



DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE AU TITRE DES INSTALLATIONS CLASSÉES (ICPE)

**PROJET DE PLATEFORME DE LOGISTIQUE URBAINE MULTIMODALE
SUR LE PORT DE GENNEVILLIERS (92)**

PROJET GREEN DOCK

PARTIE 4

Pièce 4.2 / DDAE n°49. B

Annexes de l'étude de dangers

Cahier 4/8

Annexes 4 et 5

Sommaire

1. Annexe 4 / Étude de flux thermique
- 2; Annexe 5 / Note méthodologique sur la justification du comportement au feu des structures principales du projet Green Dock

Sécurité incendie

Projet Green Dock Etude de flux thermique

ADRESSE DE L'AFFAIRE

PORT AUTONOME DE GENNEVILLIERS, ROUTE DU BASSIN N°6 – 92230 GENNEVILLIERS

OBJET DU DOCUMENT

RAPPORT D'ETUDE

REDACTEUR

E. BLANCHARD

VERIFICATEUR

U. MATTEÏ

APPROBATEUR

C. GERINTE

DATE : 17 JANVIER 2025

REVISION : D



D	17/01/25	LISI	Intégration des observations de la tierce expertise INERIS [10] et des observations de la BSPP/Bprev [11]
C	08/01/24	LISI	Modifications mineures
B	15/11/23	LISI	Modifications mineures
A	16/10/23	LISI	1ère diffusion
INDICE	DATE	EMETTEUR	MODIFICATION

Sommaire

1. - CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE	4
2. - PRESENTATION DU PROJET	5
2.1. - Site de Gennevilliers	5
2.2. - Bâtiment à usage d'entreposage et de distribution multimodale.....	7
3. - OBJECTIFS DE SECURITE ET CRITERES D'EVALUATION DES EFFETS THERMIQUES	12
4. - METHODOLOGIE, OUTIL DE CALCUL ET HYPOTHESES RETENUES	15
4.1. - Méthodologie et outil de calcul	15
4.2. - Prise en compte du caractère multiniveaux de l'entrepôt	15
4.3. - Hypothèses retenues.....	16
4.3.1. - Modélisation de la géométrie des cellules	16
4.3.2. - Gestion des mezzanines	18
4.3.3. - Prise en compte des tenues au feu conventionnelles des parois et planchers	18
4.3.4. - Modélisation des ouvertures en façade et du désenfumage des cellules	21
4.3.5. - Prise en compte de la charge calorifique	24
6. - RESULTATS DE CALCUL	30
6.1. - Durée de l'incendie d'une cellule	30
6.2. - Flux thermique	33
7. - SYNTHÈSE ET CONCLUSION DE L'ETUDE	41
ANNEXES 	42
Annexe 1 - Résultats de flux thermique pour un incendie de palettes types 1510.....	43

Sécurité incendie

OBJET DU DOCUMENT
RAPPORT D'ETUDE

DOCUMENTS DE REFERENCE

Les données relatives au projet sont tirées des documents suivants :

- [1] Dossier PC - Notice de sécurité - Projet Greendock, Document GE-CO, daté d'octobre 2023
- [2] Dossier PC – Plan de masse, Document A26, daté d'octobre 2023
- [3] Dossier PC – Plans de niveaux RDC à R+3, Documents A26, datés d'octobre 2023
- [4] Dossier PC – Plans des coupes, Documents A26, datés d'octobre 2023
- [5] Dossier de demande d'agrément – Plan de rackage maximal, Document A26, daté de mars 2023
- [6] Plans de principe de désenfumage, Document EGIS, transmis par courriel le 13 octobre 2023
- [7] Note de calculs des surfaces utiles de désenfumage, Document EGIS, daté du 26 juillet 2023
- [8] Phase APD / PRE PC - Plan des coupes montrant l'implantation des dispositifs de désenfumages des cellules de l'entrepôt en façades, Document EGIS, transmis par courriel le 12 juillet 2023
- [9] Nomenclature des grilles de désenfumage, Document A26, transmis par courriel le 12 juillet 2023
- [10] Tierce expertise de l'étude des flux thermiques du projet Green Dock, Document INERIS, daté du 5 janvier 2024, Référence 227315 - 2787068 - v1.0
- [11] Courrier de la Préfecture de police / Brigade de sapeurs-pompiers de Paris / Bureau prévention adressé à la DRIEE Île-de-France concernant le projet Green Dock, Courrier daté du 13 mars 2024, référence D-2024-002946 N°GVL 597 19/01/2024 A-2024-001317

Les autres références exploitées sont les suivantes :

- [12] 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 installations classées pour la protection de l'environnement
- [13] Arrêté du 24 septembre 2020 modifiant l'arrêté ministériel 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 installations classées pour la protection de l'environnement, ainsi que les arrêtés de prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à enregistrement sous les rubriques n° 1511, 1530, 1532, 2662 et 2663
- [14] Guide d'application de la rubrique 1510 et de l'arrêté ministériel du 11 avril 2017 modifié relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts couverts soumis à la rubrique 1510, Document du Ministère de la Transition Ecologique, Version 2 révisée en date du 24 septembre 2021
- [15] Arrêté du 27 mars 2014 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à déclaration sous la rubrique n° 1511 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement
- [16] Arrêté du 29 septembre 2005, relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation », Ministère de l'écologie et du développement durable, 2005
- [17] « FLUMilog - Description de la méthode de calcul des effets thermiques produit par un feu d'entrepôt » - Modules 1 à 7, Documents INERIS, Référence 204476 - 2728180 - v0.3
- [18] Tierce Expertise INERIS, Réf « Ineris - 214537 - 2756992 - v1.0 » du 28/11/2022 sur Etude de flux Réf. 22-001294, version A, transmise par email de Marie PENVEN (Airelles) le 02/12/2022
- [19] Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-2 : actions générales – Actions sur les structures exposées au feu (juillet 2003) et son annexe nationale (février 2007).

1. - CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE

La présente étude est réalisée dans le cadre du projet de construction d'une plateforme logistique urbaine multi-modale sur le site du port Autonome de Gennevilliers, sis Route du Bassin n°6. Le projet de construction comprend un bâtiment industriel à niveau à usage d'entreposage et de distribution multimodale, un parc de stationnement en infrastructure, des zones de bureaux liées à l'activité d'entrepôt et un ouvrage de ponton flottant dédié aux opérations de logistique fluviale du dernier kilomètre (cf. Figure 1).

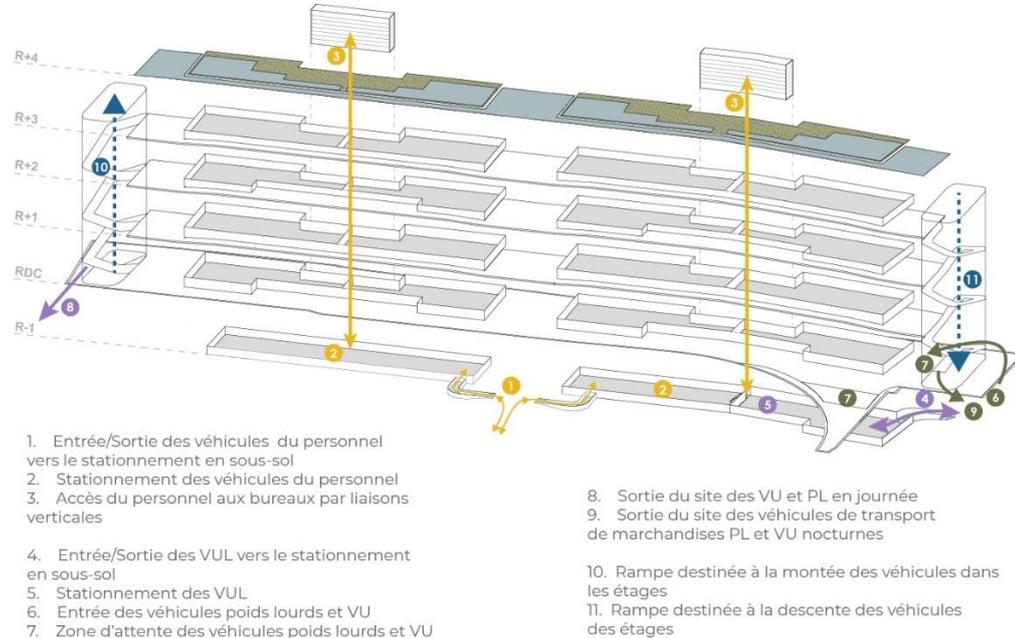


Figure 1 : Programme du projet

Le bâtiment industriel à usage d'entreposage relève de la rubrique 1510-2b (entrepôt de matière combustible) sous le régime de l'enregistrement. À titre indicatif, certaines cellules de l'entrepôt (au RDC et au R+1 des blocs A et B) sont prévues pour être éventuellement frigorifiques d'une température inférieure à 10°C.

La présente étude a pour objet d'évaluer si l'implantation de l'entrepôt répond aux objectifs de l'article 2 de l'annexe II de l'arrêté du 11 avril 2017 relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts couverts soumis à la rubrique 1510, modifiées par l'arrêté du 24 septembre 2020.

Le présent rapport décrit la méthodologie développée pour répondre à cette question. Il rappelle les données de l'étude, précise les objectifs de performance à atteindre, les décline en critères, pose les hypothèses de l'étude et définit des scénarios d'incendie. Des cibles d'intérêt sont identifiées. Le présent rapport analyse les résultats en termes de flux thermique sur les cibles d'intérêt. Il permet ainsi de conclure quant à l'implantation de l'entrepôt en cas d'éclosion d'un incendie dans l'une des cellules de l'entrepôt.

Ce projet a fait l'objet de deux réunions préalables auprès des services de la DRIEAT et du Bureau Prévention de la Brigade de Sapeurs-Pompiers de Paris en dates du 8 septembre 2021 et du 9 juin 2023.

L'étude est réalisée avec la méthode FLUMilog. S'agissant d'un entrepôt sur plusieurs niveaux, la présente étude a fait l'objet d'un avis sur étude de l'INERIS pour s'assurer de la bonne utilisation du logiciel FLUMilog pour le calcul des flux thermiques [10].

2. - PRESENTATION DU PROJET

2.1. - SITE DE GENNEVILLIERS

Le projet se situe sur le site du port Autonome de Gennevilliers, sis Route du Bassin n°6.

Le site vient s'implanter sur une parcelle de 6,3 hectares, appartenant au Port de Gennevilliers. Elle est bordée sur la partie nord par la Seine (cf. Figure 2), avec une infrastructure de ponton flottant permettant d'accueillir des barges destinées à la logistique fluviale au droit du site. Sur sa partie sud, elle est bordée par la route du Bassin et notamment le site de dépôt pétrolier SOGEPP et TRAPIL.

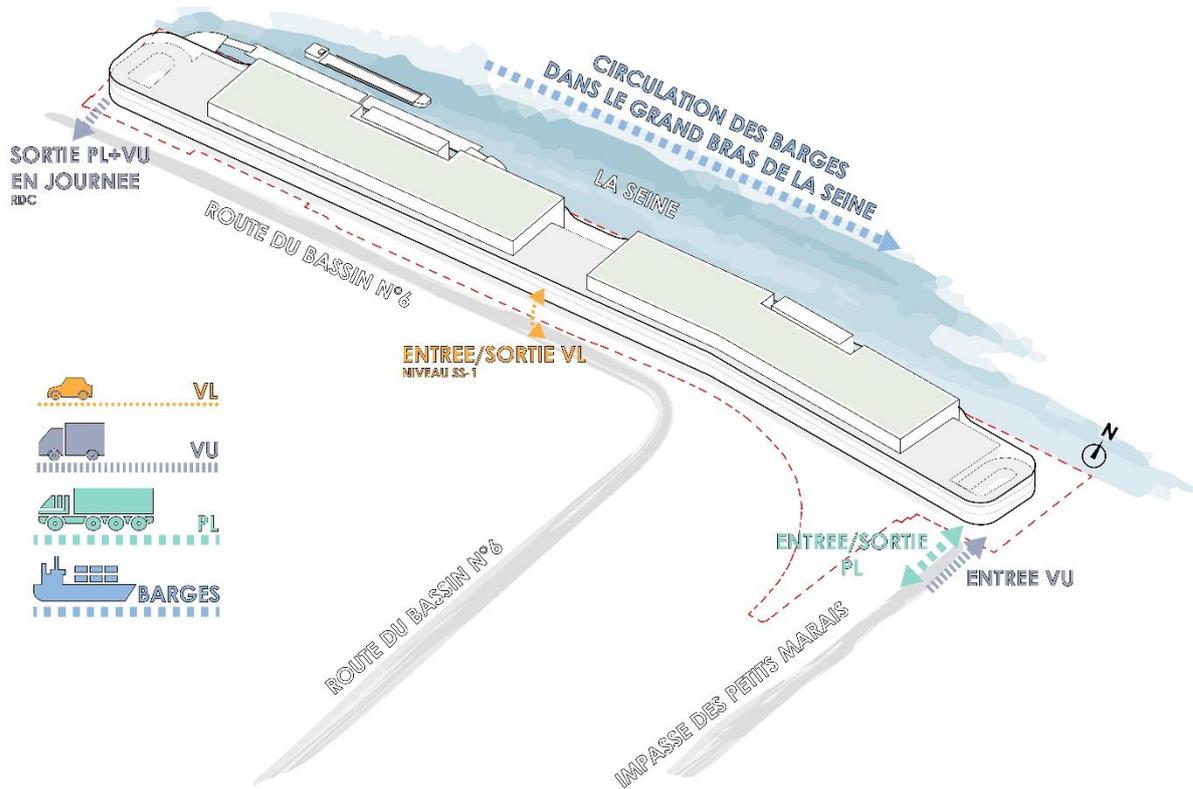


Figure 2 : Implantation du site

Plus en détails, l'environnement très proche est détaillé précisément ci-dessous (les n° coïncident avec ceux de la Figure 3) :

1. A l'OUEST, la parcelle n°F62, actuellement occupée par des bâtiments de stockage.
2. A l'EST, le quai à usage partagé du Port de Gennevilliers (parcelles n°F154 et n°F117).
3. Au SUD-EST, la parcelle n°F99, actuellement occupée par des bâtiments de stockage.
4. Au SUD-EST, de l'autre côté de l'Impasse des Petits Marais, la parcelle n°F195 occupée par un magasin de matériaux de constructions.
5. Au SUD, les parcelles n°F97 et n°F11 respectivement occupée par l'ancienne voie ferrée du Port Autonome de Gennevilliers qui sont essentiellement en friche.
6. Au SUD, de l'autre côté de la route du Bassin Numéro 6 est implantée la Société de Gestion de Produits Pétroliers (SOGEPP) site Seveso Seuil Haut.
7. Au SUD, entre la parcelle occupée par CEMEX et la darse 6, se trouve la société des transports Pétroliers par Pipeline (TRAPIL) site Seveso seuil bas.
8. Au SUD, de l'autre côté de la route du Bassin Numéro 6 est également implantée l'usine de production de béton CEMEX (7).
9. Au SUD, implanté sur la parcelle F8 la société SUEZ RR IWS Chemicals France site Seveso seuil bas.
10. Au NORD, la Seine et un espace de jouissance sur la Seine correspondant à une bande de 24 mètres de large depuis la crête de la berge qualifié de « Zone de Seine » puis sur la berge opposée, les zones d'habitation des communes d'Epina-sur-Seine et d'Argenteuil.



