
1200°C	0,000	0,0000	0,0000					

Tableau 3 : facteur de réduction des propriétés mécaniques de l'acier en fonction de la température

L'élongation thermique est calculée à partir des relations suivantes :

✓ Pour 20°C < Tacier < 750 °C</p>

$$\Delta L/L = 1.2 \cdot 10^{-5} \cdot T_{acier} + 0.4 \cdot 10^{-8} \cdot T_{acier}^{2} - 2.416 \cdot 10^{-4}$$

- ✓ Pour 750°C < Tacier < 860 °C  $\Delta L/L = 1,1 \cdot 10^{-2}$
- ✓ Pour 860°C < Tacier < 1200 °C  $\Delta L/L = 2 \cdot 10^{-5} \cdot T_{acier} - 6,2 \cdot 10^{-3}$

Le coefficient de dilatation thermique est défini de la manière suivante :

$$\alpha = \frac{\Delta L/L}{T - T_0}$$



## 3.4 Modèle 3D

Des vues du modèle 3D reconstruit sur la base des plans fournis sont représentées sur les figures ci-dessous.



Figure 14 : Vues d'ensemble du modèle 3D du bâtiment de stockage – en haut, vue des exutoires et des éléments de toiture – en bas, vue du stockage dans chaque cellule



Cellule 01B

Cellule 02

Figure 15 : Vues du modèle 3D à l'intérieur de chaque cellule de stockage

A titre indicatif le maillage utilisé pour la cellule 01B contient 9.2 millions de cellules, et un scénario incendie demande de 6 à 7 jours de calcul pour 20 minutes de temps réel simulé (le temps de calcul est lié à la puissance du feu). Une simulation de stabilité de la structure sur une file demande un jour de calcul.



# 4 DEFINITION DES SCENARIOS D'ETUDE

## 4.1 Scénarios d'étude

La distinction suivante est faite entre un scénario et un scénario d'étude :

- Le scénario est une séquence probable d'évènements suivant l'éclosion d'un feu (comme par exemple l'extinction précoce par manque de combustible, l'étouffement, la généralisation de l'incendie, etc.). Le très grand nombre de cas est impossible à restituer au niveau de cette étude.
- Le scénario d'étude fait l'objet d'une sélection de scénarios jugés dimensionnants pour le système de sécurité et les critères de tenabilité mis à l'épreuve dans l'étude (exemples : un feu intense au voisinage d'un vitrage est dimensionnant s'il s'agit d'éprouver un risque de propagation en façade par cette fenêtre ; le feu d'un unique siège sans propagation ne sera pas dimensionnant s'il s'agit d'éprouver le système de désenfumage d'une salle de spectacle de grande hauteur). Le scénario d'étude est donc représentatif d'un grand nombre de scénarios, il devra intégrer soit des conditions réputées majorantes pour un critère donné, soit des conditions réalistes sous réserve d'une justification pertinente. Les sections suivantes visent à définir ces scénarios d'étude :
  - En premier lieu, il s'agit d'établir un foyer type qui peut être issu d'un retour d'expérience sur le développement d'incendie à échelle réelle en milieux analogues, d'essais spécifiques, ou bien sur la base d'une analyse de risque.
  - En second lieu, le foyer est associé aux divers scénarios dimensionnants afin d'établir une hiérarchisation en scénarios d'étude.



## 4.2 Définition du foyer

### 4.2.1 Foyer représentatif du stockage

Les foyers représentatifs du stockage peuvent être variés. Ainsi, on choisit de prendre une palette combustible de la rubrique 1510 (scénario le plus pénalisant) pour représenter le stockage.

D'après la méthodologie Flumilog (voir [17]) la puissance maximale développée pour une palette de la rubrique 1510 est de 1525 kW pendant 45 minutes. Toutefois cette référence ne permet pas d'identifier une cinétique de propagation suffisamment représentative. Pour cela on propose de se baser sur un retour d'expérience obtenu lors d'essais réalisés par le Groupe CNPP sur un stockage de palette de gobelets de polystyrène stockés en cartons filmés sur palette et sur rack. Du point de vue de la cinétique de développement du feu, ce stockage peut-être considéré comme étant largement conservatif par rapport à un stockage 1510 courant.

Les principales étapes du déroulement de l'essai sont synthétisées ci-dessous :











t=2 min 20 s. Feu au sommet de la 1<sup>ère</sup> palette



t=2 min 35 s. feu au sommet de la 2<sup>nde</sup> palette

### RAPPORT D'ETUDE N° CR 17 10811-1





*t=2 min 56 s. Feu atteint le plafond* Le déclenchement de la **1<sup>ère</sup> tête sprinkleur** (réseau intermédiaire) s'effectue à **3 min** et à 3 min 10 s pour la 2<sup>nd</sup> tête (plafond).



t=5 min 33 s. Chute de morceaux de cartons enflammés dans l'allée centrale





t=4 min 06 s. Les flammes quittent le plafond. S'ensuit une période de feu quasiment stationnaire d'une durée de 2 minutes



t= 6 min 31 s. Période de feu stationnaire



t=7 min 40 s.Disparition des flammes visibles dans l'allée àLes parties enflammées ont réduit d'intensitét=10 min 10 sFigure 16 : Déroulement d'un essai CNPP de feu de stockage de gobelets de<br/>polystyrène en cartons filmés sur palettes



Dans le cas du projet en objet de cette étude, on disposera le modèle de stockage conformément aux dispositions prévues (voir [6]). Le feu pourra, à partir d'une source d'ignition suffisamment importante, se propager aux palettes voisines suite à leur échauffement par transfert thermique. Dans les simulations, on considèrera les propriétés thermiques suivantes :

- Epaisseur à chauffer : 10 cm,
- Conductivité thermique : 0.07 W/(m.K),
- Chaleur massique : 1.65 kJ/(kg.K),
- Masse volumique : 700 kg/m<sup>3</sup>,
- Température d'inflammation : 215 °C.

Ces paramètres sont des paramètres moyens établis sur la base des résultats d'essais feu présentés ci-avant (stockage de palette de gobelets de polystyrène stockés en cartons filmés sur palette et sur rack). Associés à une cinétique adéquate, ces paramètres permettent d'obtenir une vitesse de propagation équivalente aux conditions d'essais (voir figure suivante).



Figure 17 : Modélisation de l'essai CNPP de feu de stockage selon une typologie 1510



### 4.2.2 Positionnement des foyers

Les départs de feu pour les scénarios 1 et 2 dans la cellule 01B sont représentés sur la Figure 18.

La position du départ de feu pour le scénario n°1 est proposée en partie centrale du stockage, permettant ainsi la propagation du feu et des fumées dans toutes les directions et correspondant à la situation qui conduirait à la remise en cause la plus rapide des conditions sur l'ensemble du périmètre.

La position du départ de feu pour le scénario n°2 est proposée dans un angle de la cellule, afin d'obtenir une contrainte thermique majorante dans le cadre de l'étude structure (confinement de la chaleur par les deux parois extérieures).



Figure 18 : Position des départs de feu pour les scénarios de feu dans la cellule 01B

Les départs de feu pour les scénarios 3 et 4 dans la cellule 2 sont représentés sur la Figure 19. De la même manière que pour la cellule 01B, un départ de feu est placé au centre du stockage afin de favoriser la propagation du feu dans toutes les directions (scénario n°3).

Le départ de feu du scénario n°4 est positionné (i) de façon à bloquer rapidement deux issues de secours et (ii) de façon à obtenir le chemin d'évacuation le plus long sur la base des issues bloquées.



Figure 19 : Position des départs de feu pour les scénarios de feu dans la cellule 02



Du point de vue de la sollicitation de la structure, plusieurs centaines de capteurs de température sont répartis le long des files à l'intersection desquelles se situent les scénarios feu, tels que représentés sur la figure suivante :



Figure 20 : Position des départs de feu par rapport aux files à étudier

## 4.3 Caractérisation des scénarios d'étude

### 4.3.1 Proposition des critères de tenabilité

Les simulations associées aux scénarios d'étude définis ci-dessus devront être analysées sur la base de critères physiques relatifs aux objectifs de sécurité associés au désenfumage. Il s'agit la plupart du temps de critères d'acceptabilité visant à qualifier le maintien ou la dégradation des conditions d'évacuation de l'effectif. Les critères pris à 2 m au-dessus du plancher bas dans les cheminements et les valeurs proposés sont les suivantes :

- Température de l'air inférieure à 40 °C ;
- Coefficient d'extinction de la lumière inférieur à 0.4 m<sup>-1</sup> ;
- Flux thermique radiatif incident sur les occupants inférieur à 2 kW.m<sup>-2</sup>.

Le temps disponible pour l'évacuation est le temps pendant lequel les critères de tenabilité sont satisfaits.

Pour évaluer les conditions d'intervention des services de secours, les valeurs proposés sont les suivantes :

- Température de l'air inférieure à 100 °C ;
- Flux thermique radiatif incident sur les intervenants inférieur à 5 kW.m<sup>-2</sup>.

Les critères normalement pris à 1 m au-dessus du plancher bas sont pris de manière pénalisante à 2 m dans le cadre de cette étude afin d'éviter des limites techniques liées au nombre maximal de relevés de capteurs à traiter (plus de 3500 relevés pour le scénario 1).

Les valeurs proposées ont été établies récemment dans le cadre de la réalisation d'un Guide de bonnes pratiques pour les études d'ingénierie de désenfumage en Etablissement Recevant du Public [8] paru en Juin 2017.



Quelques remarques et réserves sont nécessaires :

En première approche il n'est pas prévu d'intégrer la notion de toxicité ou d'irritabilité des effluents du feu. On peut faire l'hypothèse dans ce type d'étude (voir [18]) que la remise en cause du critère de coefficient d'extinction est fortement couplée à la remise en cause des critères beaucoup plus complexes liés à la toxicité ou à l'irritabilité.

Il apparaît peu pertinent d'évaluer les trois critères retenus au voisinage immédiat (ou à l'aplomb direct) du départ de feu, puisqu'il s'agit d'une zone qui sera évacuée très rapidement du fait d'une prise de conscience immédiate de la menace.

### 4.3.2 Mesure des critères de tenabilité

Les chemins d'évacuation dans la zone de calcul sont instrumentés afin de pouvoir suivre les critères au cours du temps. Les points de mesures sont répartis le long des chemins d'évacuation à une hauteur de 2 m. Ils permettent de suivre la température, le coefficient d'extinction et les flux thermiques. Le dépassement d'un des seuils critiques en un point sur un chemin d'évacuation permet d'établir le temps pendant lequel une évacuation est possible.