Figure 3 : Environnement du projet

L'accès principal du site est situé à l'angle Sud-Est de la parcelle en liaison avec l'impasse des petits marais. En complément de l'accès principal, la desserte est assurée par la route du Bassin n°6 permettant trois autres points d'accès à la parcelle (cf. Figure 4). Une liaison accessible aux engins de secours permet en cas de sinistre la jonction entre l'impasse des petits marais et la route du Bassin n°6. Les voies de desserte de l'établissement sont considérées de la manière suivante (cf. Figure 4) :

- La voie NORD permet la desserte de l'établissement coté seine, elle est accessible depuis l'entrée principale et permet un bouclage avec la route du Bassin n°6 à l'extrémité ouest de la parcelle,
- La voie SUD permet la desserte de l'établissement côté SUD. Parallèle à la route du Bassin n°6, cette portion de voie engin comprend quatre points d'accès depuis cette route,
- Ces deux voies NORD et SUD se rejoignent en extrémité OUEST et EST de la parcelle, par deux portions de voies engins et également au centre de la parcelle par une voie entre les blocs A et B et les blocs C et D.

En complément de l'accessibilité par la voie nord, deux aires de stationnement sont réparties sur la route du Bassin n°6. Ces aires sont assimilables à une aire de mise en station des moyens aériens permettant un accès à la voie de desserte sud.

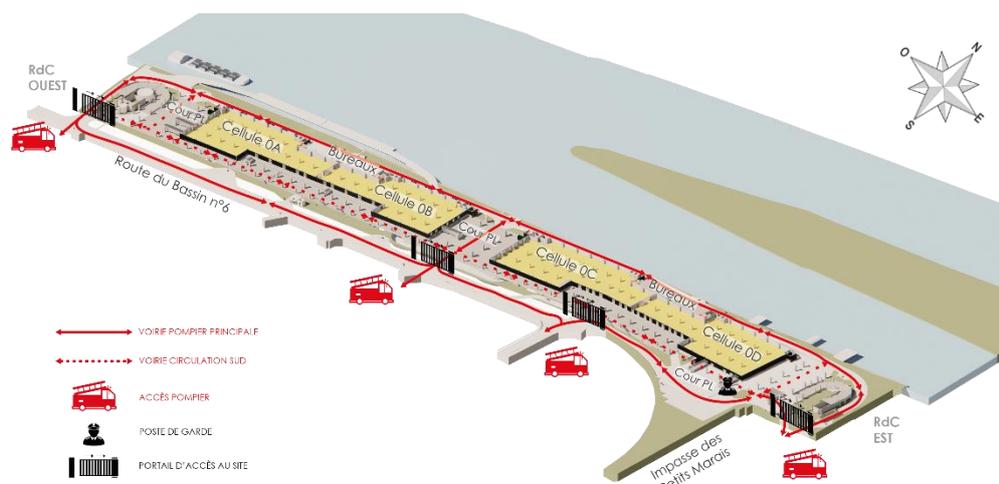


Figure 4 : Accès des secours et voies engins

Afin d'assurer la défense contre les risques d'incendie, des poteaux incendie sont positionnés en périmétrie de l'établissement et au droit de chaque aire de mise en station située le long de la route du Bassin n°6 (cf. Figure 5).

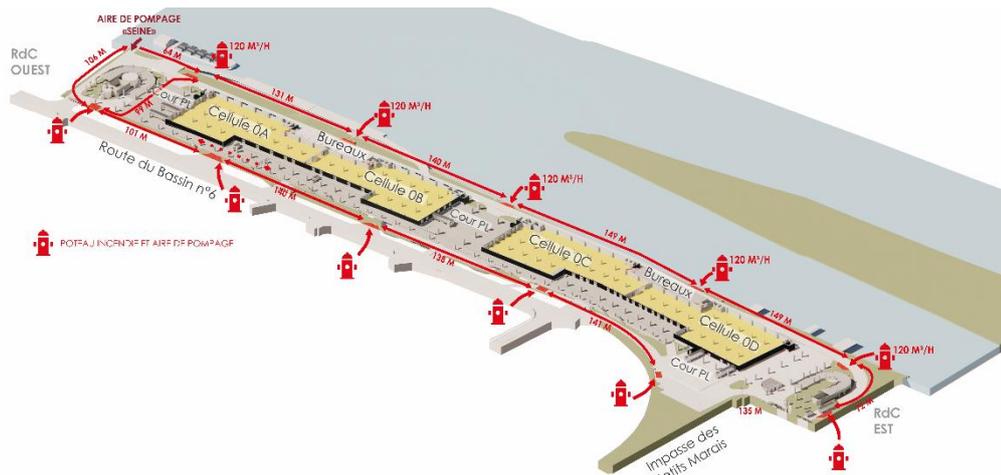


Figure 5 : Emplacements des poteaux incendie

2.2. - BATIMENT A USAGE D'ENTREPOSAGE ET DE DISTRIBUTION MULTIMODALE

Le bâtiment industriel à usage d'entreposage et de distribution multimodale est un bâtiment sur plusieurs niveaux accessibles aux véhicules. Il s'agit d'un entrepôt multiniveau.

Dans le cadre du fonctionnement du projet Green Dock, il est prévu un système de gestion de la circulation dynamique sur site de sorte que les voiries soient libérées en tout temps et qu'il n'y ait pas de bouchon. Cette gestion sera assurée depuis le poste de garde au RDC du projet. Les hypothèses de l'étude de trafic prévoient au maximum une quarantaine de PL par heure pour 96 portes à quai.

À quai, les camions n'ont pas vocation à stationner. Ils sont chargés ou déchargés. Aussi, les quais ne constituent pas des zones de stockage. Par ailleurs, les chauffeurs sont à proximité immédiate de leur véhicule puisqu'ils sont soit dans leur véhicule, soit dans le local chauffeurs situé juste à côté. En cas d'incendie d'un véhicule, il est donné pour consigne que les autres véhicules quittent la zone. Les cours camions et les rampes d'accès sont protégées par un système d'extinction automatique d'incendie de type sprinkler conforme aux règles NFPA.

Le bâtiment est composé de quatre blocs A, B, C et D. Du RDC au R+3, chaque bloc comprend une cellule. Au total, le bâtiment comprend 16 cellules. À chacun des niveaux, les cellules sont très similaires entre les blocs que ce soient en géométrie ou en dimensions. Les cellules du niveau RDC sont identiques à celles du niveau R+2, elles sont consacrées aux activités de messagerie, distribution. Les cellules du niveau R+1 sont identiques à celles du niveau R+3, elles sont consacrées aux activités de stockage. Le Tableau 1 résume pour chaque cellule les surfaces au sol et les hauteurs sous plafond. Les cellules mesurent entre 105 et 120 de long et entre 25 et 50 m de profondeur. Le bâtiment s'élève sur 28 m compté depuis le plancher bas du RDC. Les façades dépassent de 1 m la toiture (cf. Figure 8). Certaines cellules intègrent des mezzanines. Il s'agit des cellules des blocs A à D, des niveaux R+1 et R+3.

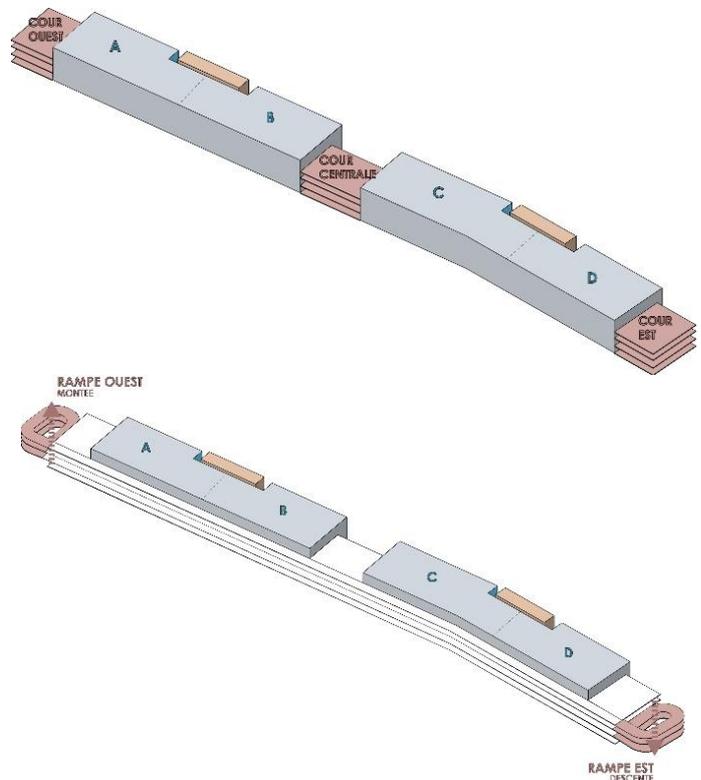


Figure 6 : Configuration du bâtiment Industriel à usage d'entreposage

La charge combustible et le volume correspondant ont été estimés au regard de l'étude capacitaire en termes de nombre de palettes. Cette estimation a conduit à établir que chaque cellule comporte entre 1 196 et 3 230 tonnes de combustibles. Le Tableau 2 reprend cette estimation de la masse combustible par cellule.

	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D
	Surface de plancher [Surface supplémentaire en mezzanine]				Hauteur sous plafond NGF du plancher bas			
R+3	4872 m ² [606 m ²]	4872 m ² [606 m ²]	5394 m ² [605 m ²]	5319 m ² [605 m ²]	6,94 m +49,75NGF	6,94 m +49,75NGF	6,94 m +49,75NGF	6,94 m +49,75NGF
R+2	4155 m ²	4155 m ²	4754 m ²	4604 m ²	5,64 m +43,55NGF	5,64 m +43,55NGF	5,64 m +43,55NGF	5,64 m +43,55NGF
R+1	4839 m ² [592 m ²]	4839 m ² [597 m ²]	5360 m ² [592 m ²]	5287 m ² [602 m ²]	7,14 m +35,85NGF	7,14 m +35,85NGF	7,14 m +35,85NGF	7,14 m +35,85NGF
RDC	4166 m ²	4091 m ²	4687 m ²	4610 m ²	5,64 m +29,65NGF	5,64 m +29,65NGF	5,64 m +29,65NGF	5,64 m +29,65NGF

Tableau 1 : Dimensions des cellules

BATIMENT		Nombre maximal de palettes	Masse moyenne totale palettes (en t) sur la base d'une masse moyenne de palette de 800 kg	Volume moyen total palettes (en m ³) sur la base d'un volume moyen de palette de 1,728 m ³
A/B	RDC A0	1525	1 220,0	2 635,2
	R1 A1	3492	2 793,6	6 034,2
	mezz R1 A1	32	25,6	55,3
	R2 A2	1522	1 217,6	2 630,0
	R3 A3	3486	2 788,8	6 023,8
	mezz R3 A3	32	25,6	55,3
	RDC B0	1496	1 196,8	2 585,1
	R1 B1	3492	2 793,6	6 034,2
	mezz R1 B1	32	25,6	55,3
	R2 B2	1522	1 217,6	2 630,0
	R3 B3	3486	2 788,8	6 023,8
	mezz R3 B3	32	25,6	55,3
C/D	RDC C0	1940	1 552,0	3 352,3
	R1 C1	3977	3 181,6	6 872,3
	mezz R1 C1	32	25,6	55,3
	R2 C2	1976	1 580,8	3 414,5
	R3 C3	4005	3 204,0	6 920,6
	mezz R3 C3	32	25,6	55,3
	RDC D0	1718	1 374,4	2 968,7
	R1 D1	3886	3 108,8	6 715,0
	mezz R1 D1	32	25,6	55,3
	R2 D2	1718	1 374,4	2 968,7
	R3 D3	3896	3 116,8	6 732,3
	mezz R3 D3	32	25,6	55,3
TOTAL		43 393	34 714 t	74 983 m³
TOTAL avec prise en compte d'un coefficient de sécurité de 10%		47 732	38 186 t	82 481 m³

Tableau 2 : Estimation de la charge calorifique et du volume correspondant par cellule

La structure principale du bâtiment est en béton armé présentant une tenue au feu conventionnelle R120. De manière plus précise, le bâtiment est prévu réalisé en béton armé et précontraint avec un système de poteaux-poutres :

- Les poteaux sont en béton armé de hauteur 4,74 m ou 6,24 m suivant les niveaux. Ces poteaux sont encastrés en pieds dans les fondations.
- Les poutres principales portent dans le sens longitudinal du bâtiment (portée de 11 m) et sont en béton précontraint.
- Le plancher des cellules de stockage est en dalle alvéolée précontraintes de portée de 12 m d'axe à axe (dans le sens transversal du bâtiment entre chaque poutre).
- Le plancher des cours camion et de la voie de circulation est en dalle TT en béton. Les poteaux communs aux cellules et à la voie de circulation portent les poutres support des dalles respectives des cellules et de la voie de circulation.

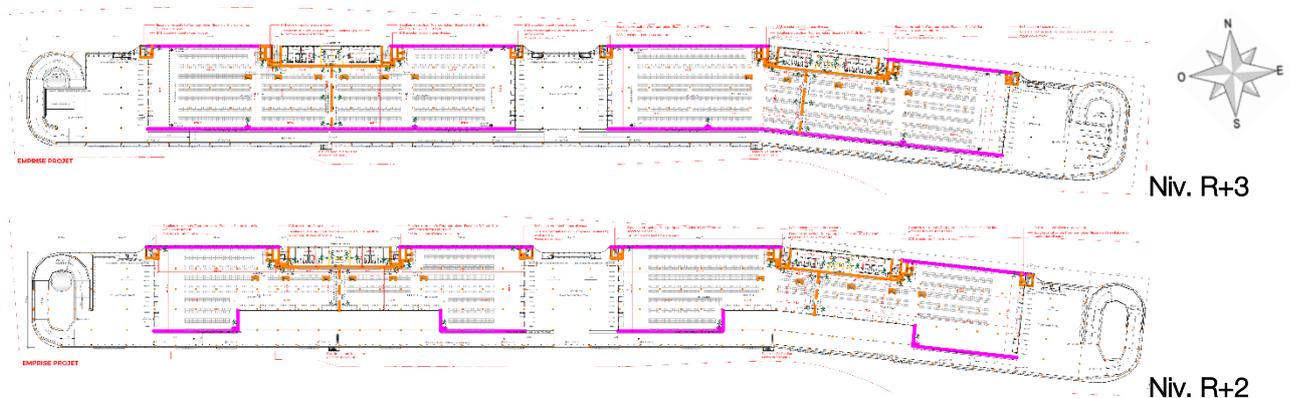
Le degré de résistance renseigné, en l'occurrence REI 120, s'applique à tout le plancher (haut ou bas).

Chaque cellule est isolée des cellules adjacentes par des parois séparatives et des planchers en béton de degré REI120 (cf. Figure 7 et Figure 8). Le plancher bas des cellules du RDC tout comme le plancher haut des cellules du R+3 sont en béton de degré REI120.

Les dispositifs de fermeture au droit des ouvertures entre cellules présentent un classement EI120C. Leur fermeture est assurée de manière automatique en cas de feu. De manière plus précise, chaque cellule est surveillée par une détection automatique d'incendie. Des détecteurs optiques ou multi-ponctuels par aspiration sont positionnés sous la dalle, leur couverture répond aux exigences de la norme NF S 61-970. Cette surveillance assure une détection précoce du feu. Les dispositifs de fermeture des cellules sont constitués par des éléments DAS normalisés CF 2h, leur asservissement est sans temporisation à la détection incendie. Autrement formulé, la sensibilisation d'un détecteur conduit à la fermeture sans temporisation des dispositifs de fermeture entre cellules. La libération de la ventouse DAS permet la fermeture de la porte par gravité sur un rail guide en pente jusqu'à la butée une fois l'effacement latéral ayant assuré l'obturation de la baie.

En ce qui concerne les monte-charges mettant en relation directement les cellules du RDC avec celles du premier étage et les cellules du deuxième étage avec celles du troisième étage, ils sont équipés d'un dispositif CF Conformément aux dispositions réglementaires. Il s'agit soit de la porte du monte-charge elle-même, soit d'un dispositif DAS complémentaire.

Les façades extérieures sont en panneau sandwich double peau repris par la structure porteuse. En façades NORD et SUD, les façades forment un écran thermique EI120 sur une partie ou sur la totalité de leur linéaire (cf. Figure 7 et Figure 8). Ce niveau de protection est assuré pour un feu intérieur. Une particularité concerne la cellule D0 où la façade EST présente une tenue au feu REI120. Les cellules sont isolées des bâtiments de bureaux par des murs REI120 (cf. Figure 7). Les ouvrants en façade NORD sont disposés de telle sorte de limiter le risque de propagation de l'incendie par la façade à la cellule superposée : Le C+D est entre 4,08 m et 7,45 m en fonction des étages. À noter que ces valeurs sont très supérieures aux dispositions qui sont appliquées aux ERP (l'article art. CO21 impose au maximum $C + D > 1,3$ m).



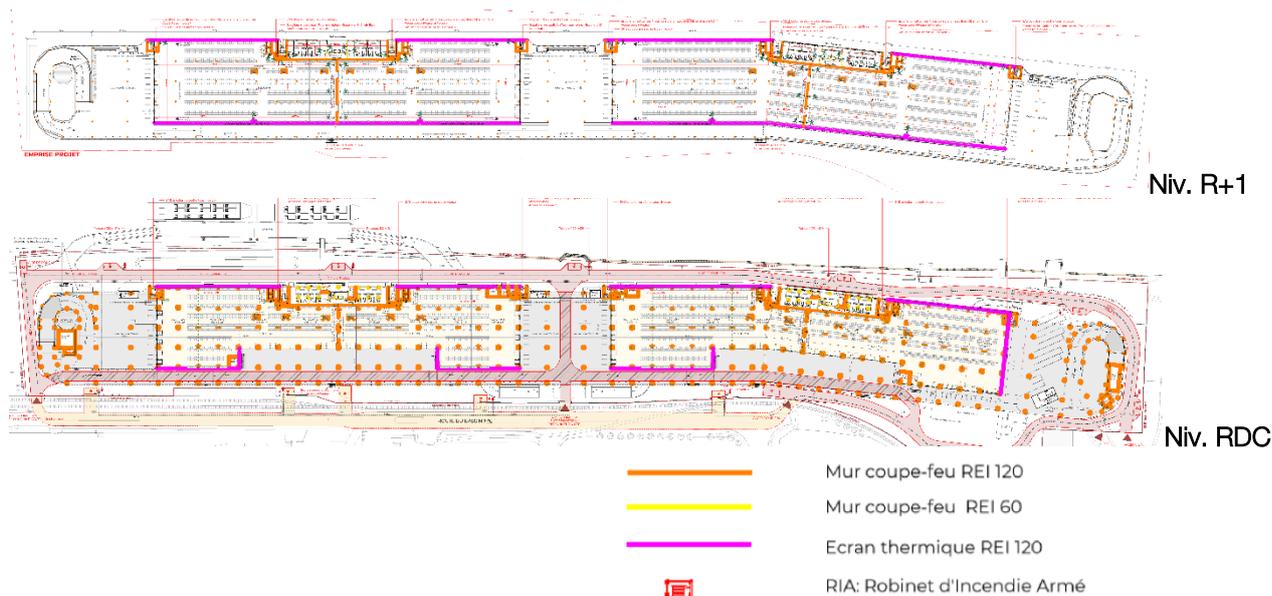


Figure 7 : Vues en plan des niveaux RDC à R+3 – Tenue au feu des parois et façades



Figure 8 : Vue en coupe transversale – Tenue au feu des planchers et façades

Le désenfumage des cellules est assuré naturellement. Chaque cellule est découpée en quatre ou cinq cantons, d'une superficie maximale de 1650 m² et de longueur inférieure à 60 m. Les cantons sont séparés par des écrans de cantonnement SF 1/4h de hauteur minimale 1 m.

Toutes les cellules sont de profondeur inférieure à 60 m. Conformément aux dispositions de l'arrêté du 11 avril 2017 modifié [12] [13] et en respect des préconisations du guide d'application de la rubrique 1510 [14], le désenfumage des cellules des niveaux RDC à R+2 est assuré par des ouvrants disposés en façade NORD et SUD, complétés de puits de désenfumage avec en toiture des édicules équipés de grilles. Les ouvrants situés sur la façade NORD sont positionnés de sorte de limiter les risques de transmission de l'incendie entre niveau par la façade.

Les ouvrants sont positionnés en partie haute de chaque cellule. L'ensemble des dispositifs d'évacuation de fumée totalisent une surface utile de 2% de la surface du canton. Les dispositifs d'évacuation de fumée sont ouverts automatiquement et asservis à la détection automatique incendie. L'amenée d'air neuf est assurée par ouverture manuelle des portes sectionnelles positionnées sur les cours camion et, pour la cellule DO, des volets positionnés en partie basse sur la façade EST. La surface des amenées d'air est équivalente à la surface utile de l'ensemble des dispositifs d'évacuation de fumée présents dans le plus grand canton.

Le désenfumage des cellules du niveau R+3 est réalisé suivant le même principe. Les cellules aux niveaux RDC et R+1 des blocs A et B ne seront pas désenfumées au titre de l'article 27.2 dans le cas où elles sont frigorifiques.

Chaque cellule est équipée d'un système d'extinction automatique d'incendie de type sprinkler conforme aux règles NFPA, y compris au niveau du parc de stationnement, des cours camions et des rampes d'accès (classe de l'entrepôt considéré à risque élevé - HHS (high hazard storage)). Le site est équipé d'un SSI de catégorie A associé à un équipement d'alarme de type 1. Chaque cellule est surveillée par une DAI. La détection dans une cellule induit la fermeture sans temporisation des dispositifs de compartimentage et l'arrêt de la ventilation de

confort. Le désenfumage est mis en œuvre manuellement depuis l'UCMC du CMSI. Le déclenchement du désenfumage (dispositifs d'évacuation de fumée) est prévu automatiquement suite à la sollicitation d'un détecteur automatique d'incendie. Le site est surveillé en permanence par un service de sécurité H24 au poste de garde. À ce stade, il est prévu la présence permanente d'un SSIAP 2 complété par 1 SSIAP 1 (la constitution du service de sécurité sera évoquée avec les services de secours).

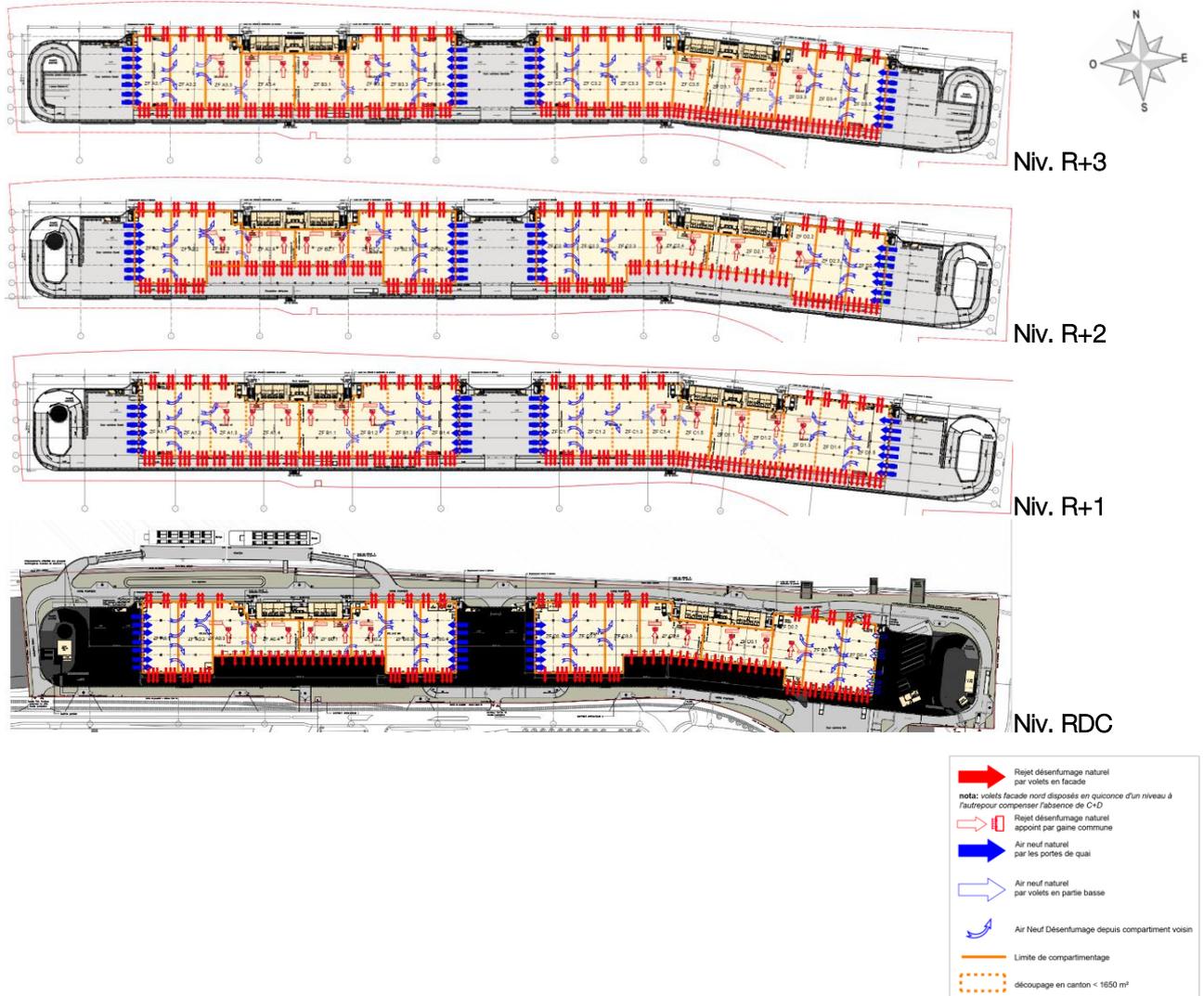


Figure 9 : Vues en plan des niveaux RDC à R+3 – Désenfumage des cellules

3. - OBJECTIFS DE SECURITE ET CRITERES D'EVALUATION DES EFFETS THERMIQUES

L'arrêté ministériel du 11 avril 2017 modifié par l'arrêté du 24 septembre 2020 établit les règles et les critères d'implantation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumises à la rubrique 1510. Le §2 de l'Annexe II impose que les parois extérieures de l'entrepôt sont suffisamment éloignées :