Des coupes permettront également de donner une distribution de ces critères dans un plan vertical ou horizontal. La simulation fournit une vue 3D du développement des flammes et de l'emprise des fumées.



Figure 21 : Instrumentation en capteurs de la cellule de stockage 01B



Figure 22 : Exemple de coupes pouvant être extraite des simulations 3D

Aux critères d'acceptabilité proposés ci-dessus, on ajoutera un critère de remise en cause brutale des conditions de tenabilité correspondant aux phénomènes de ruine locale ou générale de la structure.



# **5 RESULTATS DE LA MODELISATION**

## 5.1 Scénario n°1 : Foyer centré dans la cellule 01B

#### 5.1.1 Développement du feu et emprise des fumées – note sur la sous-ventilation

La Figure 23 représente l'évolution de la puissance du feu, en rouge comparée au débit de pyrolyse correspondant, en vert. Tant que les courbes sont confondues, la combustion est correctement ventilée au cours de la simulation.

Le feu est initié sur une palette au niveau du bas d'un des racks centraux. Ensuite, le feu se propage par transfert thermique aux palettes voisines. Après un point d'inflexion constaté vers t=10 minutes, la puissance croît de plus en plus rapidement atteignant 800 MW à t=16 minutes. Après 16 minutes, le foyer est sous-ventilé.

#### Note sur la sous-ventilation (applicable aux scénarios suivants)

A partir du moment où le foyer est sous-ventilé, la simulation FDS s'écarte de son domaine de validité du fait d'une sur-prédiction du dégagement de gaz de pyrolyse et de la manifestation de zones de combustion non réalistes produisant de la chaleur à des emplacements où les conditions d'une réaction ne seraient pas atteintes en réalité. A partir de ce stade, les résultats ne sont donc plus exploitables.



Figure 23 : Evolution de la puissance du feu au cours de la simulation – scénario n°1

Ce calcul a été réalisé sans prise en compte de la détection automatique incendie.

Le déclenchement du désenfumage dans ce scénario a lieu automatiquement à partir de 4 minutes 50 secondes sur déclenchement des sécurités.



L'emprise des fumées ainsi que la température dans le plan situé au niveau de la limite inférieure des écrans de cantonnement sont représentés sur la Figure 24. Durant les 3 premières minutes, les fumées sont contenues dans le canton sinistré. Ensuite, les fumées commencent à envahir les cantons voisins. Au-delà de 12 minutes, il y a une emprise générale des fumées dans la cellule.



Figure 24 : Plans de température à 7 m (bord inférieur des écrans de cantonnement, échelle entre 20 et 140°C), et emprise des fumées dans la cellule 01B – scénario n°1



#### 5.1.2 Conditions d'évacuation

Les conditions d'évacuation sont étudiées sur la base des critères définis dans le Guide des bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage [8], à savoir, à 2 m du sol un flux thermique ne dépassant pas 2 kW/m<sup>2</sup>, une température ne dépassant 40 °C et un coefficient d'extinction (visibilité) ne dépassant pas 0.4 m<sup>-1</sup>. On ne tient pas compte du flux rayonné au voisinage du départ de feu, puisqu'il s'agit d'une zone qui sera évacuée très rapidement du fait d'une prise de conscience immédiate de la menace. Les résultats de modélisation sont présentés ci-après.



Figure 25 : Remise en cause de l'évacuation selon les critères seuils proposés

Sur les figures précédentes, la zone en noir correspond à la zone de remise en question de l'évacuation selon les critères correspondant. Hormis à proximité immédiate du foyer, l'évacuation est remise en cause par la perte de visibilité à 2 m du sol à partir de 9 minutes et 50 secondes.



### 5.1.3 Comportement mécanique de la structure

#### 5.1.3.1 File E

Les différentes sections utilisées dans le modèle étudié sont représentées sur la Figure 26.



La figure suivante représente la déformée de la structure selon la file E, pour les contraintes thermiques issues du scénario 1, à 800 secondes après le début de l'incendie. La déformation visuelle de la structure est augmentée de 10 fois.



Figure 27 : Déformée (x10) de la structure selon la file E à t=800 s



Figure 28 : Calcul structure SC1 - déplacements horizontaux des extrémités de la file E Convention : déplacement positif dans le sens +x et négatif dans le sens -x



On constate que la structure subit une dilatation thermique. Les extrémités de la structure se déplaçant lors de cette phase vers l'extérieur. Le déplacement maximal atteint au niveau des points de mesure « a, b et c » est de 9 cm. Aux temps plus longs les déformations plastiques et le poids de la charpente doivent entraîner la structure vers l'intérieur, comme observé classiquement sur ce type d'entrepôt de faible hauteur.

La structure présente un signe de ruine locale qui occasionne un arrêt de calcul 800 secondes après le début d'incendie. Les faibles déplacements enregistrés au niveau du reste de la structure n'indiquent pas de risque de ruine complète de la structure pendant le scénario simulé.

## 5.1.3.2 File 16

Les différentes sections utilisées dans le modèle étudié sont représentées sur la Figure 29.



La figure suivante représente la déformée de la structure selon la file 16, pour les contraintes thermiques issues du scénario 1, à 900 secondes après le début de l'incendie. La déformation visuelle de la structure est augmentée de 20 fois.



Figure 30 : Déformée (x20) de la structure selon la file 16 à t=900 s





Figure 31 : Calcul structure SC1 - déplacements horizontaux des extrémités de la file 16 Convention : déplacement positif dans le sens +x et négatif dans le sens -x

On constate que la structure subit une dilatation thermique. Les extrémités de la structure se déplaçant lors de cette phase vers l'extérieur. Le déplacement maximal atteint au niveau des points de mesure « d » est de 16 cm. Aux temps plus longs les déformations plastiques et le poids de la charpente doivent entraîner la structure vers l'intérieur, comme observé classiquement sur ce type d'entrepôt de faible hauteur.

La structure présente un signe de ruine locale qui occasionne un arrêt de calcul 900 secondes après le début d'incendie. Les faibles déplacements enregistrés au niveau du reste de la structure n'indiquent pas de risque de ruine complète de la structure pendant le scénario simulé.

### 5.1.4 Estimation du temps d'évacuation

Le délai le plus tardif constaté dans les autres simulations (détection par canton) est de 13 s. Le temps de mise en mouvement est pris à 60 s. La distance d'évacuation jusqu'à la sortie de secours la plus proche est de 75 m soit un temps de parcours pour l'évacuation de 75 s (hypothèse de marche à 1 m/s). Le temps total d'évacuation évalué sur cette base est de 148 s soit 2 minutes et 28 secondes.

Mis à part le flux thermique radiatif à proximité immédiate du foyer, le temps de remise en cause de l'évacuation déterminé par la visibilité est de 590 s soit 9 minutes et 50 secondes. L'évacuation est donc réalisable.

Les risques de ruine locale sont constatés entre 13 et 15 minutes, peu de temps avant la phase de sous-ventilation. La stabilité est suffisante par rapport au temps d'évacuation.



### 5.1.5 Conditions d'intervention

La cartographie des températures est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 32. L'échelle est prise entre 20 et 100 °C. Les températures restent acceptables durant 15 minutes.



Figure 32 : Cartographie des températures à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°1

La cartographie des flux thermiques est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 33. L'échelle est prise entre 0 et 5 kW/m<sup>2</sup>. Au bout de 15 minutes, le seuil de flux thermique fixé par le Guide est dépassé dans l'intégralité du canton sinistré.



Figure 33 : Cartographie des flux thermiques à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°1



La cartographie des coefficients d'extinction (visibilité) est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 34. L'échelle est prise entre 0 et 0.4 m<sup>-1</sup>. A 15 minutes, on constate une dégradation brutale des conditions de visibilité dans l'ensemble de la cellule (fumées au sol).



Figure 34 : Cartographie des coefficients d'extinction à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°1

A noter qu'il y a un risque de ruine locale constaté dans la zone du foyer après 13 à 15 minutes de feu mais uniquement dans la zone où le niveau du flux thermique radiatif interdit l'approche.

On rappelle que dans la simulation les conditions de ventilation du foyer ne sont plus respectées après 16 minutes. Toutefois compte-tenu de la faible tenue au feu de certains éléments (en particulier les éléments translucides dans les sheds et le long des bardages latéraux) l'occurrence d'évènements thermiques brutaux associés à la sous-ventilation semble peu probable.



## 5.2 Scénario n°2 : Foyer en proche parois de la cellule 01B

#### 5.2.1 Développement du feu et emprise des fumées

La Figure 35 représente l'évolution de la puissance du feu comparée au débit de pyrolyse correspondant.

Le feu est initié sur une palette au niveau du bas d'un des racks proches de la paroi coupefeu séparant les 2 cellules et se propage par transfert thermique aux palettes voisines. La puissance croît de plus en plus rapidement atteignant 500 MW à t=14 minutes. Après 14 minutes, le foyer est sous-ventilé.



Figure 35 : Evolution de la puissance du feu au cours de la simulation – scénario n°2

La détection a eu lieu au bout de 13 secondes.

#### Note relative au temps de détection (applicable aux scénarios suivants)

il faut préciser que le délai de détection ci-avant n'est pas représentatif du temps de détection obtenu avec un foyer de réception, ce délai est très court car de façon pénalisante on ne considère aucune phase de feu couvant dans la simulation.

Conformément aux hypothèses fixées le système de désenfumage du canton est donc déclenché à t=13+500 s soit cinq minutes et 13 secondes après le départ de feu.



L'emprise des fumées est représentée sur la Figure 36. A partir de 3 minutes de feu, les fumées passent sous le canton sinistré pour remplir les cantons voisins. Au-delà de 14 minutes, il y a une emprise générale des fumées dans la cellule.



Figure 36 : Plans de température à 7 m (bord inférieur des écrans de cantonnement, échelle entre 20 et 140°C), et emprise des fumées dans la cellule 01B – scénario n°2



### 5.2.2 Conditions d'évacuation

Pour rappel, les critères seuils sont définis par le Guide des bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage [8], à savoir, à 2 m du sol un flux thermique ne dépassant pas 2 kW/m<sup>2</sup>, une température ne dépassant 40 °C et un coefficient d'extinction (visibilité) ne dépassant pas 0.4 m<sup>-1</sup>. On ne tient pas compte du flux rayonné au voisinage du départ de feu, puisqu'il s'agit d'une zone qui sera évacuée très rapidement du fait d'une prise de conscience immédiate de la menace. Les résultats de modélisation sont présentés ci-après.