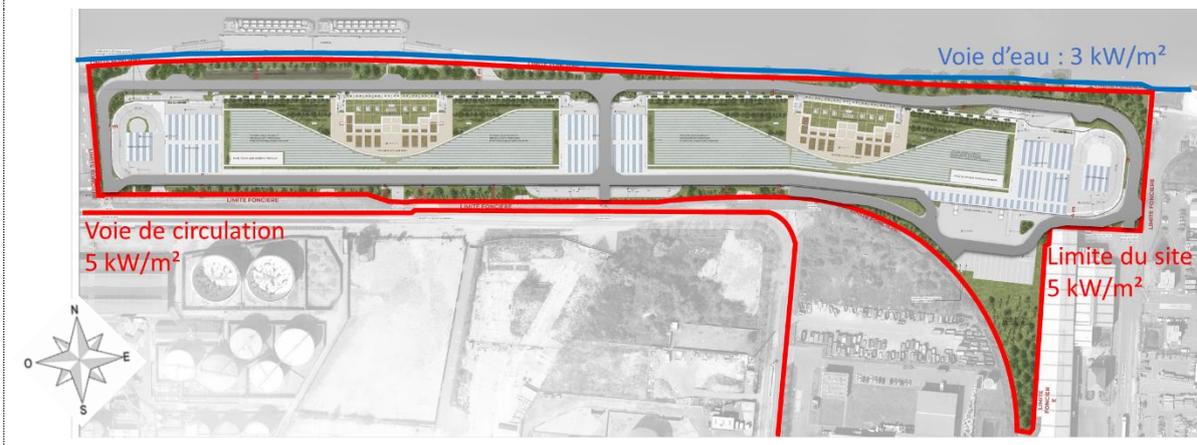
- « Des limites de site, d'une distance correspondant aux effets thermiques de 8 kW/m², cette disposition est applicable aux installations nouvelles dont le dépôt du dossier complet d'enregistrement ou d'autorisation est postérieur au 1er janvier 2021,
- Des constructions à usage d'habitation, des immeubles habités ou occupés par des tiers et des zones destinées à l'habitation, à l'exclusion des installations connexes à l'entrepôt, et des voies de circulation autres que celles nécessaires à la desserte ou à l'exploitation de l'entrepôt, d'une distance correspondant aux effets létaux en cas d'incendie (seuil des effets thermiques de 5 kW/m²),
- Des immeubles de grande hauteur, des établissements recevant du public (ERP) autres que les guichets de dépôt et de retrait des marchandises et les autres ERP de 5^e catégorie nécessaires au fonctionnement de l'entrepôt conformes aux dispositions du point 4. de la présente annexe sans préjudice du respect de la réglementation en matière d'ERP, des voies ferrées ouvertes au trafic de voyageurs, des voies d'eau ou bassins exceptés les bassins de rétention ou d'infiltration d'eaux pluviales et de réserve d'eau incendie, et des voies routières à grande circulation autres que celles nécessaires à la desserte ou à l'exploitation de l'entrepôt, d'une distance correspondant aux effets irréversibles en cas d'incendie (seuil des effets thermiques de 3 kW/m²). »

Également, les parois extérieures de l'entrepôt sont implantées à une distance au moins égale à 20 mètres de l'enceinte de l'établissement, à moins que l'exploitant justifie que les effets létaux (seuil des effets thermiques de 5 kW/m²) restent à l'intérieur du site au moyen, si nécessaire, de la mise en place d'un dispositif séparatif E120.

Dans le cas présent, l'arrêté ministériel du 11 avril 2017 modifié impose que les parois extérieures des cellules de l'entrepôt sont suffisamment éloignées :

- Des limites de site d'une distance correspondant aux effets thermiques de 5 kW/m². Les cellules sont à une distance inférieure à 20 m de l'enceinte NORD de l'établissement et, pour les cellules des blocs A et C, de l'enceinte SUD de l'établissement.
- Des voies de circulation externes, pour des effets thermiques inférieures à 5 kW/m².
- Des voies d'eau, pour des effets thermiques inférieures à 3 kW/m².

La figure ci-dessous résume les critères d'évaluation imposés par l'arrêté du 11 avril 2017 modifié.



En complément de ces critères, le projet propose d'établir les seuils atteints au droit de plusieurs points d'attention sur le site et en dehors du site, à savoir

- Les voies de desserte de l'établissement,
- Les accès pompiers au site,
- Les aires de stationnement engins avec les poteaux incendie concourant à la DECI,
- Les aires de mise en station des moyens aériens,
- Le local sprinkler incluant les pompes sprinkler-RIA, les canalisations et les armoires électriques.

La figure ci-dessous reprend les points d'attention retenus sur le site et en dehors du site en plus des critères d'évaluation imposés par l'arrêté du 11 avril 2017.

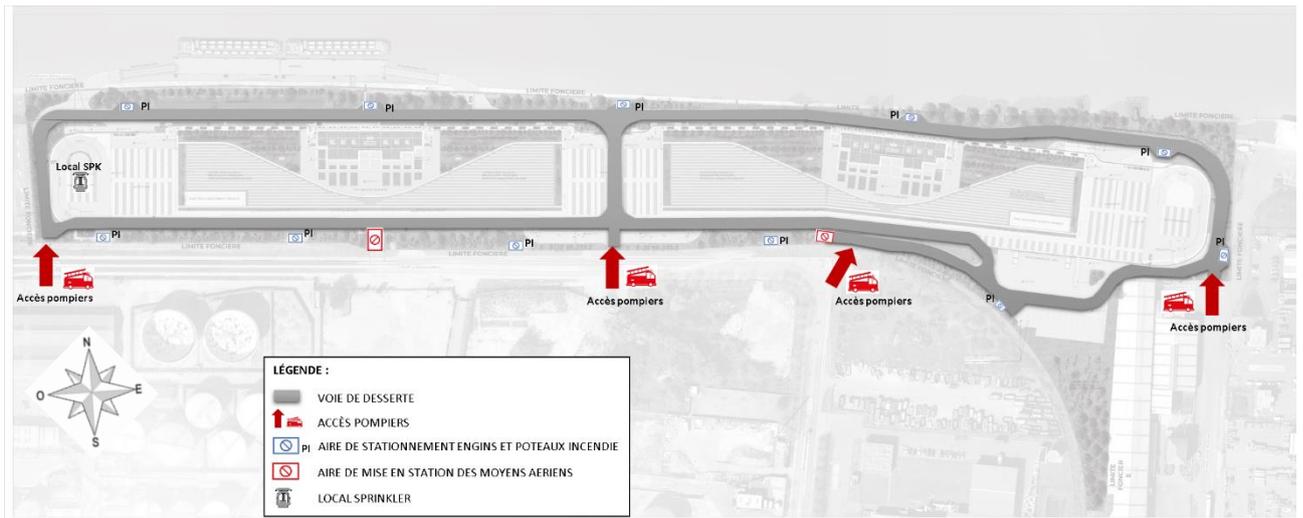


Figure 10 : Plan masse – Points d'attention retenus en complément pour les flux thermiques

La hauteur de cible retenue est une hauteur d'homme (1,8 m) compté depuis le plancher des cellules du RDC (+29,65 NGF), ce qui revient à retenir une cible à +27,85 NGF.

Cette hauteur est exploitée pour étudier d'une part les effets de flux thermiques dans l'enceinte même du site, mais également au niveau des limites de propriété. Compte-tenu de la topographie du site :

- Ce choix apparaît contraignant avec les limites du site situées légèrement en contre-bas (énumération dans le sens horaire) au SUD-OUEST +28,72 NGF, au NORD-OUEST +27.82 NGF, au NORD-EST +28,15 NGF, au SUD-EST +27,78 NGF et 28,85 NGF et au SUD (centre du site) +28.86 NGF,
- Ce choix apparaît cohérent avec la voie de circulation située légèrement en contre-bas : au SUD-OUEST +28,61 NGF, au SUD-EST +28,70 NGF et au SUD accès parking VL +28,89 NGF,
- Ce choix apparaît contraignant vis-à-vis de la voie d'eau située très en contrebas (+23,98 NGF) et de la limite de propriété au NORD située également en contrebas (+27,62 NGF).

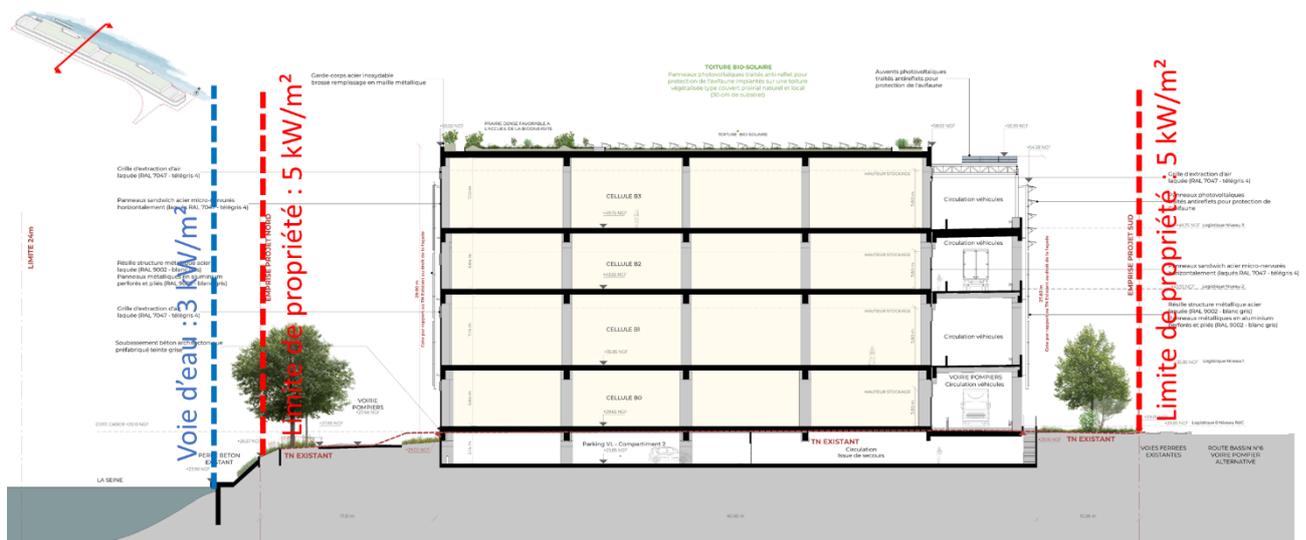


Figure 11 : Vue en coupe transversale – Hauteur de cible

Pour chaque cellule, les hauteurs de cibles sont résumées dans le tableau suivant.

	Bloc A	Bloc B	Bloc C	Bloc D
R+3 +49,75 NGF (RDC+20,1 m)	Hauteur de cibles : -18,3 m			
R+2 +43,55 NGF (RDC+13,9 m)	Hauteur de cibles : -12,1 m			
R+1 +35,85 NGF (RDC+6,2 m)	Hauteur de cibles : -4,4 m			
RDC +29,65 NGF	Hauteur de cibles : 1,8 m			

Tableau 3 : Hauteurs de cibles retenues

4. - METHODOLOGIE, OUTIL DE CALCUL ET HYPOTHESES RETENUES

4.1. - METHODOLOGIE ET OUTIL DE CALCUL

La présente étude est réalisée avec la méthode FLUMilog. Il s'agit d'une méthode de calcul référence pour déterminer les distances associées aux effets thermiques d'un incendie d'entrepôt (telle que la détermination des distances correspondant aux seuils d'effets thermiques sur l'homme et les structures). Cette méthode prend en compte les paramètres prépondérants dans la construction des entrepôts afin de représenter, au mieux, la réalité. La méthode est étayée par des résultats expérimentaux de référence réalisés dans le cadre du projet FLUMilog.

La présente étude a fait l'objet d'un avis sur étude de l'INERIS pour s'assurer de la bonne utilisation du logiciel FLUMilog pour le calcul des flux thermiques [10]. Dixit cet avis, « Au global, le travail est de qualité, les hypothèses de modélisation plutôt bien posées et les résultats semblent pertinent. En effet, selon la compréhension de l'INERIS, une étude paramétrique a été réalisée pour déterminer le nombre de portes de quai permettant de s'assurer notamment que la durée de l'incendie d'une cellule ne permet pas la propagation à une autre cellule. Dès lors que cette propagation est totalement exclue, l'outil FLUMilog peut être utilisé pour étudier les effets de l'incendie de chaque cellule de la plateforme logistique, chaque cellule étant prise individuellement. Il apparaît alors que les flux thermiques reçus à la hauteur des enjeux (tiers au-delà des limites du site, voies de circulation externes, voies d'eau et services de secours) sont relativement limités et permettent de répondre favorablement aux objectifs de sécurité des textes réglementaires. »

4.2. - PRISE EN COMPTE DU CARACTERE MULTINIVEAUX DE L'ENTREPOT

S'agissant d'un entrepôt sur plusieurs niveaux, il convient d'être attentif quant à l'utilisation de la méthode et à la représentation dans l'outil de cet entrepôt spécifique [17]. La méthode retenue consiste, pour tenir compte des quatre niveaux de l'entrepôt, à modéliser séparément les flux au niveau du sol pour chaque cellule de chaque niveau. Pour cela, les hauteurs de cible sont adaptées afin de tenir compte de l'altitude des cellules relativement aux cibles. Le développement d'un incendie est modélisé dans chaque cellule de l'entrepôt. Conformément à la méthode FLUMilog, le critère de propagation de l'incendie à une autre cellule repose sur la comparaison de la durée de l'incendie dans la première cellule et les performances REI des cellules adjacentes. Suivant les résultats, deux cas sont possibles :

- Dans le cas où la durée de l'incendie reste inférieure à la tenue au feu conventionnelle des parois et planchers séparatifs entre cellules, on considère que l'incendie reste localisé à une cellule. L'utilisation de la méthode FLUMilog devient alors quasiment conventionnelle dans la mesure où elle se rapproche d'une cellule d'entrepôt sur simple niveau.
- Dans le cas où la durée de l'incendie dépasse la tenue au feu conventionnelle des parois et planchers séparatifs entre cellules, on suivra les préconisations de l'INERIS [18]. À savoir, les flux thermiques seront évalués selon deux méthodes et le flux retenu comme critique sera celui le moins majorant dans la mesure où ces deux méthodes surestiment grandement les flux thermiques :

Méthode 1 : Les flux sont calculés pour chaque niveau indépendamment en tenant compte de leur éloignement par rapport au sol et en modifiant la hauteur de cible. Le flux critique est ensuite établi en sommant les flux issus de chacun des niveaux. Cette méthode est pénalisante dans la mesure où elle considère que l'incendie atteint sa puissance maximale au même instant.