Figure 37 : Remise en cause de l'évacuation selon les critères seuils

Sur les figures précédentes, la zone en noir correspond à la zone de remise en question de l'évacuation selon les critères choisis. Hormis à proximité immédiate de la zone du foyer, l'évacuation est remise en cause par la perte de visibilité à 2 m du sol à partir de 9 minutes et 26 secondes.



### 5.2.3 Comportement mécanique de la structure

#### 5.2.3.1 File G

Les différentes sections utilisées dans le modèle sont représentées sur la Figure 38.



La figure suivante représente la déformée de la structure selon la file G, pour les contraintes thermiques issues du scénario 2, à 900 secondes après le début de l'incendie. La déformation visuelle de la structure est augmentée de 10 fois.



Figure 39 : Déformée de la structure (x10) selon la file G à t=900 s



Figure 40 : Calcul structure SC2 - déplacements horizontaux des extrémités de la file G Convention : déplacement positif dans le sens +x et négatif dans le sens -x


On constate que la structure subit une dilatation thermique. Les extrémités de la structure se déplaçant lors de cette phase vers l'extérieur. Le déplacement maximal atteint au niveau du point de mesure « a» est de 20 cm. Aux temps plus longs les déformations plastiques et le poids de la charpente doivent entraîner la structure vers l'intérieur, comme observé classiquement sur ce type d'entrepôt de faible hauteur.

La structure présente un signe de ruine locale qui occasionne un arrêt de calcul 900 secondes après le début d'incendie. Les faibles déplacements enregistrés au niveau du reste de la structure n'indiquent pas de risque de ruine complète de la structure pendant le scénario simulé.

### 5.2.3.2 File 13

Les différentes sections utilisées dans le modèle sont représentées sur la Figure 41.



La figure suivante représente la déformée de la structure selon la file 13, pour les contraintes thermiques issues du scénario 2, à 800 secondes après le début de l'incendie. La déformation visuelle de la structure est augmentée de 20 fois.



Figure 42 : Déformée de la structure (x20) selon la file 13 à t=800 s



Figure 43 : Calcul structure SC2 - déplacements horizontaux des extrémités de la file 13 Convention : déplacement positif dans le sens +x et négatif dans le sens -x



On constate que la structure subit une dilatation thermique. Les extrémités de la structure se déplaçant lors de cette phase vers l'extérieur. Le déplacement maximal atteint au niveau du point de mesure « c » est de 15 cm. Aux temps plus longs les déformations plastiques et le poids de la charpente doivent entraîner la structure vers l'intérieur, comme observé classiquement sur ce type d'entrepôt de faible hauteur.

La structure présente un signe de ruine locale qui occasionne un arrêt de calcul 800 secondes après le début d'incendie. Les faibles déplacements enregistrés au niveau du reste de la structure n'indiquent pas de risque de ruine complète de la structure pendant le scénario simulé.

### 5.2.4 Estimation du temps d'évacuation

La détection a eu lieu au bout de 13 secondes.

Le temps de mise en mouvement est pris à 60 s. La distance d'évacuation jusqu'à la sortie de secours la plus proche est de 75 m soit un temps de parcours pour l'évacuation de 75 s (hypothèse de marche à 1 m/s). Le temps total d'évacuation est de 148 s soit 2 minutes et 28 secondes.

Mis à part le flux thermique radiatif à proximité immédiate du foyer, le temps de remise en cause de l'évacuation déterminé par la visibilité est de 566 s soit 9 minutes et 26 secondes. L'évacuation est donc réalisable.

Les risques de ruine locale sont constatés entre 13 et 15 minutes, à la manifestation de la phase de sous-ventilation. La stabilité est suffisante par rapport au temps d'évacuation.

#### 5.2.5 Conditions d'intervention

La cartographie des températures est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 44. L'échelle est prise entre 20 et 100 °C. Les températures restent acceptables durant 15 minutes.



Figure 44 : Cartographie des températures à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°2



La cartographie des flux thermiques est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 45. L'échelle est prise entre 0 et 5 kW/m<sup>2</sup>. Au bout de 15 minutes, le seuil de flux thermique fixé par le guide est dépassé dans l'intégralité du canton sinistré.



Figure 45 : Cartographie des flux thermiques à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°2

La cartographie des coefficients d'extinction (visibilité) est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 46. L'échelle est prise entre 0 et 0.4 m<sup>-1</sup>. A 15 minutes, on constate une dégradation brutale des conditions de visibilité dans une grande partie de la cellule (fumées sous 2 m).



Figure 46 : Cartographie des coefficients d'extinction à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°2

A noter qu'il y a un risque de ruine locale constaté dans la zone du foyer après 13 à 15 minutes de feu mais uniquement dans la zone où le niveau du flux thermique radiatif interdit l'approche.

On rappelle que dans la simulation les conditions de ventilation du foyer ne sont plus respectées après 14 minutes. Toutefois compte-tenu de la faible tenue au feu de certains éléments (en particulier les éléments translucides dans les sheds et le long des bardages latéraux) l'occurrence d'évènements thermiques brutaux associés à la sous-ventilation semble peu probable.



# 5.3 Scénario n°3 : Foyer centré dans la cellule 02

### 5.3.1 Développement du feu et emprise des fumées

La Figure 47 représente l'évolution de la puissance du feu comparée au débit de pyrolyse correspondant.

Le feu est initié sur une palette au niveau du bas d'un des racks au centre de la cellule et se propage par transfert thermique aux palettes voisines. La puissance croît rapidement atteignant 700 MW à t=17 minutes. Après 17 minutes, le foyer est sous-ventilé.

La puissance n'est pas aussi élevée que dans les scénarios précédents bien que le potentiel mobilisé et sa disposition soient identiques. Le fait que le départ de feu soit à cheval sur deux cantons, le volume accessible aux fumées en partie haute un peu plus important et le désenfumage simultané des deux cantons justifient une propagation plus lente que pour les autres scénarios (limitation du rayonnement thermique en partie haute du stockage).



Figure 47 : Evolution de la puissance du feu au cours de la simulation – scénario n°3

La détection a eu lieu au bout de 12 secondes.

Conformément aux hypothèses fixées le système de désenfumage des deux cantons impactés est donc déclenché à t=12+500 s soit cinq minutes et 12 secondes après le départ de feu.

L'emprise des fumées est représentée sur la Figure 48. Le départ de feu est situé sous un écran de cantonnement et les fumées produites se propagent dans les deux cantons. A partir de 4 minutes de feu, les fumées se propagent aux cantons voisins. Au-delà de 14 minutes, il y a une emprise générale des fumées dans la cellule.





Figure 48 : Plans de température à 7 m (bord inférieur des écrans de cantonnement, échelle entre 20 et 140°C), et emprise des fumées dans la cellule 02 – scénario n°3



#### 5.3.2 Conditions d'évacuation

Pour rappel, les critères seuils sont définis par le Guide des bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage [8], à savoir, à 2 m du sol un flux thermique ne dépassant pas 2 kW/m<sup>2</sup>, une température ne dépassant 40 °C et un coefficient d'extinction (visibilité) ne dépassant pas 0.4 m<sup>-1</sup>. On ne tient pas compte du flux rayonné au voisinage du départ de feu, puisqu'il s'agit d'une zone qui sera évacuée très rapidement du fait d'une prise de conscience immédiate de la menace. Les résultats de modélisation sont présentés ci-après.



Figure 49 : Remise en cause de l'évacuation selon les critères seuils

Sur les figures précédentes, la zone en noir correspond à la zone de remise en question de l'évacuation selon les critères choisis. Hormis à proximité immédiate de la zone du foyer, l'évacuation est remise en cause par la perte de visibilité à 2 m du sol à partir de 10 minutes et 18 secondes.



## 5.3.3 Comportement mécanique de la structure

#### 5.3.3.1 File L

Les différentes sections utilisées dans le modèle sont représentées sur la Figure : 50.



La figure suivante représente la déformée de la structure selon la file L, pour les contraintes thermiques issues du scénario 3, à 650 secondes après le début de l'incendie. La déformation visuelle de la structure est augmentée de 20 fois.



Figure 51 : Déformée (x20) de la structure selon la file L à t=650 s



Figure 52 : Calcul structure SC3 - déplacements horizontaux de quelques nœuds de la file L Convention : déplacement positif dans le sens +x et négatif dans le sens -x





Figure 53 : Calcul structure SC3 - déplacements verticaux de quelques nœuds de la file L

La structure métallique présente un signe de ruine local à proximité immédiate du foyer qui occasionne un arrêt de calcul 650 secondes après le début de l'incendie. La ruine se situe au niveau de la cornière 70x50x6, un élément qui pris isolément ne présente pas de contribution significative à la capacité porteuse de la structure.

Le déplacement maximal atteint au niveau des extrémités de la file est inférieur à 2 cm. Ces faibles déplacements enregistrés au niveau du reste de la structure associés au retour d'expérience sur la cellule voisine qui présente des structures analogues ne permettent pas d'identifier un risque de ruine complète de la structure pendant le temps simulé.

### 5.3.3.2 File 17



Les différentes sections utilisées dans le modèle sont représentées sur la Figure 54.



La figure suivante représente la déformée de la structure selon la file 17, pour les contraintes thermiques issues du scénario 3, à 800 secondes après le début de l'incendie. La déformation visuelle de la structure est augmentée de 20 fois.



Figure 55 : Déformée de la structure (x20) selon la file 17 à t=800 s



Figure 56 : Calcul structure SC3 - déplacements horizontaux des extrémités de la file 17 Convention : déplacement positif dans le sens +x et négatif dans le sens -x

On constate que la structure subit une dilatation thermique. Les extrémités de la structure se déplaçant lors de cette phase vers l'extérieur. Le déplacement maximal atteint au niveau du points de mesure « c » est de 6 cm. Aux temps plus longs les déformations plastiques et le poids de la charpente doivent entraîner la structure vers l'intérieur, comme observé classiquement sur ce type d'entrepôt de faible hauteur.

La structure présente un signe de ruine locale qui occasionne un arrêt de calcul 800 secondes après le début d'incendie. Les faibles déplacements enregistrés au niveau du reste de la structure n'indiquent pas de risque de ruine complète de la structure pendant le scénario simulé.