Méthode 2 : Les flux critiques sont calculés en modélisant le stockage sur l'ensemble des niveaux, et donc en négligeant les planchers séparatifs. Cette méthode est pénalisante dans la mesure elle conduit à l'ajout au calcul d'une quantité de matière combustible non négligeable lorsque l'on considère les racks toute hauteur par rapport à la quantité de matière équivalente sur chacun des niveaux. En effet, pour un stockage toute hauteur, la hauteur résiduelle des murs après leur chute sera supérieure, permettant de compenser par la même occasion le surplus de combustible et la taille des flammes. Ainsi, couplée à un bornage de la taille des flammes pour que le modèle reste physique, cette méthode pourrait se révéler plus réaliste que la somme arithmétique des flux de l'ensemble des cellules suivant la méthode 1.

La durée de l'incendie et les flux thermiques sont établis pour chaque cellule avec un jeu d'hypothèses qui diffèrent en deux points : le nombre de porte quais (cf. §4.3.4) et la nature de la charge calorifique (cf. §4.3.5).

Remarque : En complément, les résultats de distances d'effets de flux thermiques pour un incendie de palettes types 1510 sont présentés en annexe du présent document.

DÉTERMINATION DE LA DURÉE DE L'INCENDIE (RISQUE DE PROPAGATION DE L'INCENDIE À UNE AUTRE CELLULE)



La durée de l'incendie est ensuite éventuellement allongée par un calcul analytique pour tenir compte de la ventilation du foyer (cf. §4.3.3)

DÉTERMINATION DES FLUX THERMIQUES VIS-À-VIS DES CIBLES IDENTIFIÉES

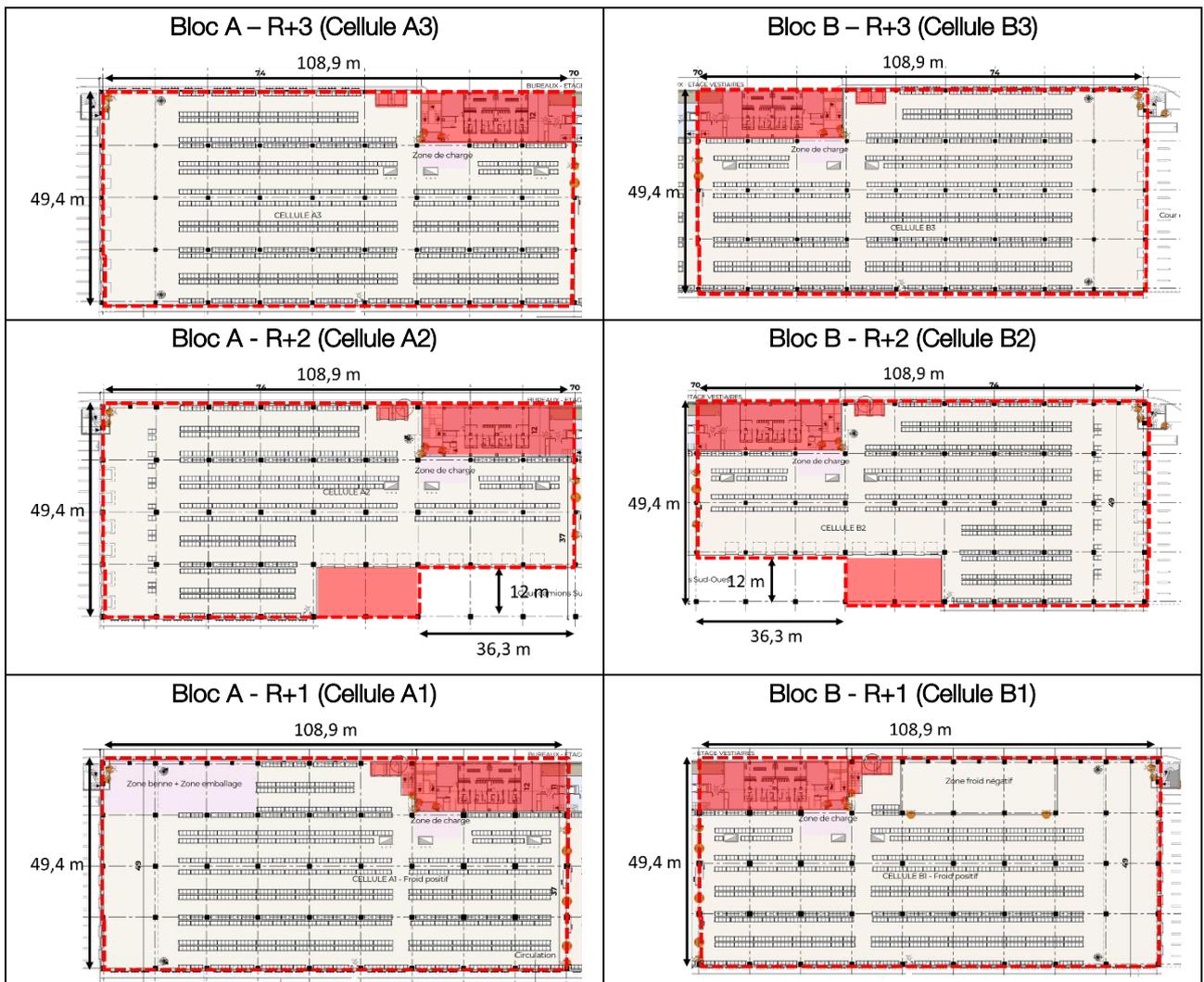


4.3. - HYPOTHESES RETENUES

Les hypothèses décrites ci-après sont retenues avec le souci de rester sécuritaire au regard des modèles de calcul de l'outil FLUMilog.

4.3.1. - MODELISATION DE LA GEOMETRIE DES CELLULES

L'outil FLUMilog, dans sa version actuelle, ne prend en compte que des cellules de géométrie simple. Par exemple, il ne peut pas gérer un long biseau comme celui des cellules du bloc C. En conséquence, il est nécessaire d'adapter la modélisation de chaque cellule à la géométrie simple la plus proche pouvant être considérée par l'outil FLUMilog. La Figure 12 et la Figure 13 précisent l'emprise retenue pour la représentation de chacune des cellules. La ligne en pointillés rouges délimite la cellule considérée dans le calcul réalisé avec l'outil FLUMilog, les surfaces coloriées en rouge correspondent à l'ajout artificiel de surface à la cellule concernée. Par exemple, dans les calculs, on ne prend pas en compte la partie des cellules tronquée par les zones de bureaux (cf. Figure 12). Cette hypothèse de modélisation apparaît sécuritaire dans la mesure où la surface ajoutée à une cellule conduit à augmenter le linéaire de racks et donc la quantité de matière stockée dans chaque cellule.



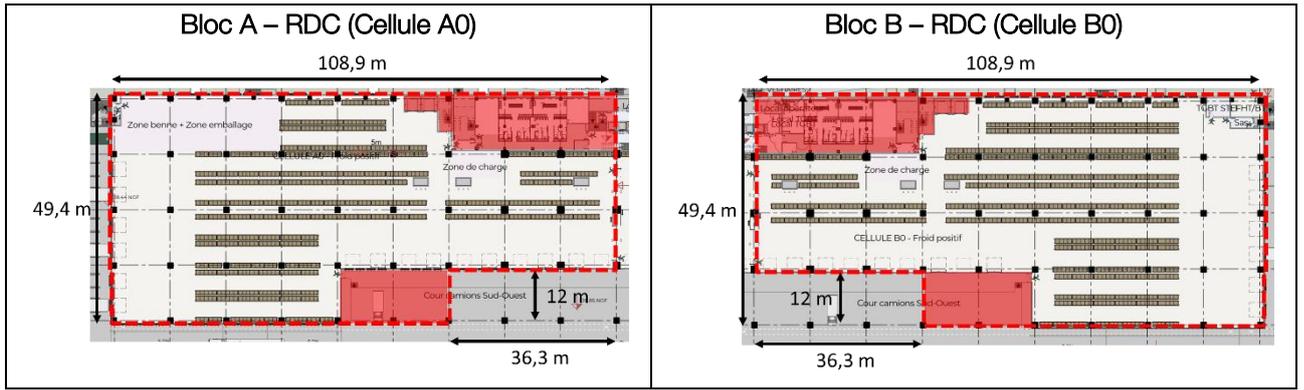


Figure 12 : Vue en plans des blocs A et B – Géométrie des cellules modélisées

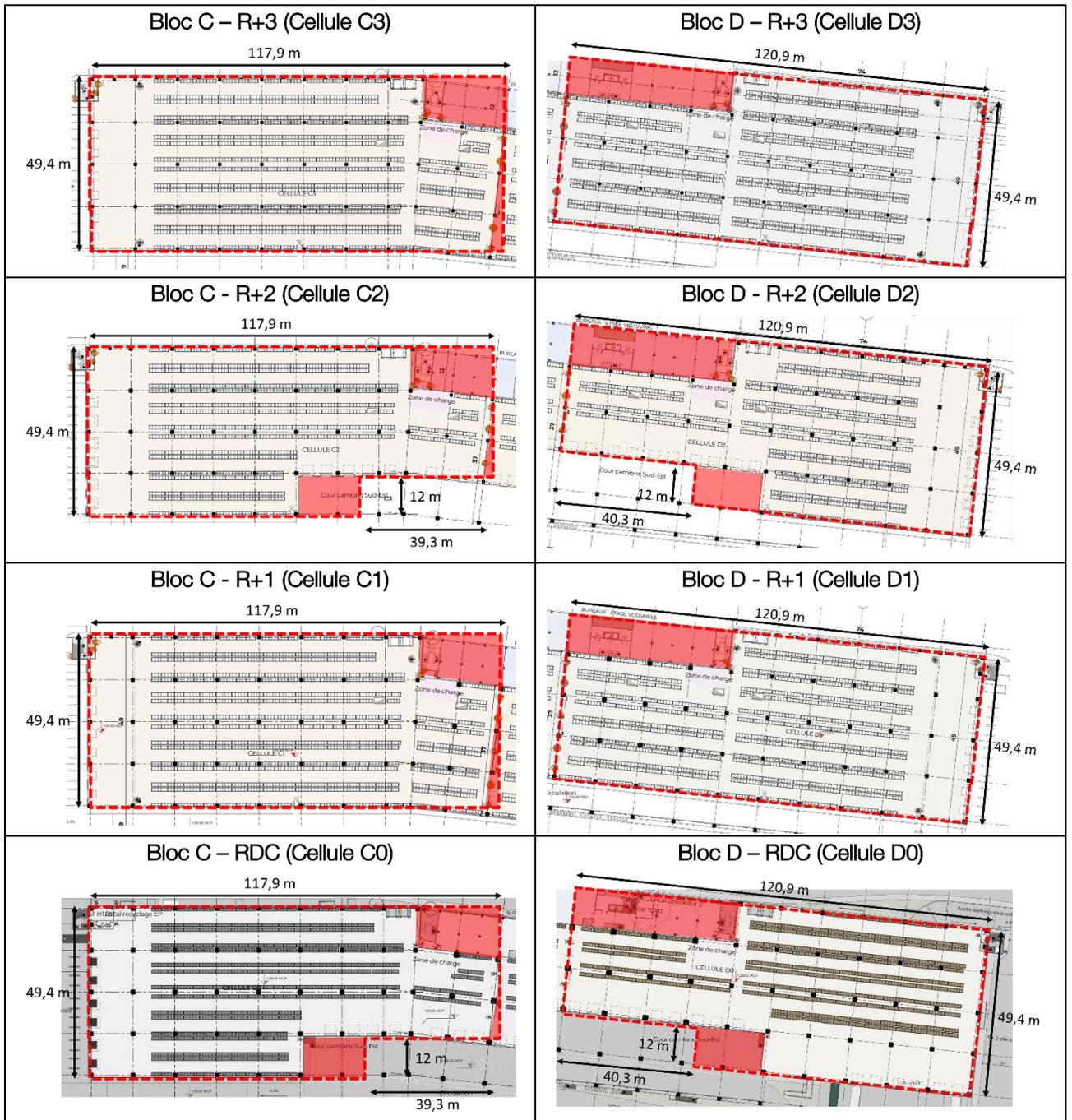


Figure 13 : Vue en plans des blocs C et D – Géométrie des cellules modélisées

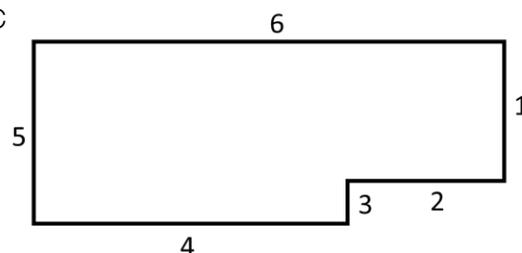
4.3.2. - GESTION DES MEZZANINES

Les cellules aux niveaux R+1 et R+3 dans les blocs A à D (cellules A1/A3/B1/B3/C1/C3/D1/D3) intègrent des mezzanines. Le risque de propagation de l'incendie aux produits stockés sur les mezzanines est très probable. L'hypothèse de modélisation consiste à ignorer les mezzanines et à supposer les cellules pleines avec un stockage en rack. Cette hypothèse de modélisation permet de tenir compte de la charge combustible hébergée sur les racks des mezzanines.