### 5.3.4 Estimation du temps d'évacuation

La détection a eu lieu au bout de 12 secondes. Le temps de mise en mouvement est pris à 60 s. La distance d'évacuation jusqu'à la sortie de secours la plus proche est de 75 m soit un temps de parcours pour l'évacuation de 75 s (hypothèse de marche à 1 m/s). Le temps total d'évacuation est de 147 s soit 2 minutes et 27 secondes.

Mis à part le flux thermique radiatif à proximité immédiate du foyer, le temps de remise en cause de l'évacuation déterminé par la visibilité est de 618 s soit 10 minutes et 18 secondes. L'évacuation est donc réalisable.

Le temps de ruine d'un élément léger de la structure constaté après 650 s à proximité immédiate du foyer est compatible avec le temps total d'évacuation.

### 5.3.5 Conditions d'intervention

La cartographie des températures est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 57. L'échelle est prise entre 20 et 100 °C. Les températures restent acceptables durant 15 minutes.



Figure 57 : Cartographie des températures à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°3



La cartographie des flux thermiques est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 58. L'échelle est prise entre 0 et 5 kW/m<sup>2</sup>.



Figure 58 : Cartographie des flux thermiques à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°3

La cartographie des coefficients d'extinction (visibilité) est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 59. L'échelle est prise entre 0 et 0.4 m<sup>-1</sup>. Sur la figure à t=15 min, on constate une dégradation totale des conditions de visibilité dans toute la cellule (fumées sous 2 m). Cette dégradation apparaît dans les simulations à partir de 12-13 minutes.



Figure 59 : Cartographie des coefficients d'extinction à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°3

A noter qu'il y a un risque de ruine locale constaté dans la zone du foyer après 11 minutes de feu environ mais uniquement dans la zone où le niveau du flux thermique radiatif interdit l'approche.

On rappelle que dans la simulation les conditions de ventilation du foyer ne sont plus respectées après 17 minutes. Toutefois compte-tenu de la faible tenue au feu de certains éléments (en particulier les éléments translucides dans les sheds et le long des bardages latéraux) l'occurrence d'évènements thermiques brutaux associés à la sous-ventilation semble peu probable.



# 5.4 Scénario n°4 : Foyer proche de la paroi nord de la cellule 02

#### 5.4.1 Développement du feu et emprise des fumées

La Figure 60 représente l'évolution de la puissance du feu comparée au débit de pyrolyse correspondant.

Le feu est initié sur une palette au bas d'un des racks proche de la paroi nord de la cellule et se propage par transfert thermique aux palettes voisines. La puissance croît rapidement atteignant 600 MW à t=17 minutes. Après 17 minutes, le foyer est sous-ventilé.

La puissance de feu est analogues à celle du scénario précédent pour des raisons similaires (départ de feu à cheval sur deux cantons, etc.)



Figure 60 : Evolution de la puissance du feu au cours de la simulation – scénario n°4

La détection a eu lieu au bout de 12 secondes.

Conformément aux hypothèses fixées le système de désenfumage des deux cantons impactés est donc déclenché à t=12+500 s soit cinq minutes et 12 secondes après le départ de feu.

L'emprise des fumées est représentée sur la Figure 61. Le départ de feu est situé sous un écran de cantonnement et les fumées produites se propagent dans les deux cantons audessus du foyer. A partir de 4 minutes de feu, les fumées se propagent aux cantons voisins. Au-delà de 15 minutes, il y a une emprise générale des fumées dans la cellule.





Figure 61 : Plans de température à 7 m (bord inférieur des écrans de cantonnement, échelle entre 20 et 140°C), et emprise des fumées dans la cellule 02 – scénario n°4



#### 5.4.2 Conditions d'évacuation

Pour rappel, les critères seuils sont définis par le Guide des bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage [8], à savoir, à 2 m du sol un flux thermique ne dépassant pas 2 kW/m<sup>2</sup>, une température ne dépassant 40 °C et un coefficient d'extinction (visibilité) ne dépassant pas 0.4 m<sup>-1</sup>. On ne tient pas compte du flux rayonné au voisinage du départ de feu, puisqu'il s'agit d'une zone qui sera évacuée très rapidement du fait d'une prise de conscience immédiate de la menace. Les résultats de modélisation sont présentés ci-après.



Figure 62 : Remise en cause de l'évacuation selon les critères seuils

Sur les figures précédentes, la zone en noir correspond à la zone de remise en question de l'évacuation selon les critères choisis. Hormis à proximité immédiate de la zone du foyer, l'évacuation est remise en cause par la perte de visibilité à 2 m du sol à partir de 9 minutes et 11 secondes.



### 5.4.3 Comportement mécanique de la structure

#### 5.4.3.1 File L

Les différentes sections utilisées dans le modèle sont représentées sur la Figure 63.



La figure suivante représente la déformée de la structure selon la file L, pour les contraintes thermiques issues du scénario 4, à 800 secondes après le début de l'incendie. La déformation visuelle de la structure est augmentée de 20 fois.



Figure 64 : Déformée de la structure (x20) selon la file L à t=800 s



Figure 65 : Calcul structure SC4 - déplacements horizontaux des extrémités de la file L Convention : déplacement positif dans le sens +x et négatif dans le sens -x



On constate que la structure subit une dilatation thermique. Les extrémités de la structure se déplaçant lors de cette phase vers l'extérieur. Le déplacement maximal atteint au niveau du point de mesure « a» est de 16 cm. Aux temps plus longs les déformations plastiques et le poids de la charpente doivent entraîner la structure vers l'intérieur, comme observé classiquement sur ce type d'entrepôt de faible hauteur.

La structure présente un signe de ruine locale qui occasionne un arrêt de calcul 800 secondes après le début d'incendie. Les faibles déplacements enregistrés au niveau du reste de la structure n'indiquent pas de risque de ruine complète de la structure pendant le scénario simulé.

### 5.4.3.2 File 13

Les différentes sections utilisées dans le modèle sont représentées sur la Figure 66.



La figure suivante représente la déformée de la structure selon la file 13, pour les contraintes thermiques issues du scénario 4, à 800 secondes après le début de l'incendie. La déformation visuelle de la structure est augmentée de 20 fois.



Figure 67 : Déformée de la structure (x20) selon la file 13 à t=800 s





Figure 68 : Calcul structure SC4 - déplacements horizontaux des extrémités de la file 13 Convention : déplacement positif dans le sens +x et négatif dans le sens -x

On constate que la structure subit une dilatation thermique. Les extrémités de la structure se déplaçant lors de cette phase vers l'extérieur. Le déplacement maximal atteint au niveau du point de mesure « c» est de 4 cm. Aux temps plus longs les déformations plastiques et le poids de la charpente doivent entraîner la structure vers l'intérieur, comme observé classiquement sur ce type d'entrepôt de faible hauteur.

La structure présente un signe de ruine locale à proximité immédiate du foyer au niveau des points de mesure « e,f » qui occasionne un arrêt de calcul 800 secondes après le début d'incendie. Les faibles déplacements enregistrés au niveau du reste de la structure n'indiquent pas de risque de ruine complète de la structure pendant le scénario simulé.

### 5.4.4 Estimation du temps d'évacuation

La détection a eu lieu au bout de 12 secondes. Le temps de mise en mouvement est pris à 60 s. La distance d'évacuation jusqu'à la sortie de secours la plus proche est de 75 m soit un temps de parcours pour l'évacuation de 75 s (hypothèse de marche à 1 m/s). Le temps total d'évacuation est de 147 s soit 2 minutes et 27 secondes.

Mis à part le flux thermique radiatif à proximité immédiate du foyer, le temps de remise en cause de l'évacuation déterminé par la visibilité est de 551 s soit 9 minutes et 11 secondes. L'évacuation est donc réalisable.

Les risques de ruine locale sont constatés après 13 minutes, avant la phase de sousventilation. La stabilité est suffisante par rapport au temps d'évacuation.



### 5.4.5 Conditions d'intervention

La cartographie des températures est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 69. L'échelle est prise entre 20 et 100 °C. Les températures restent acceptables durant 15 minutes bien.



Figure 69 : Cartographie des températures à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°4

La cartographie des flux thermiques est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 70. L'échelle est prise entre 0 et 5 kW/m<sup>2</sup>.



Figure 70 : Cartographie des flux thermiques à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°4



La cartographie des coefficients d'extinction (visibilité) est représentée à t=5, 10, et 15 minutes sur la Figure 71. L'échelle est prise entre 0 et 0.4 m<sup>-1</sup>. Sur la figure à t=15 min, on constate une dégradation totale des conditions de visibilité dans partie importante de la cellule (fumées sous 2 m). Cette dégradation apparaît dans les simulations à partir de 14-15 minutes.



Figure 71 : Cartographie des coefficients d'extinction à 2 m du sol pour les conditions d'intervention des secours dans la cellule de stockage – scénario n°4

A noter qu'il y a un risque de ruine locale constaté dans la zone du foyer après 13 minutes de feu mais uniquement dans la zone où le niveau du flux thermique radiatif interdit l'approche.

On rappelle que dans la simulation les conditions de ventilation du foyer ne sont plus respectées après 17 minutes. Toutefois compte-tenu de la faible tenue au feu de certains éléments (en particulier les éléments translucides dans les sheds et le long des bardages latéraux) l'occurrence d'évènements thermiques brutaux associés à la sous-ventilation semble peu probable.



# 6 SYNTHESE ET RECOMMANDATIONS

Dans le cadre du projet d'aménagement d'un entrepôt existant sur le site de la Française de Mécanique à Douvrin, ce rapport vise à évaluer une solution de conception basée sur un recoupement en deux cellules d'environ 20 000 m<sup>2</sup> chacune.

L'étude est exigée dans le cadre des prescriptions de l'Arrêté du 11 avril 2017 [7] qui permet l'exploitation de cellules non recoupées de plus de 12000 m<sup>2</sup> et de moins de 13.7 m de hauteur, à la condition suivante : « A l'appui de cet engagement, l'exploitant fournit une étude spécifique d'ingénierie incendie qui démontre que la cinétique d'incendie est compatible avec la mise en sécurité et l'évacuation des personnes présentes dans l'installation et l'intervention des services de secours aux fins de sauvetage de ces personnes. ».

La réhabilitation du bâtiment existant, de ses équipements, et l'étendue des surfaces non recoupées (très atypiques en France) présentent de nombreuses contraintes qui demandent effectivement différents niveaux de justifications techniques dans le cadre du projet. La présente synthèse vise donc à présenter les conclusions de l'étude par rapport aux principaux objectifs de sécurité :

- 1. Protection de la santé et de la vie des occupants ;
- 2. Faciliter l'intervention des services de secours ;
- 3. Protection des biens.

Les exigences fonctionnelles associées à ces objectifs sont, respectivement, les suivantes :

- 1. Vérifier que les conditions de tenabilité sont maintenues pendant la durée nécessaire à l'évacuation des occupants;
- 2. Evaluer le temps disponible pour l'intervention et identifier des éléments d'aide à la décision ;
- 3. Vérifier si la solution de conception et les systèmes de mise en sécurité incendie associés (détection, désenfumage) ne compromettent pas l'efficacité de l'extinction automatique.



# 6.1 Résultats relatifs aux conditions d'évacuation des occupants

#### 6.1.1 Synthèse

Le tableau ci-dessous compare le temps de remise en cause des conditions d'évacuation au temps nécessaire pour l'évacuation.

	SCENARIO	SCENARIO	SCENARIO	SCENARIO
	1	2	3	4
Temps de remise en cause des conditions de tenabilité pour les occupants (hors proximité immédiate du foyer	590 s	566 s	618 s	551 s
Temps de remise en cause locale des conditions de stabilité	800 s/900s	800 s/900 s	650 s/800 s	800 s
Temps nécessaire pour l'évacuation	148 s	148 s	147 s	147 s

Tableau 4 synthèse des temps de remise en cause des conditions de tenabilité pour les occupants

Le cantonnement, le désenfumage et la grande volumétrie du bâtiment permettent d'obtenir des conditions de tenabilité acceptables pour les occupants jusqu'à plus de 9 minutes environ après le départ de feu, hormis au voisinage immédiat du foyer où ceux-ci prendraient rapidement conscience d'un départ de feu.

On constate que le temps de remise en cause des conditions est plus de trois fois supérieur au temps nécessaire à l'évacuation des occupants. L'évacuation est donc réalisable dans tous les cas avec une marge de sécurité importante.

### 6.1.2 Recommandations

Ce résultat repose sur la prise en compte d'une alarme d'évacuation asservie sans délai au déclenchement de la détection automatique incendie.

Il est recommandé que les indications de balisement des cheminements, qui doivent rester visibles de jour et de nuit, soient adaptés et renforcés à l'échelle de la volumétrie du bâtiment.

Les dispositions organisationnelles permettant un recensement rapide des occupants ayant évacué la cellule impactée devront être adaptées aux dimensions importantes de l'ouvrage.



# 6.2 Résultats relatifs aux conditions d'intervention

#### 6.2.1 Synthèse

Le tableau ci-dessous synthétise le temps de remise en cause des conditions d'intervention pour les différents scénarios :

Temps de remise en cause des	SCENARIO	SCENARIO	SCENARIO	SCENARIO 4				
		<u> </u>						
Température > 100°C (hors zone	A l'intérieur	d'une zone de	e 15 m x 15 m	avant 10 minutes ;				
de panache du foyer)	Sur toute la cellule après 15 minutes.							
Flux thermique radiatif > 5 kW/m²	après 5 minutes : dans une zone de 3 m environ autour du point d'ignition ; après 10 minutes : dans une zone de 14 m environ autour du foyer environ ; après 15 minutes : dans une zone de 25 m environ autour du point d'ignition.							
Temps de remise en cause	Entre 10 et	15 minutes da	ans la zone de	e remise en cause				
locale des conditions de stabilite		des flux the	rmiques radia	atifs.				
Temps de remise en cause globale des conditions de stabilité	Pas de signe de ruine généralisée de la structure identifié pendant le temps simulé							

Tableau 5 synthèse des temps de remise en cause des conditions de tenabilité pour les services de secours

Les constats sont similaires entre les quatre scénarios réalisés :

Entre 10 et 15 minutes l'ensemble des capteurs montrent une accélération de la dégradation des conditions de tenabilité. Les premiers effets localisés sur la structure sont identifiés à l'aplomb de la zone de foyer.

Au-delà de 10 minutes après le départ de feu, l'accélération significative de la cinétique de l'incendie annonce une remise en cause brutale des conditions de tenabilité. En première approximation ce délai de 10 minutes correspond au moment où plus de la moitié des cantons d'une cellule sont remplis de fumées et où le désenfumage est déclenché sur un ou deux cantons. Toutefois on remarque que les températures et les flux radiatifs en dehors du canton impacté restent relativement tenables pour les intervenants jusqu'à 15 minutes.

On identifie un risque à ce stade car après 15 minutes on observe une dégradation brutale des conditions due à l'abaissement au sol du plafond de fumées chaudes, ce qui pourrait piéger des intervenants qui se seraient engagés dans la cellule.

Les phénomènes thermiques liés à la sous-ventilation après 14 minutes semblent peu probables mais ne peuvent être complètement exclus.

De plus, le système d'extinction automatique, si celui-ci est correctement dimensionné, installé et entretenu, devrait limiter d'une part la propagation de l'incendie et d'autre part les contraintes thermiques sur les éléments de structure (localement et globalement).



#### 6.2.2 Recommandations

Compte-tenu des risques identifiés, un engagement au sein de la cellule impactée n'est pas recommandé. Un engagement partiel sous structure ne serait envisageable que dans un périmètre restreint autour d'un accès facilement accessible (baie, porte de quai)

Si les exutoires se sont ouverts sur plus de deux cantons simultanément via leur dispositif de sécurité (thermofusible) un engagement même partiel n'est pas recommandé.

Si le Plan d'Opération Interne prévoit un engagement dans une cellule impactée par un feu, il est recommandé d'envisager des dispositions techniques susceptibles d'apporter des éléments d'appréciation du stade de développement du feu depuis l'extérieur afin de limiter les risques pour les services de secours.

## 6.3 Résultats relatifs à la protection des biens

#### 6.3.1 Note relative à la preuve de l'efficacité du système d'extinction automatique

La protection des biens, mais également des occupants et des intervenants est également visée par les systèmes d'extinction automatique à eau qui permettent de contrôler le développement d'un feu, voire d'éteindre un feu précocément.

Or l'Arrêté du 11 avril 2017 [7] prescrit : « §7 .../...1. La surface des cellules peut dépasser 12 000 m2 si leurs hauteurs respectives ne dépassent pas 13,70 m et si le système d'extinction automatique d'incendie permet à lui seul l'extinction de l'incendie, est conçu à cet effet, et est muni d'un pompage redondant//... ». On constate donc que dans le cadre du projet un objectif de résultat est imposé à l'installation d'extinction automatique. La question est de savoir comment vérifie-t'on l'atteinte de cet objectif sachant qu'une grande variété de potentiel calorifique peut relever de la rubrique 1510 avec des cinétiques de développement de feu potentiellement très différentes.

Concernant l'état de l'art en matière de modélisation de l'extinction, le Groupe CNPP se positionne comme expert sur le sujet pour avoir financé plusieurs thèses en collaboration avec le laboratoire de recherche LEMTA. Ces travaux ont fait l'objet de campagnes expérimentales réalisées sur le site du Groupe CNPP et qui ont permis d'améliorer les modèles numériques existants, comme en attestent plusieurs publications dans des ouvrages internationaux à comité de lecture [19, 20, 21, 22].

Malgré la progression de ces travaux le Groupe CNPP estime que les modèles d'extinction ne sont pas encore suffisamment aboutis pour une application aux études ISI, application qui relève encore à ce jour de la recherche académique (les modèles de refroidissement de surface et d'évaporation des gouttes dans la flamme doivent en particulier être améliorés).

La meilleure preuve d'efficacité possible (en dehors de l'essai à échelle réelle, qui pose des problèmes de coût et de représentativité quant à la typologie de stockage) reste (i) l'identification du système le plus approprié, et (ii) le respect du référentiel d'installation associé à ce système.

A ce jour, seul le système de type ESFR permet une action suffisamment rapide pour pouvoir atteindre un objectif de suppression du feu à un stade précoce, soit ce qui se rapproche le plus de l'extinction. L'apport de la présente étude consiste à vérifier si la principale caractéristique de l'ESFR, soit l'action rapide, peut-être compromise dans la solution de conception étudiée.



#### 6.3.2 Synthèse et résultats complémentaires

L'étude de désenfumage a donc été réalisée sans prise en compte de l'action du système d'extinction automatique à eau. Il est néanmoins possible d'évaluer le temps de déclenchement de la première tête sprinkleur, de façon à vérifier (i) que le sprinkleur se déclenche effectivement avant le désenfumage, ce qui est une condition imposée par le référentiel d'installation dans un entrepôt en particulier, et (ii) que la présence des sheds ne perturbe pas significativement le déclenchement du désenfumage.

L'évolution temporelle de la température d'un élément sensible (équipant un sprinkleur ou un exutoire) se traduit par l'équation différentielle suivante (des termes secondaires ne sont pas précisés) :

$$\frac{\mathrm{d}T_l}{\mathrm{d}t} = \frac{\sqrt{|\mathbf{u}|}}{\mathrm{RTI}} (T_g - T_l)$$

Où T<sub>I</sub> représente la température de l'élément sensible, T<sub>g</sub> la température des gaz environnants, **u** la magnitude de la vitesse des gaz environnants et RTI l'index de temps de réponse. La rupture de l'élément sensible est atteinte lorsque T<sub>I</sub> atteint le seuil fixé au préalable (74°C pour une tête ESFR et 140°C pour un exutoire dans le cas présent).

Comme les températures et vitesses de gaz n'ont pas pu être instrumentés au même point dans les scénarios incendie réalisés, deux simulations spécifiques ont été réalisées selon des dispositions pénalisantes :

- Foyer placé entre 4 têtes sprinkleur, entre deux sheds ;
- Têtes sprinkleur placées à 30 cm en dessous de la couverture ;
- Dans le cas de la solution non dérogatoire, les sheds sont occultés avec un plafond et les têtes équipant les sheds sont descendues à 30 cm sous ce plafond ;
- Dans le cas de la solution dérogatoire, les sheds sont recoupés tous les 6 mètres et équipés de têtes placées à 30 cm sous le point le plus haut, les têtes les plus proches sont placées à 30 cm du bord des sheds ;

Il a été vérifié dans les résultats de calculs que les puissances de feu sont quasiment identiques.





Figure 72 : Configuration pour la simulation du déclenchement des têtes ESFR



Figure 73 : Comparaison de l'évolution dans le temps de la température des éléments sensibles, entre les solutions dérogatoires et non dérogatoires



L'ordre de déclenchement des premières têtes est précisé sur la figure suivante (on rappelle que le temps de déclenchement des têtes 2, 3 et 4 sera très probablement affecté par le déclenchement de la première tête, et que cet effet n'est pas pris en compte dans les simulations).