4.3.3. - PRISE EN COMPTE DES TENUES AU FEU CONVENTIONNELLES DES PAROIS ET PLANCHERS

Les caractéristiques concernant la structure et les parois des cellules sont reprises dans les tableaux suivants. Les parois de l'entrepôt sont numérotées comme suit :

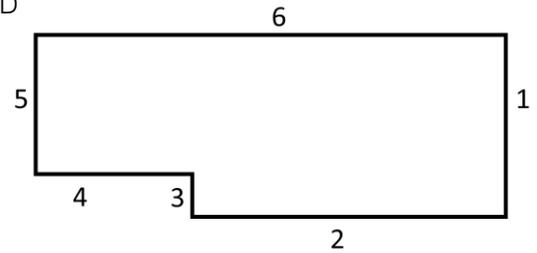
- Pour les cellules des niveaux RDC et R+2 dans les blocs A et C



Cellules des niveaux RDC et R+2 dans les blocs A et C : Cellules A0/A2/C0/C2						
Composition de la paroi	Monocomposante					
Structure Support	Poteau béton					
R : Résistance au feu	120					
Paroi	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4	Paroi 5	Paroi 6
Matériau	Béton armé	Panneaux sandwich	Panneaux sandwich (*)	Panneaux sandwich (*)	Panneaux sandwich	Panneaux sandwich (*)
E : Etanchéité aux gaz chauds (min)	120	30	120	120	30	120
I : Critère d'isolation de la paroi (min)	120	30	120	120	30	120
Y : Résistance des Fixations (min)	120	30	120	120	30	120

(*) Ecran thermique métallique

- Pour les cellules des niveaux RDC et R+2 dans les blocs B et D



Cellules des niveaux RDC et R+2 dans les blocs B et D : Cellules B0/B2/D0/D2						
Composition de la paroi	Monocomposante					
Structure Support	Poteau béton					
R : Résistance au feu	120					
Paroi	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4	Paroi 5	Paroi 6
Matériau	Panneaux sandwich D0 : (*)	Panneaux sandwich Autres : (*)	Panneaux sandwich Autres : (*)	Panneaux sandwich	Béton armé	Panneaux sandwich (*)
E : Etanchéité aux gaz chauds (min)	D0 : 120 Autres : 30	D0 : 30 Autres : 120	D0 : 30 Autres : 120	30	120	120
I : Critère d'isolation de la paroi (min)	D0 : 120 Autres : 30	D0 : 30 Autres : 120	D0 : 30 Autres : 120	30	120	120
Y : Résistance des Fixations (min)	D0 : 120 Autres : 30	D0 : 30 Autres : 120	D0 : 30 Autres : 120	30	120	120

(*) Ecran thermique métallique

- Pour les cellules des niveaux R+1 et R+3



Cellules des niveaux R+1 et R+3 dans les blocs A et C : Cellules A1/A3/C1/C3				
Composition de la paroi	Monocomposante			
Structure Support	Poteau béton			
R : Résistance au feu	120			
Paroi	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4
Matériau	Béton armé	Panneaux sandwich (*)	Panneaux sandwich	Panneaux sandwich (*)
E : Etanchéité aux gaz chauds (min)	120	120	30	120
I : Critère d'isolation de la paroi (min)	120	120	30	120
Y : Résistance des Fixations (min)	120	120	30	120

(*) Ecran thermique métallique

Cellules des niveaux R+1 et R+3 dans les blocs B et D : Cellules B1/B3/D1/D3				
Composition de la paroi	Monocomposante			
Structure Support	Poteau béton			
R : Résistance au feu	120			
Paroi	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4
Matériau	Panneaux sandwich	Panneaux sandwich (*)	Béton armé	Panneaux sandwich (*)
E : Etanchéité aux gaz chauds (min)	30	120	120	120
I : Critère d'isolation de la paroi (min)	30	120	120	120
Y : Résistance des Fixations (min)	30	120	120	120

(*) Ecran thermique métallique

Au regard des hypothèses de la méthode FLUMilog, les cellules présentent une spécificité : les planchers haut et bas de chaque cellule présentent une tenue au feu REI120. Cette caractéristique ne peut être représentée de façon réaliste dans les calculs de flux thermiques. En effet, dans la méthode FLUMilog, l'agression thermique des murs débute lorsque le feu atteint ces derniers et ce, après la ruine de la toiture. Autrement formulé, tant que cette dernière reste en place, la propagation du feu est ralentie ce qui peut retarder voire empêcher l'agression des parois et donc minimiser les flux thermiques. Une approche prudente consiste donc à attribuer à la toiture du modèle FLUMilog (correspondant au plancher haut de la cellule) un degré de résistance égal au degré de résistance le plus faible des parois [18]. Cependant, le développement du feu dans la cellule et la propagation de l'incendie dépendent de la ventilation du foyer, elle-même fortement corrélée à la ruine des façades et, dans les calculs, à la chute de la toiture. Ainsi, l'hypothèse de modélisation sur la tenue au feu des planchers hauts des cellules conduit à majorer la puissance maximale libérée par l'incendie et donc les flux thermiques. Pour assurer la pertinence de la durée du feu et donc du risque de propagation de l'incendie à une autre cellule, on s'assurera que la ventilation du foyer permet l'atteinte des puissances de feu calculées. Cette vérification est assurée avec la formule de Kawagoe figurant notamment dans l'Eurocode 1 Partie 1-2 [19] :

$$Q_{max} = 1,5 \cdot A \cdot \sqrt{H} \text{ en MW}$$

où A désigne la surface des ouvertures en m^2 , H est la hauteur moyenne des ouvertures en m .

Dans le cas où la puissance maximale atteinte pour la détermination de la durée de l'incendie excède la valeur maximale admissible du fait des ouvertures assurant la ventilation du foyer, la durée de l'incendie sera allongée par calcul analytique, en conservant la charge combustible mobilisable et comme représenté sur la Figure 14.

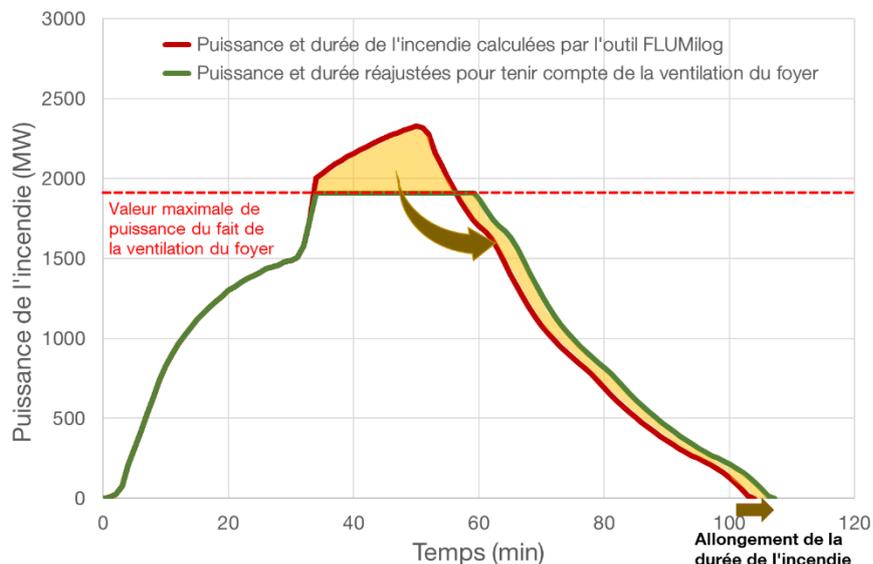


Figure 14 : Détermination de la durée de l'incendie

L'outil FLUMilog intègre un modèle qui influence le développement de l'incendie en cas d'effondrement de la toiture : les morceaux plus ou moins importants de la toiture recouvrent le combustible et ainsi limitent leur combustion. Pour limiter l'impact de ce modèle, on retient le type de toiture correspondant au recouvrement du combustible le plus faible, à savoir une toiture en fibrociment pour lequel le recouvrement du combustible est très faible, environ 5% (le fibrociment se désagrègeant lors d'un feu).

4.3.4. - MODELISATION DES OUVERTURES EN FAÇADE ET DU DESENFUMAGE DES CELLULES

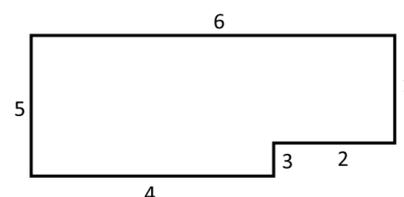
Certaines façades intègrent des portes de quais.

En ce qui concerne le désenfumage, l'évacuation de fumée est assurée naturellement par des ouvrants sur façades formant écran thermique et dans une moindre proportion des puits de désenfumage :

- L'outil FLUMilog, dans sa version actuelle, n'est pas en capacité de modéliser des dispositifs de type ouvrants alors même qu'ils conduisent à des percements dans des écrans thermiques EI120. L'hypothèse de modélisation qui est retenue consiste à modéliser la surface d'ouverture de chaque façade par des portes de quai, en définissant leur section à partir de la surface géométrique de l'ensemble des ouvrants sur cette façade. Cette hypothèse de modélisation apparaît contraignante car elle rapproche les percements dans les façades des cibles et donc conduit à surestimer les flux thermiques à l'altitude des cibles. En ce qui concerne le cas particulier des cellules pouvant être frigorifiques, les flux thermiques sont estimés en supposant les percements liés au désenfumage de sorte de maximiser ces flux thermiques.
- La surface des puits de désenfumage étant au maximum de l'ordre de 0,34% de la taille de la cellule, cette valeur est en dehors de la gamme de valeurs de l'outil FLUMilog et donc trop faible pour être modélisée. Il est donc supposé une surface d'exutoire nulle.

Les ouvertures dans les façades sont reprises dans les tableaux suivants. Les parois de l'entrepôt sont numérotées comme suit :

- Pour les cellules des niveaux RDC et R+2 dans les blocs A et C



Cellules des niveaux RDC et R+2 du bloc A : Cellules A0/A2				
Paroi	Paroi 2	Paroi 4	Paroi 5	Paroi 6
Portes (*)	A0 : 4 ou 9 portes quai (**) A2 : 10 portes quai		6 portes quai 1 porte benne	
Ouvrants en façade	A0: SUE 17,6 m ² A0: SG 28,0 m ² A2: SUE 17,6 m ² A2: SG 28,0 m ²	A0: SUE 31,5 m ² A0: SG 49,9 m ² A2: SUE 30,4 m ² A2: SG 48,3 m ²		A0: SUE 24,3 m ² A0: SG 62,7 m ² A2: SUE 29,2 m ² A2: SG 46,4 m ²

0,33 % d'exutoires pour une SUE 13,5 m²

(*) Dimensions unitaires des portes de quai logistique : 3*3 m²

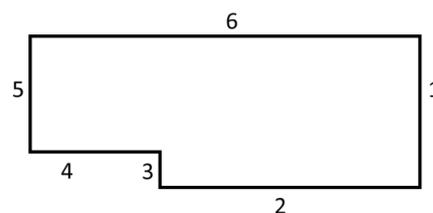
(**) le preneur demandant à réduire le nombre de portes de quais, la vérification de la puissance maximale atteinte (cf. §4.3.3) est effectuée pour le nombre minimal de portes de quais (4). En revanche les flux thermiques sont calculés pour le nombre maximal de portes de quais (9).

Cellules des niveaux RDC et R+2 du bloc C : Cellules C0/C2				
Paroi	Paroi 2	Paroi 4	Paroi 5	Paroi 6
Portes (*)	C0 : 7 portes quais C2 : 8 portes quais		6 portes quais 1 porte benne	
Ouvrants en façade	C0: SUE 11,4 m ² C0: SG 18,2 m ² C2: SUE 11,4 m ² C2: SG 18,2 m ²	C0: SUE 50,2 m ² C0: SG 78,9 m ² C2: SUE 46,7 m ² C2: SG 74,0 m ²		C0: SUE 25 m ² C0: SG 67,4 m ² C2: SUE 30 m ² C2: SG 84,5 m ²

0,20 % d'exutoires pour une SUE 9 m²

(*) Dimensions unitaires des portes de quai logistique : 3*3 m²

- Pour les cellules des niveaux RDC et R+2 dans les blocs B et D



Cellules des niveaux RDC et R+2 du bloc B : Cellules B0/B2				
Paroi	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 4	Paroi 6
Portes (*)	6 portes quai 1 porte benne		B0 : 4 ou 9 portes quai (**) B2 : 10 portes quai	
Ouvrants en façade		B0: SUE 37 m ² B0: SG 58 m ² B2: SUE 28,4 m ² B2: SG 45 m ²	B0: SUE 17,6 m ² B0: SG 28 m ² B2: SUE 17,6 m ² B2: SG 28 m ²	B0: SUE 18,4 m ² B0: SG 47,5 m ² B2: SUE 29,2 m ² B2: SG 46,4 m ²

0,34 % d'exutoires pour une SUE 13,5 m²

(*) Dimensions unitaires des portes de quai logistique : 3*3 m²

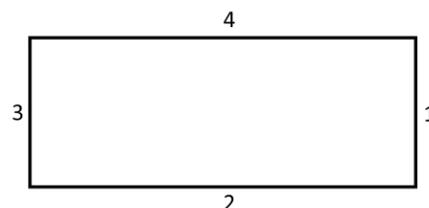
(**) Le preneur demandant à réduire le nombre de portes de quais, la vérification de la puissance maximale atteinte (cf. §4.3.3) est effectuée pour le nombre minimal de portes de quais (4). En revanche les flux thermiques sont calculés pour le nombre maximal de portes de quais (9).