Figure 74 : Ordre de déclenchement des premières têtes ESFR

Le temps de déclenchement des premiers éléments sensibles est reporté ci-dessous :

Elément sensible	Tête n°1	Tête n°2	Tête n°3	Tête n°4	Exutoire le plus proche
Temps de déclenchement Solution non dérogatoire	206 s	230 s	231 s	240 s	330 s
Temps de déclenchement Solution dérogatoire	213 s	223 s	232 s	233 s	325 s

Tableau 6 : Temps de déclenchement des premiers éléments sensibles (sans prise en compte de l'effet de l'aspersion)

Sur la base de ces résultats on fait les constats suivants :

- Le temps de déclenchement de la première tête est évalué à 3 minutes 26 secondes pour la solution non dérogatoire et à 3 minutes 33 secondes pour la solution dérogatoire ;
- Les courbes de température et l'ordre de déclenchement montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux solutions ;
- Le déclenchement du désenfumage sur fusible thermique est observé en moyenne deux minutes après le déclenchement des premières têtes ;

Ces résultats tendent à montrer une équivalence de performances en terme de précocité d'action du système d'extinction entre la solution dérogatoire et la solution non dérogatoire.



#### 6.3.3 Recommandations

Si les exutoires ne se sont pas ouverts à l'arrivée de l'agent de sécurité en charge du déclenchement du désenfumage, celui-ci pourra déclencher le désenfumage du ou des cantons impactés seulement après déclenchement de l'installation d'extinction automatique.

Le déclenchement du désenfumage de l'ensemble de la cellule après le déclenchement de l'installation sprinkleur peut permettre d'éviter le déclenchement en série de têtes qui ne sont pas à l'aplomb direct du foyer.

Groupe CNPP	
Direction R&D et Innovation Direction Direction	
Armelle MULLER	
Signature électronique	

# 7 BIBLIOGRAPHIE

### DONNEES D'ENTREE

- [1] Données GSE, 13726 APS 02 PLAN MASSE PROJET Ind I variante 2 Cellule 30-08-2017.dwg, Fourni le 16/10/2017.
- [2] Données GSE, 13726 APS ANNEXE 4 PLAN DE DESEMFUMAGE Ind D Variante 2 cellule du 13-10-2017.pdf, fournis le 16/10/2017.
- [3] Données GSE, 13726 IB CONCEPT ETUDE DE FAISABILITE.pdf, Fourni le 16/10/2017.
- [4] Données GSE, 13726 Note technique sprinkler PDF.pdf, Fourni le 16/10/2017.
- [5] Données GSE, Dossier structure métallique (185 fichiers), Fourni le 16/10/2017.
- [6] Données GSE, implantation Douvrin 2 cellules 20171013.dwg, Fourni le 16/10/2017.

### REFERENCES

- [7] Arrêté du 11 avril 2017, relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts couverts soumis à la rubrique 1510, y compris lorsqu'ils relèvent également de l'une ou plusieurs des rubriques 1530, 1532, 2662 ou 2663 de la nomenclature des ICPE.
- [8] LCPP, Guide de bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage, Paris, 2017.
- [9] CNPP, Compte-rendu de réunion technique sur site, 25/09/2017.
- [10] CNPP, Référentiel APSAD R7, Règle d'installation : Détection automatique d'incendie, Saint-Marcel: CNPP Editions, 2007.
- [11] NFPA, Norme NFPA 13 Installation de systèmes sprinkleurs (Traduction en français de la norme NFPA 13@CNPP), NFPA, 2016.
- [12] CNPP, Référentiel APSAD R1, Extinction automatique à eau de type sprinkleur, Mars 2015.
- [13] Réglementation ERP Type GA Arrêté du 24/12/2007, portant approbation des règles de sécurité contre portant approbation des règles de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les gares..



- [14] NF EN 1991-1-4, Eurocode 1 : actions sur les structures Partie 1-4 : actions générales Actions du vent, AFNOR, Novembre 2005.
- [15] NF EN 1991-1-3, Eurocode 1 Actions sur les structures Partie 1-3 : actions générales - Charges de neige, Avril 2004.
- [16] EN 1993-1-2, Eurocode 3: Calcul des structures en acier Partie 1-2: Règles générales Calcul du comportement au feu, Bruxelles: CEN, Novembre 2002.
- [17] FLUMILOG, «Description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt,» 2011.
- [18] British Standards Institute, BSI 7974-6, The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings, Part 6: Human factors: Life safety strategies occupant evacuation, behaviour and condition, 2004.
- [19] A. Jenft; P. Boulet; A. Collin et G. Pianet; A. Breton; A. Muller, «Can we predict fire extinction by water mist with FDS?,» *Mechanics and Industry*, vol. DOI10.1051/meca/2013079, December 2013.
- [20] A. Jenft; A. Collin; P. Boulet et G. Pianet; A. Breton; A. Muller, «Experimental and numerical study of pool fire suppression using water mist,» *Fire Safety Journal*, vol. DOI10.1016/j.firesaf.2014.05.003, July 2014.
- [21] A. Jenft; P. Boulet; A. Collin; et N. Trevisan; P.N. Mauger; G. Pianet, «Modeling of fire suppression by fuel cooling,» *Fire Safety Journal*, vol. DOI10.1016/j.firesaf.2017.03.067, May 2017.
- [22] N. Trevisan, P. Boulet, Z. Acem, G. Pianet, A. Breton et A. Muller, "Experimental and numerical study of interactions between sprinklers and natural smoke vents," *Fire and Materials*, vol. DOI10.1002/fam.2487, November 2017.

#### RAPPORT D'ETUDE N° CR 17 10811-1



# 8 ANNEXE 1 - MODELES A CHAMPS: CODE FDS

Le code FDS (Fire Dynamic Simulator) développé au NIST est largement reconnu et utilisé en modélisation des phénomènes d'incendie. FDS est utilisé par le CNPP depuis fin 2002, dans le cadre d'études d'ingénierie de la sécurité incendie ou pour l'assistance technique à l'expertise après sinistres. Il s'agit d'un code de mécanique des fluides associé à un modèle de pyrolyse et de combustion qui permet de prédire le déplacement des fumées en prenant en compte les effets aérauliques réels (ventilations, exutoires, *etc.*), et de simuler le phénomène de combustion en fonction non seulement du combustible mais aussi des paramètres ambiants (flux thermiques reçus, température, concentration en oxygène, *etc.*).



Ce type de code dit 'code à champ' ou code de CFD

(Computational Fluid Dynamics) est conçu pour respecter un principe fondamental de conservation généralisé au transport de vitesse, de chaleur et de concentration de l'ensemble des espèces chimiques qui constituent le milieu fluide modélisé. Ces variables fortement couplées doivent être estimées à des intervalles de temps et d'espace petits devant les échelles mises en jeu dans un phénomène d'incendie réel. Le principe de conservation se traduit par un ensemble d'équations discrétisées sur un réseau de points de calcul. En chacun de ces points la résolution numérique des équations donne l'accès à toutes les grandeurs physiques importantes et permet une vision aussi bien locale que globale du phénomène. En définitive la reconstitution numérique d'un incendie repose sur un ensemble complexe de phénomènes interdépendants :

- ✓ La conservation de la quantité de mouvement, qui permet de déterminer la vitesse des fumées et de l'air, ainsi que les différences de pression s'établissant dans le volume considéré;
- ✓ La conservation de l'énergie, qui pilote et répartit les échanges thermiques sous forme de conduction, de convection ou de rayonnement ;
- ✓ Le transport des espèces réactives ou inertes coexistant dans le fluide, qui détermine le déclenchement de réactions chimiques en fonction des bilans stœchiométriques et de la température ;
- ✓ La réaction chimique de pyrolyse et de combustion qui détermine le taux de production de fumées et l'évolution du front de flammes ;
- ✓ La dissipation visqueuse via la modélisation de la turbulence, qui à partir des mouvements tourbillonnants à grande échelle pilote la dissipation d'énergie cinétique à plus petite échelle;
- ✓ Les lois d'état du gaz qui déterminent la variation de densité de l'air et les effets convectifs à l'aplomb d'un foyer.

La résolution nécessite le maillage des bâtiments ou des locaux à étudier avec une finesse dépendant de la puissance et du temps de calcul disponible et du degré de précision recherché.

La documentation relative au logiciel FDS et sa validation est disponible sur le site du NIST (lien actif au 24 octobre 2016):https://pages.nist.gov/fds-smv



# 9 ANNEXE 2 – METHODE DE CALCUL ANALYTIQUE DE LA TEMPERATURE D'UN ELEMENT DE STRUCTURE

La méthode de calcul développée dans les Eurocodes partie 3 s'appuie sur un calcul itératif considérant les échanges thermiques entre les éléments de structure et les gaz environnants.

L'élévation de température de l'élément sur un intervalle de temps  $\Delta t$  est alors déterminée par l'équation suivante :

$$\Delta \theta_{a,t} = \frac{A_m / V}{C_a \times \rho_a} \times h_{net,d} \times \Delta t$$

Avec :  $A_m/V$  : le facteur de massivité de l'élément non protégé (m<sup>-1</sup>)  $A_m$  : la surface exposée de l'élément par unité de longueur (m<sup>2</sup>/m) V : le volume de l'élément par unité de longueur (m<sup>3</sup>/m)  $C_a$  : la chaleur spécifique de l'acier (J/kg/K)  $\rho_a$  : la masse volumique de l'acier (kg/m<sup>3</sup>)  $h_{net,d}$  : flux thermique net (W/m<sup>2</sup>)  $\Delta t$  : l'intervalle de temps (s)

La température critique de tenu d'un élément de structure est déterminée à l'aide des courbes de la *Figure A* ci-après<sup>2</sup> pour les éléments de classe 1, 2 et 3.

Le facteur  $\kappa$ , représentatif de répartition de température dans la poutre, est pris égal à 1 (répartition uniforme de la température, hypothèse majorante).

De manière sécuritaire, le coefficient  $\mu_0$  (taux d'utilisation) est pris égal à 0,7.

Pour les éléments de classe 4, la température critique forfaitaire est de 350 °C.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Nomogrammes. Méthode graphique pour déterminer la résistance au feu des structures en acier, selon EN 1993-1-2:2005





Figure A : méthode graphique pour déterminer la résistance au feu des structures en acier



# **10 ANNEXE 3 – NOTE DE CALCUL DU DESENFUMAGE – PROJET**

#### 13726 BILS-DEROO DOUVRIN Le 13-10-2017

NOTE DE CALCUL DU DESENFUMAGE -PROJET-

#### CELLULE nº01 Zone A

Localisation	Surface du Canton	Nombre de Lan ( 1 pour	Minimum terneaux r 250 m² )	Taux n	Taux minimum		minimum exutoires m²			
	971,00 m²	4 Lanterneaux		2%		19,42 m²				
			Exutoires existants							
CANTON N <sup>®1</sup>		Dime	Longueur	Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d' Efficacité Totale		
		1,60 m	1,67 m	9	2,67 m²	0,58	1,54 m²	13,86 m²		
			Exutoires creés							
		2,00 m	3,00 m	1	6,00 m <sup>3</sup>	0,76	4,56 m <sup>3</sup>	4,56 m²		
	TOTAL			10 (Conforme)	30,05 m²			18,42 m <sup>2</sup> (Conforme)		

Localisation	Surface du Canton	Nombre Min de Lanterne ( 1 pour 250	imum eaux ) m² )	Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²				
	318,00 m²	2 Lanterneaux		2%		6,36 m²				
		Dimension	IS	Nombre	Surface Géométrique	Coefficient d'Efficacité	Surface d'Efficacité	Surface d' Efficacité		
CANTON N <sup>®</sup> 02		Largeur Lo	ongueur	matane	Unitaire	d Emcacite	Unitaire	Totale		
		4.60 m	4.67	0	2.671	0.50	4.64	2.002		
		1,60 m	1,67 m	2	2,67 m-	0,56	1,54 m*	3,00 m-		
			Exutoires creés							
		2,00 m 3	3,00 m	1	6,00 m²	0,76	4,56 m <sup>2</sup>	4,56 m <sup>2</sup>		
	TOTAL			3 (Conforme)	11,34 m²			7,64 m² (Conforme)		

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1290,00 m²	6 Lante	erneaux	2%		25,80 m²		
		Exutoires existants Dimensions Nontre Surface Coefficient Interview dt Efficient						
				Nombre	Surface Géométrique	Coefficient d'Efficacité	Surface d'Efficacité	Surface d'Efficacité
CANTON N <sup>®</sup> 3		Largeur	Longueur	motune	Unitaire	u Emodelle	Unitaire	Totale
		1,60 m	1,67 m	8	2,67 m²	0,58	1,54 m²	12,32 m <sup>2</sup>
		Exutoires creés						



								1
		2,00 m	3,00 m	3	6,00 m²	0,76	4,56 m <sup>2</sup>	13,68 m²
	TOTAL			11 (Conforme)	39,38 m²			26,00 m <sup>2</sup> (Conforme)
Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1281,00 m²	6 Lant	erneaux	ux 2% 25,62 m <sup>2</sup>		52 m²		
				Exutoir	res existants			
		Dime	ensions	Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d'Efficacité	Surface d' Efficacité
CANTON N 04		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale
		1,60 m	1,67 m	12	2,67 m²	0,58	1,54 m²	18,48 m²
				Exuto	oires creés			
								0.40
		2,00 m	3,00 m	2	6,00 m²	0,76	4,56 m²	9,12 m²
	TOTAL			14 (Conforme)	44,06 m²			27,60 m² (Conforme)

#### CELLULE n<sup>®</sup>1 Zone B

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
1445,00 m²		6 Lanterneaux		2%		28,90 m²		
			Exutoires existants					
		Dime	Dimensions		Surface Géométrique	Coefficient d'Efficacité	Surface d'Efficacité	Surface d'Efficacité
		Largeur	Longueur	motune	Unitaire	u Emodolite	Unitaire	Totale
CANTON N 05								
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnes
		1,40 m	m 1,40 m 3 1,96 m 0,56 1,13 m Exutoires creés					2'28 III.
								47.44
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²
	TOTAL			9 (Conforme)	41,88 m²			30,75 m² (Conforme)

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m <sup>2</sup>		
	1273,00 m²	6 Lante	erneaux	2%		25,46 m²		
				Exutoires existants				
		Dimensions		Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d'Efficacité	Surface d'Efficacité	Surface d'Efficacité
CANTON N <sup>06</sup>		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale
		1,18 m	2,82 m	8	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés



		Exutoires creés						
	2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²	
TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)	

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1330,00 m²	6 Lanterneaux		2%		26,60 m²		
				Exutoir				
		Dimensions		Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité
CANTON N <sup>®</sup> 7		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale
		1.18 m	2.82 m	6	3.33 m²	0.58	1.93 m <sup>2</sup>	Abandonnés
		1,40 m	1,40 m	2	1,96 m²	0,58	1,13 m²	2,26 m <sup>2</sup>
			0.00	_	0.00 1	0.70	4.55	07.00
		2,00 m	3,00 m	0	6,00 m²	0,76	4,56 m²	21,36 m*
	TOTAL			8 (Conforme)	39,92 m²			29,62 m² (Conforme)

Localisation	Surface du Canton	Nombre de Lant ( 1 pour	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		minimum exutoires m²			
	1301,00 m²		6 Lanterneaux		2%		26,02 m²			
			Exutoires existants							
		Dime	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité		
CANTON N <sup>6</sup> 08		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale		
		1,18 m	2,82 m	8	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés		
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m <sup>2</sup>	0,76	4,56 m <sup>2</sup>	27,36 m <sup>2</sup>		
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m² (Conforme)		

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1296,00 m²	6 Lante	erneaux	2%		25,92 m²		
				Exutoir	res existants			
		Dimer	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d'Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité
CANTON N <sup>6</sup> 09		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale
		1,18 m	2,82 m	8	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés



		Exutoires creés							
	2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²		
TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)		

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1274,00 m²	6 Lante	erneaux	2	2%	25,4	8 m²	
CANTON Nº10		Dimensions		Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d' Efficacité Totale
or attront to								
		1,18 m	2,82 m	8	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)

Localisation	Surface du Canton	Nombre de Lant ( 1 pour	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		minimum exutoires m²		
	683,00 m²	3 Lanterneaux		2%		13,66 m²			
			Exutoires existants						
CANTON Nº1		Dime Largeur	Longueur	Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d' Efficacité Totale	
		1,18 m	2,82 m	4	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés	
		Exutoires creés							
		2,00 m	3,00 m	3	6,00 m²	0,76	4,56 m <sup>2</sup>	13,68 m²	
		L							
	TOTAL			3 (Conforme)	18,00 m²			13,68 m <sup>2</sup> (Conforme)	

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1286,00 m²	6 Lanterneaux		2%		25,72 m²		
				Exutoir	res existants			
		Dime	nsions	Nombre	Surface Géométrique	Coefficient d'Efficacité	Surface d'Efficacité	Surface d'Efficacité
CANTON N°12		Largeur	Longueur	macune	Unitaire	u Emedene	Unitaire	Totale
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés



			Exutoires creés								
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²			
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)			
Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux         Surface minimum Taux minimum         Surface minimum Utile d'exutoires en m <sup>2</sup>									
	1301,00 m²	6 Lant	erneaux	2	2%	26,0	12 m²				
				Exutoir	es existants						
CANTON Nº13		Dime	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d' Efficacité Totale			
chart chart ic		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés			
					Exutoires creés						
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²			
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)			

Localisation	Surface du Canton	Nombre de Lant ( 1 pour	Minimum terneaux • 250 m² )	Taux n	ninimum	Surface Utile d'e en	minimum exutoires m²	
	1295,00 m²	6 Lanterneaux 2% 25,90 m <sup>2</sup>						
		Dime	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d'Efficacité	Surface d'Efficacité Totale
CANTON N 14		Largeu	Longueur		Onnaire		Onitaire	Totale
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux (1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1275,00 m²	6 Lante	erneaux	2%		25,50 m²		
				Exutoi	res existants			
		Dime	nsions	Nombre	Surface Géométrique	Coefficient d'Efficacité	Surface	Surface
CANTON N <sup>95</sup>		Largeur	Longueur	matune	Unitaire	d Emodelie	Unitaire	Totale
1		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
				Exut				


		2,00 m 3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m <sup>2</sup>	27,36 m²
	тоты		6	36.00 m <sup>2</sup>			27 36 m <sup>2</sup>
	IUIAL		(Conforme)	50,00 m			(Conforme)
	Surface	Nombre Minimum			Surface	minimum	
Localisation	du Canton	de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )	Taux n	ninimum	Utile d'e en	exutoires m²	
	683,00 m²	3 Lanterneaux	:	2%	13,6		
			Exutoir	es existants			
CANTON Nº16		Dimensions Largeur Longueur	Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d' Efficacité Totale
CARTONICIO		1,18 m 2,82 m	3	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
		Exutoires creés					
		2,00 m 3,00 m	3	6,00 m²	0,76	4,56 m²	13,68 m²
	TOTAL		3 (Conforme)	18,00 m²			13,68 m <sup>2</sup> (Conforme)

Localisation	Surface du Canton	Nombre de Lant ( 1 pour	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		minimum exutoires ı m²			
	1293,00 m²		6 Lanterneaux		2%		25,86 m²			
CANTON Nº17		Dime	Longueur	Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d' Efficacité Totale		
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés		
			Exutoires creés							
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m <sup>2</sup>	0,76	4,56 m²	27,36 m <sup>2</sup>		
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)		

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )	Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1301,00 m²	6 Lanterneaux	:	2%	26,0		
			Exutoi	res existants			
		Dimensions	Nombre	Surface Géométrique	Coefficient d'Efficacité	Surface	Surface d'Efficacité
CANTON Nº18		Largeur Longueur	motane	Unitaire	d Enleache	Unitaire	Totale
1		1,18 m 2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
			Exutoires creés				



		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)
				(				(001110)
Localisation	Surface du Canton	Nombre de Lant ( 1 pour	Minimum terneaux • 250 m² )	Taux n	ninimum	Surface Utile d'e en	minimum exutoires m²	
	1298,00 m²	6 Lante	erneaux	:	2%	25,96 m²		
				Exutoir	es existants			
		Dime	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d' Efficacité Totale
CANTON N 19		Largeur	Longueur		onitaire		onitaire	Totale
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m <sup>2</sup>	Abandonnés
				Exuto	pires creés			
		200			0.001	0.70	4.50 ml	07.001
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 M²	21,36 m²
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m² (Conforme)