Cellules des niveaux RDC et R+2 du bloc D : Cellules D0/D2				
Paroi	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 4	Paroi 6
Portes (*)	D2 : 6 portes quai 1 porte benne	D0 : 6 portes quai 1 porte benne	D0 : 9 portes quai D2 : 10 portes quai	
Ouvrants en façade	D0: SG 34,6 m ²	D0: SUE 41 m ² D0: SG 64,8 m ² D2: SUE 38 m ² D2: SG 60,4 m ²	D0: SUE 20,7 m ² D0: SG 32,8 m ² D2: SUE 19,6 m ² D2: SG 31,2 m ²	D0: SUE 22,2 m ² D0: SG 60,3 m ² D2: SUE 23,2 m ² D2: SG 63,3 m ²

0,33 % d'exutoires pour une SUE 14,7 m²

(*) Dimensions unitaires des portes de quai logistique : 3*3 m²

- Pour les cellules des niveaux R+1 et R+3



Cellules des niveaux R+1 et R+3 du bloc A : Cellules A1/A3				
Paroi	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4
Portes (*)			6 portes quai 1 porte benne	
Ouvrants en façade		A1: SUE 60,6 m ² A1: SG 100,5 m ² A3: SUE 63,6 m ² A3: SG 100,5 m ²		A1: SUE 26,4 m ² A1: SG 42 m ² A3: SUE 24,2 m ² A3: SG 38,6 m ²

0,28 % d'exutoires pour une SUE 13,5 m²

(*) Dimensions unitaires des portes de quai logistique : 3*3 m²

Cellules des niveaux R+1 et R+3 du bloc B : Cellules B1/B3				
Paroi	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4
Porte de quais (*)	6 portes quai 1 porte benne			
Ouvrants en façade		B1: SUE 60,6 m ² B1: SG 100,5 m ² B3: SUE 63,6 m ² B3: SG 100,5 m ²		B1: SUE 27,3 m ² B1: SG 43,4 m ² B3: SUE 26,8 m ² B3: SG 42,5 m ²

0,28 % d'exutoires pour une SUE 13,5 m²

(*) Dimensions unitaires des portes de quai logistique : 3*3 m²

Cellules des niveaux R+1 et R+3 du bloc C : Cellules C1/C3				
Paroi	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4
Porte de quais (*)			6 portes quai 1 porte benne	
Ouvrants en façade		C1: SUE 63 m ² C1: SG 106 m ² C3: SUE 68 m ² C3 : SG 107,6 m ²²		C1: SUE 39,4 m ² C1: SG 62,5 m ² C3: SUE 36,5 m ² C3: SG : 58 m ²

0,17 % d'exutoires pour une SUE 9 m²

(*) Dimensions unitaires des portes de quai logistique : 3*3 m²

Cellules des niveaux R+1 et R+3 du bloc D : Cellules D1/D3				
Paroi	Paroi 1	Paroi 2	Paroi 3	Paroi 4
Porte de quais (*)	6 portes quai 1 porte benne			
Ouvrants en façade		D1: SUE 70,2 m ² D1: SG 115,8 m ² D3: SUE 73,2 m ² D3: SG 115,8 m ²		D1: SUE 25,2 m ² D1: SG 58,4 m ² D3: SUE 22,3 m ² D3: SG 58,9 m ²

0,28 % d'exutoires pour une SUE 14,74 m²

(*) Dimensions unitaires des portes de quai logistique : 3*3 m²

4.3.5. - PRISE EN COMPTE DE LA CHARGE CALORIFIQUE

Les cellules contiennent un seul mode de stockage, à savoir un stockage sur rack sur 4,7 m de haut pour les cellules aux niveaux RDC et R+2 et 6,2 m de haut pour les cellules aux niveaux R+1 et R+3.

Les natures de stockage retenues sont

- Un stockage de type 2662 pour établir les flux thermiques.
- Un stockage de type 1510 pour établir la durée de l'incendie.

Les stockages sont modélisés au travers des palettes types définies dans l'outil. Bien que l'entrepôt soit classé sous les rubriques 1510-2b, ce choix se veut contraignant pour majorer les flux thermiques dans la mesure où dans l'outil FLUMilog la puissance calorifique pour une palette type est de 1 875 kW pour la rubrique 2662, 1 525 kW pour la rubrique 1510 et 1 300 kW pour la rubrique 1511 (cf. Figure 15 pour un exemple sur la cellule D0). La durée de combustion d'une palette est prise forfaitairement égale à 45 min quelle que soit la rubrique.

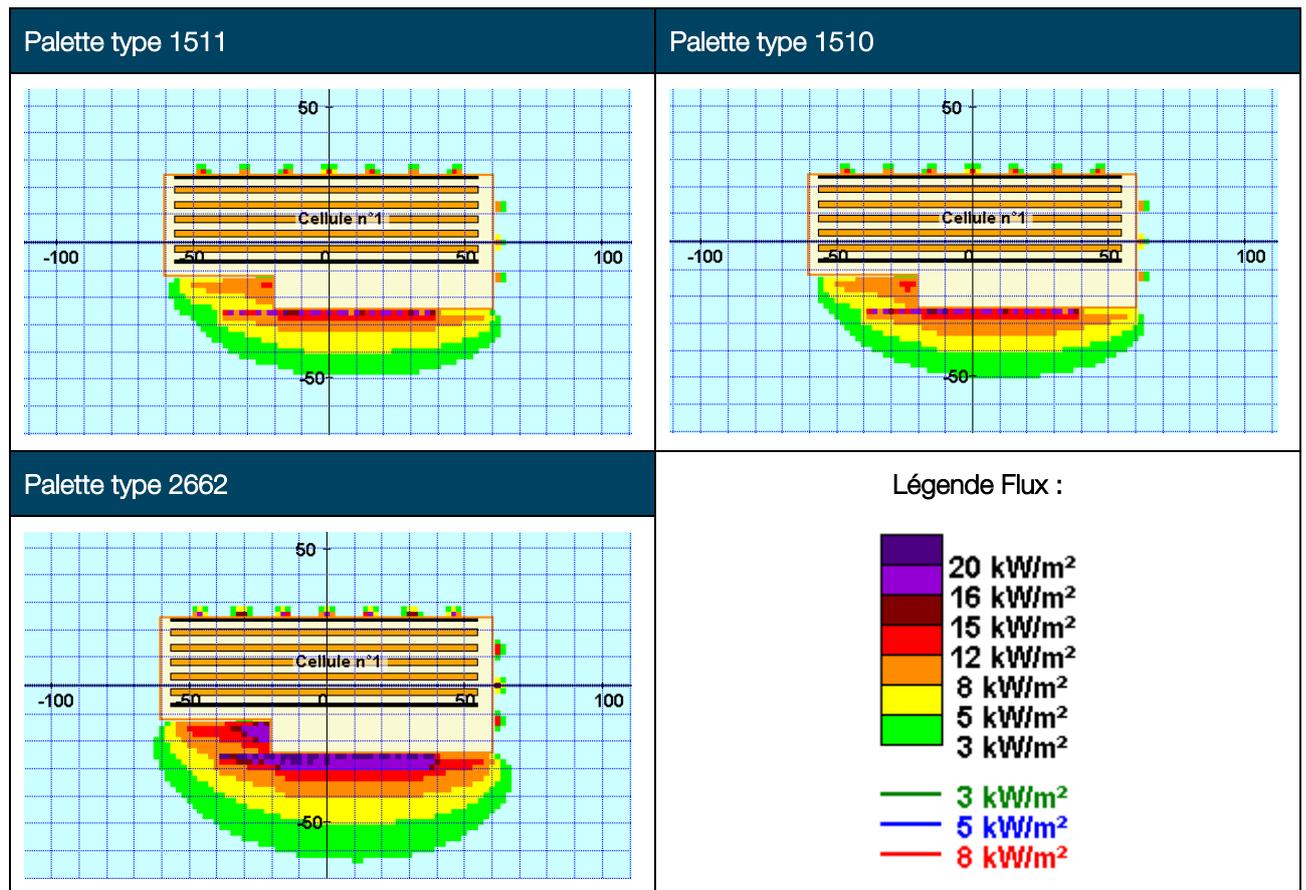
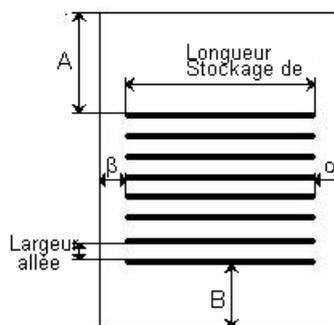


Figure 15 : Exemple de la cellule D0 - Résultats de flux thermiques en fonction de la palette type

Les hypothèses de modélisation du stockage sont reprises dans les tableaux ci-après, suivant la terminologie de l'outil FLUMillog.



Sens du stockage	Dans le sens de la paroi 2			
Nombre de niveau de stockage	3 pour les cellules des niveaux RDC et R+2 (donné à titre indicatif) 4 pour les cellules des niveaux R+1 et R+3 (donné à titre indicatif)			
	Cellules du bloc A		Cellules du bloc B	
Niveau	RDC/R+2	R+1/R+3	RDC/R+2	R+1/R+3
Longueur de stockage	87 m	87 m	87 m	87 m
Déport latéral A	0 m	0 m	0 m	0 m
Déport latéral B	0 m	0 m	0 m	0 m
Déport latéral α	3,7 m	3,7 m	18,2 m	18,2 m
Déport latéral β	18,2 m	18,2 m	3,7 m	3,7 m
Hauteur stockage/canton	4,7 m / 1 m	6,2 m / 1 m	4,7 m / 1 m	6,2 m / 1 m
Nb de double racks	7	7	7	7
Largeur d'un double rack	2,5 m	2,5 m	2,5 m	2,5 m
Nb de racks simples	2	2	2	2
Largeur d'un rack simple	1,25 m	1,25 m	1,25 m	1,25 m
Surf./vol. de stockage	1740 m ² 8178 m ³	1740 m ² 10788 m ³	1740 m ² 8178 m ³	1740 m ² 10788 m ³

Les valeurs dans les cellules grisées sont calculées par l'outil FLUMillog

	Cellules du bloc C		Cellules du bloc D		
Niveau	RDC/R+2	R+1/R+3	RDC	R+2	R+1/R+3
Longueur de stockage	96 m	96 m	111,5 m	97 m	97,5
Déport latéral A	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m
Déport latéral B	0 m	0 m	16,9 m	0 m	0 m
Déport latéral α	3 m	3 m	5,6 m	19,5 m	19,5 m
Déport latéral β	18,9 m	18,9 m	3,8 m	4,4 m	3,9 m
Hauteur stockage/canton	4,7 m / 1 m	6,2 m / 1 m	4,7 m / 1 m	4,7 m / 1 m	6,2 m / 1 m
Nb de double racks	7	7	5	7	7
Largeur d'un double rack	2,5 m	2,5 m	2,5 m	2,5 m	2,5 m
Nb de racks simples	2	2	2	2	2
Largeur d'un rack simple	1,25 m	1,25 m	1,25 m	1,25 m	1,25 m
Surf./vol. de stockage	1920 m ² 9024 m ³	1920 m ² 11712 m ³	1672,5 m ² 7861 m ³	1940 m ² 9118 m ³	1950 m ² 12090 m ³