Localisation	Surface du Canton	Nombre de Lant ( 1 pour	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²	
	1276,00 m²		6 Lanterneaux		2%		25,52 m²	
				Exutoi				
		Dimensions		Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité
CANTON N <sup>20</sup>		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
		Exutoires creés						
		2.00	2.00		6 00 m²	0.70	4.662	07.26 2
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m*	0,76	4,56 M*	27,36 M*
TOTAL				6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)

## CELLULE n<sup>®</sup>2

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	684,00 m²	3 Lanterneaux		2%		13,68 m²		
				Exutoir	res existants			
		Dime	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité
CANTON Nº21		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale
		1,18 m	2,82 m	3	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
	I							



				Exuto	ires creés				
		2,00 m	3,00 m	3	6,00 m²	0,76	4,56 m²	13,68 m²	
	TOTAL			3 (Conforme)	18,00 m²			13,68 m² (Conforme)	
Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux Surface minimum Taux minimum Surface minimum Utile d'exutoires en m <sup>2</sup>							
	1291,00 m²	6 Lant	erneaux	2	2% 25,82 m²				
				Exutoir	es existants				
CANTON Nº2		Dime	Longueur	Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d' Efficacité Totale	
0/11/01/11/22		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés	
				Exuto	ires creés				
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²	
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m² (Conforme)	
	Aufres History								

Localisation	Surface du Canton	Nombre de Lant ( 1 pour	de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		ninimum	Surface Utile d'e en				
	1301,00 m²	6 Lanterneaux		:	2%		)2 m²			
			Exutoires existants							
CANTON N23		Dime	Longueur	Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d'Efficacité Totale		
CANTON N 23		Langour	Longuou		ornitanio	<u> </u>	onnano	Totalo		
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés		
			Exutoires creés							
1		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²		
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)		

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1295,00 m²	6 Lanterneaux		2%		25,90 m²		
				Exutoi	res existants			
		Dime	nsions	Nombre	Surface Géométrique	Coefficient d'Efficacité	Surface d'Efficacité	Surface
CANTON Nº24		Largeur	Longueur	instane	Unitaire	d Encacite	Unitaire	Totale
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
		Exutoires creés						



		I					
		2,00 m 3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²
	TOTAL		6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)
	Surface	Nombre Minimum			Surface	minimum	
Localisation	du Canton	de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )	Taux n	ninimum	Utile d'e en	xutoires m²	
	1273,00 m²	6 Lanterneaux	:	2%	25,4	6 m²	
			Exutoir	res existants			
CANTON N25		Dimensions Largeur Longueur	Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d' Efficacité Totale
		1,18 m 2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
			Exuto	pires creés			
		2,00 m 3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²
	TOTAL		6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup>

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux n	ninimum	Surface minimum Utile d'exutoires en m <sup>2</sup>		
1556,00 m		7 Lant	erneaux	:	2%	31,12 m²		
		Dime	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité
CANTON Nº6		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale
CANTON N 20								
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
		1,40 m	1,40 m	2	1,96 m²	0,58	1,13 m²	2,26 m <sup>2</sup>
				Exute	pires creés			
		2,00 m	3,00 m	7	6,00 m²	0,76	4,56 m²	31,92 m²
		<b></b>						
	TOTAL			9 (Conforme)	45,92 m²			34,18 m <sup>2</sup> (Conforme)

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1550,00 m²	7 Lanterneaux		2%		31,00 m²		
				Exutoi	res existants			
		Dime	nsions	Nombre	Surface	Coefficient	Surface	Surface
		Largeur	Longueur	Installe	Unitaire	d. Etticacite	d' Efficacite Unitaire	d'Efficacite Totale
CANTON N <sup>27</sup>		gen			0.111011.0		erntan e	
		1,18 m	2,84 m	6	3,35 m²	0,58	1,94 m²	Abandonnés
		1,40 m	1,40 m	3	1,96 m²	0,58	1,13 m²	3,39 m²
I		I						I



				Exuto	ires creés				
		2,00 m	3,00 m	7	6,00 m²	0,76	4,56 m²	31,92 m²	
	TOTAL			10 (Conforme)	47,88 m²			35,31 m² (Conforme)	
Localisation	Surface du Canton	Nombre de Lant ( 1 pour	Minimum terneaux • 250 m² )	Taux n	ninimum	Surface Utile d'e en	minimum exutoires m²		
	1014,00 m²	5 Lant	erneaux	2	2%		28 m²		
		Exutoires existants							
		Dime	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d'Efficacité	Surface d'Efficacité Totale	
CANTON N <sup>28</sup>		Largeur	Longueur		onitaire		onitaire	Totale	
	1	1,18 m	2,82 m	4	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés	
		1,40 m	1,40 m	2	1,96 m²	0,58	1,13 m²	2,26 m²	
		Exutoires creés							
		2,00 m	3,00 m	4	6,00 m²	0,76	4,56 m²	18,24 m²	
	TOTAL			6 (Conforme)	27,92 m²			20,50 m <sup>2</sup> (Conforme)	

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²				
	1040,00 m²	5 Lanterneaux		2% 20,80 m²		5 Lanterneaux 2%		20,80 m²		
				Exutoi	res existants					
		Dime	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité		
CANTON N29		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale		
CANTON N23		4 49	2.02.00		2.22 m3	0.59	1.02 m2	Abandonnás		
		1,10 m	1,40 m	1	1,96 m <sup>2</sup>	0,58	1,13 m <sup>2</sup>	1,13 m <sup>2</sup>		
					oires creés	creés				
		2.00	2.00	<u>د</u>	6.00 m3	0.76	4.55 m2	22.901		
		2,00 m	3,00 m		0,00 m-	0,70	4,56 m*	22,30 m-		
	TOTAL			6 (Conforme)	31,96 m²			23,93 m <sup>2</sup> (Conforme)		

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1318,00 m²	6 Lante	erneaux	2%		26,36 m²		
			Exutoires existants					
		Dimer	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité
CANTON N <sup>30</sup>		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale
		1,18 m	1,18 m 2,82 m		3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés



		Exutoires creés						
	2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²	
TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)	

		_		_				
Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires		
	Canton	( i pour	230 111 )			en		
	1277,00 m²	1277,00 m <sup>2</sup> 6 Lanterneaux 2% 25,54 m <sup>2</sup>						
				Exutoir				
		Dimensions		Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d'Efficacité	Surface d'Efficacité
CANTON N31		Largeur	Longueur		omaire		omane	Totale
		1,18 m	2,82 m	8	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
		Exutoires creés						
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m <sup>2</sup>	0,76	4,56 m²	27,36 m²
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m <sup>2</sup>			
	1283,00 m²	6 Lanterneaux		2%		25,66 m²			
		Dimensions		Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité	
CANTON N <sup>32</sup>		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale	
		1,18 m	2,82 m	8	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés	
			Exutoires creés						
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²	
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)	

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1296,00 m²	6 Lanterneaux		2%		25,92 m²		
				Exutoir	res existants			
		Dimer	nsions	Nombre	Surface	Coefficient d'Efficacité	Surface	Surface
CANTON N°33		Largeur Longueur		matalle	Unitaire	a Emcacite	Unitaire	Totale
		1,18 m 2,82 m		8	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
1								



	1			Exuto	pires creés			
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²
	TOTAL			6 (Conforme)	36,00 m²			27,36 m <sup>2</sup> (Conforme)
Localisation	Surface du Canton	Nombre MinimumSurface minimumde LanterneauxTaux minimumUtile d'exutoires( 1 pour 250 m² )en m²				minimum exutoires m²		
	1497,00 m²	6 Lant	erneaux	2	2%	29,94 m²		
				Exutoir	es existants			
		Dime	nsions	Nombre Installé	Nombre Surface Installé Géométrique		Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité
CANTON N <sup>34</sup>		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
		1,40 m	1,55 m	4 2,17 m <sup>2</sup> Exutoires creés		0,58	1,25 m²	5,00 m²
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²
	TOTAL			10 (Conforme)	44,68 m²			32,36 m <sup>2</sup> (Conforme)

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m <sup>2</sup>			
1492,00 m²		6 Lante	erneaux	2%		29,84 m²			
		Dime	Dimensions		Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité	
CANTON Nº35		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale	
CANTON N 35								Alter de se la	
		1,18 m	2,82 m	6	3,33 m <sup>2</sup>	0,58	1,93 m <sup>2</sup>	Abandonnes 3 75 m <sup>2</sup>	
		1,40 11	Exutoires creés						
		2,00 m	3,00 m	6	6,00 m²	0,76	4,56 m²	27,36 m²	
TOTAL				9 (Conforme)	42,51 m²			31,11 m² (Conforme)	

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m² )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1625,00 m²	7 Lante	erneaux	2%		32,5	i0 m²	
		Exutoires existants						
		Dimer	nsions	Nombre Installé	Surface Géométrique	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité	Surface d' Efficacité
CANTON NºS6		Largeur	Longueur		Unitaire		Unitaire	Totale
CANTON N'36								
		1,18 m	2,82 m	8	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés



I		1,40 m	1,55 m	2	2,17 m²	0,58	1,25 m²	2,50 m <sup>2</sup>
				Exuto	bires creés			
		2,00 m	3,00 m	7	6,00 m²	0,76	4,56 m²	31,92 m²
	TOTAL			9 (Conforme)	46,34 m²			34,42 m <sup>2</sup> (Conforme)

Localisation	Surface du Canton	Nombre Minimum de Lanterneaux ( 1 pour 250 m <sup>2</sup> )		Taux minimum		Surface minimum Utile d'exutoires en m²		
	1444,00 m²	6 Lanterneaux 2% 28,88 m²		6 Lanterneaux				
				Exutoir	res existants			
CANTON N37		Dimensions Largeur Longueur		Nombre Installé	Surface Géométrique Unitaire	Coefficient d' Efficacité	Surface d' Efficacité Unitaire	Surface d' Efficacité Totale
		1,18 m	2,82 m	8	3,33 m²	0,58	1,93 m²	Abandonnés
				Exuto	pires creés			
		2,00 m	3,00 m	7	6,00 m²	0,76	4,56 m <sup>2</sup>	31,92 m²
	TOTAL			7 (Conforme)	42,00 m²			31,92 m <sup>2</sup> (Conforme)

TOTAL LANTERNEAUX CREES	CELLULE 01A CELLULE 01B CELLULE 02	7 90 100	
TOTAL LANTERNEAUX CONSERVES	CELLULE 01A CELLULE 01B CELLULE 02	31 5 17	
TOTAL CANTONS CREES	CELLULE 01A CELLULE 01B CELLULE 02	de 1 à 4 de 5 à 20 de 21 à 37	4 16 17