Les valeurs dans les cellules grisées sont calculées par l'outil FLUMillog

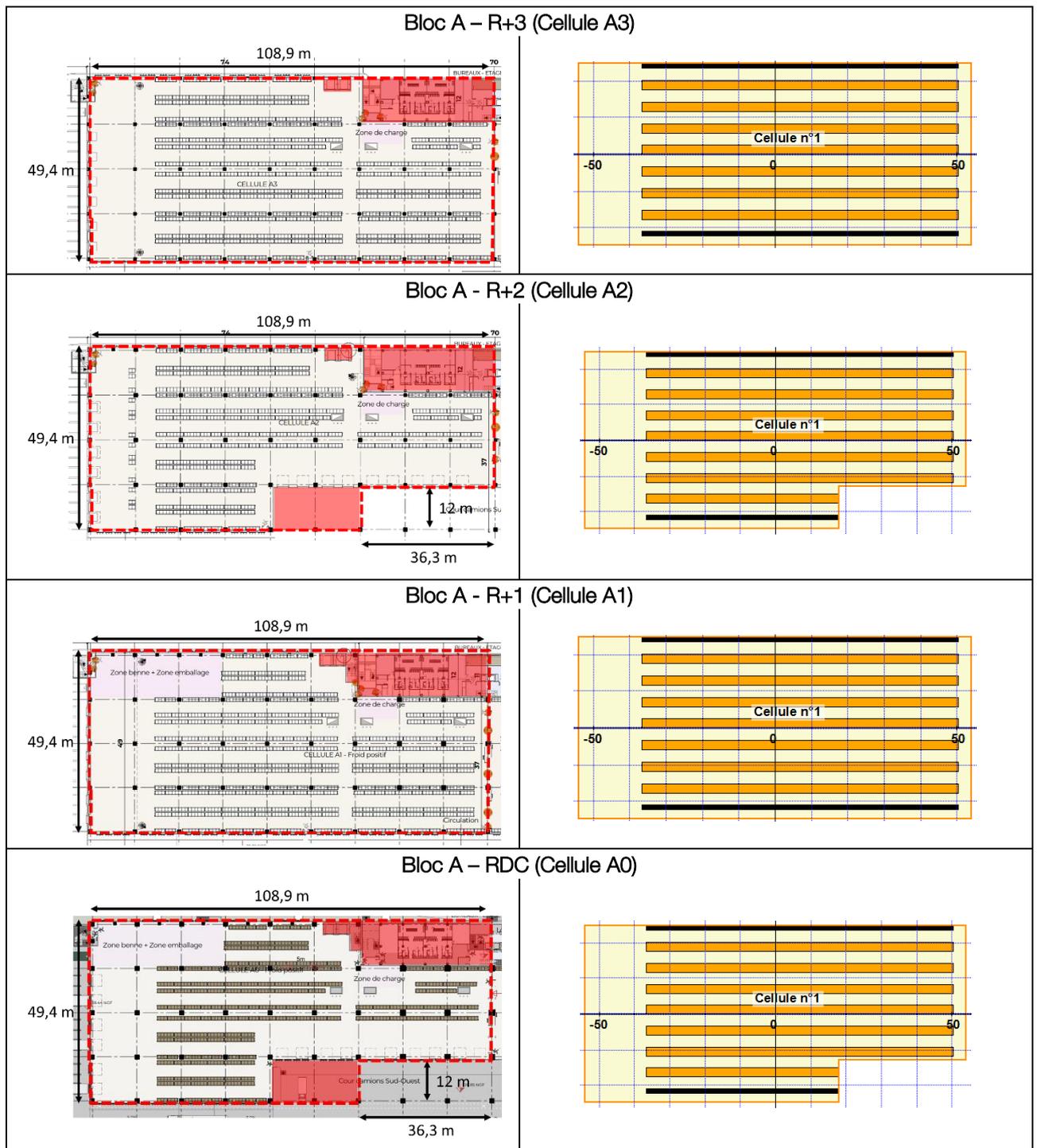


Figure 16 : Vue en plans du bloc A – Géométrie des cellules modélisées

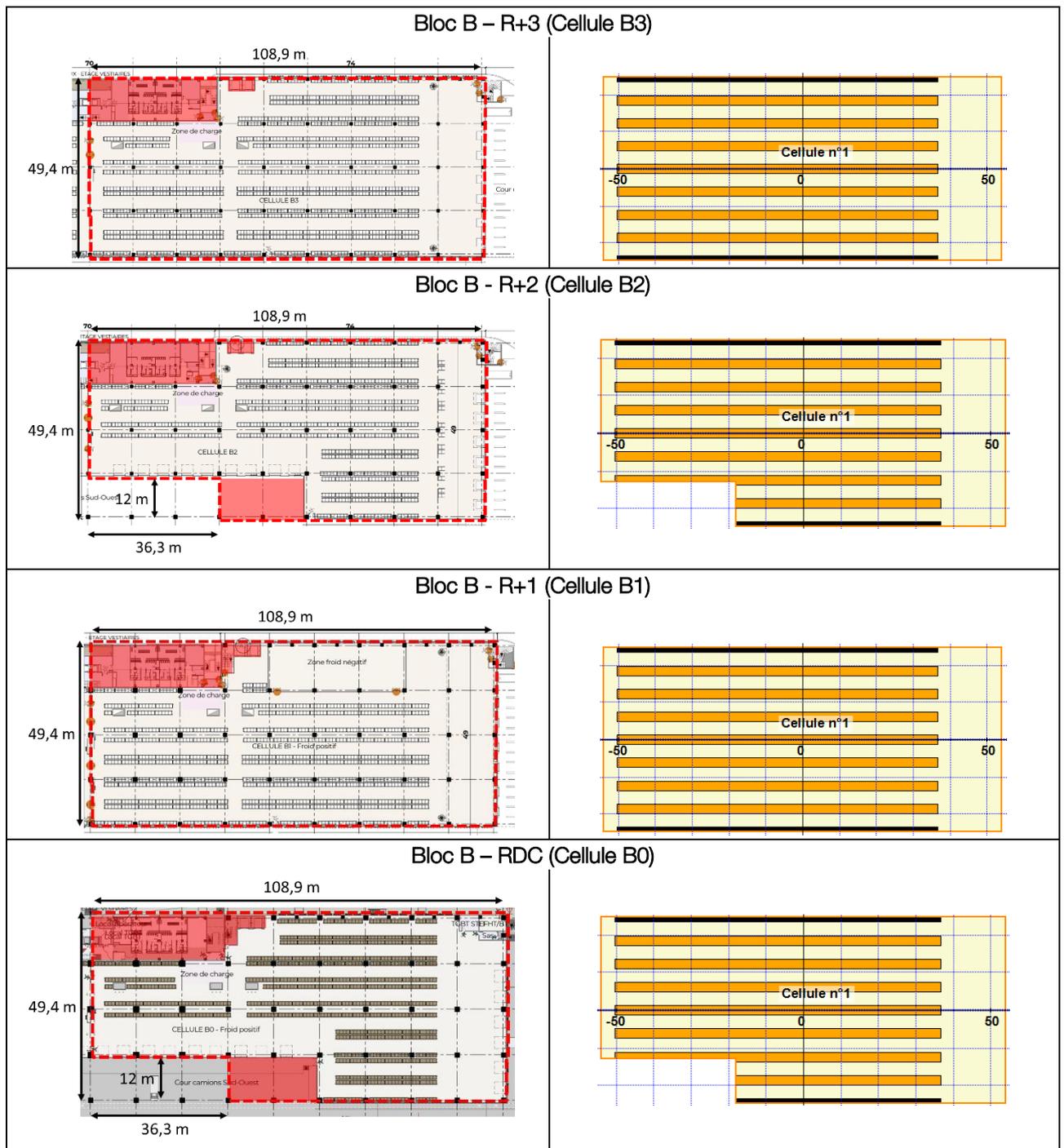


Figure 17 : Vue en plans du bloc B – Géométrie des cellules modélisées

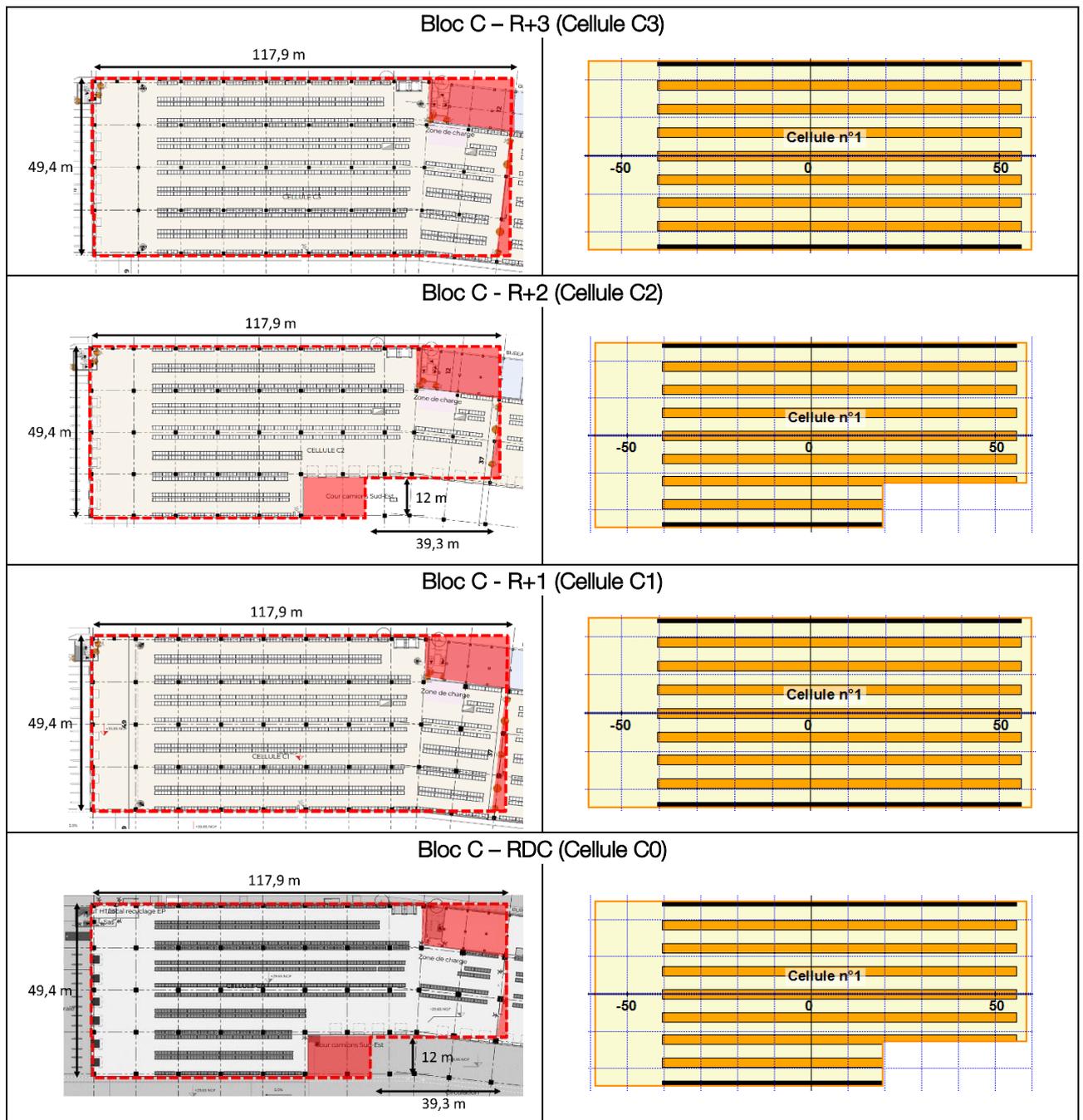


Figure 18 : Vue en plans du bloc C – Géométrie des cellules modélisées

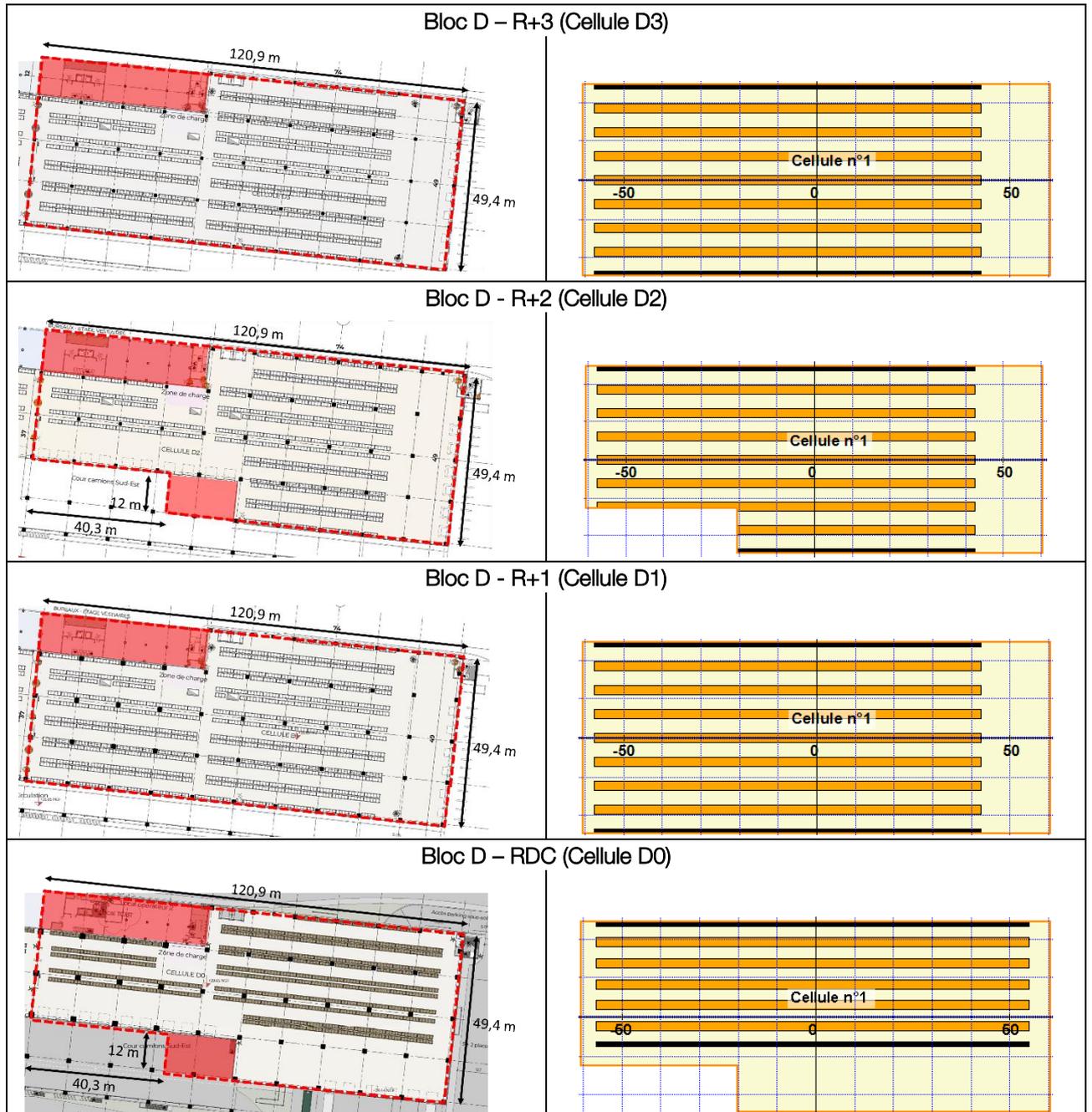


Figure 19 : Vue en plans du bloc D – Géométrie des cellules modélisées

6. - RESULTATS DE CALCUL

Les résultats sont scindés ci-après en deux parties. La première partie présente les durées d'incendie calculées. La seconde partie présente les cartes de flux thermiques.

6.1. - DUREE DE L'INCENDIE D'UNE CELLULE

Le Tableau 4 résume la durée de l'incendie généralisé calculée pour chaque cellule de l'entrepôt par la méthode FLUMilog. Cette durée est comprise entre 89 min et 99 min. Pour certaines cellules, la ventilation du foyer apparaît limitée par la surface d'ouverture des façades ruinées et des ouvrants de désenfumage. Cela conduit à allonger la durée de l'incendie d'environ une dizaine de minutes pour chacune de ces cellules. La durée de l'incendie généralisé dans chaque cellule de l'entrepôt apparaît en conséquence comprise entre 89 min et 116 min. Le critère de propagation de l'incendie n'est ainsi jamais atteint. **Pour chacune des cellules, ces durées d'incendie apparaissent donc inférieures à la tenue au feu conventionnelle des parois et planchers séparatifs entre cellules, on considère que l'incendie reste localisé à une cellule.**

	Cellules du bloc A			
Niveau	RDC	R+1	R+2	R+3
Durée de l'incendie calculée par FLUMILOG	89 min	97 min	89 min	97 min
Durée intégrant la ventilation du foyer	-	109 min	-	111 min
	Cellules du bloc B			
Niveau	RDC	R+1	R+2	R+3
Durée de l'incendie calculée par FLUMILOG	89 min	97 min	89 min	97 min
Durée intégrant la ventilation du foyer	-	109 min	-	111 min
	Cellules du bloc C			
Niveau	RDC	R+1	R+2	R+3
Durée de l'incendie calculée par FLUMILOG	90 min	99 min	90 min	99 min
Durée intégrant la ventilation du foyer	90 min	114 min	90 min	115 min
	Cellules du bloc D			
Niveau	RDC	R+1	R+2	R+3
Durée de l'incendie calculée par FLUMILOG	93 min	99 min	90 min	99 min
Durée intégrant la ventilation du foyer	-	114 min	90 min	116 min

Tableau 4 : Durée de l'incendie généralisé dans chaque cellule

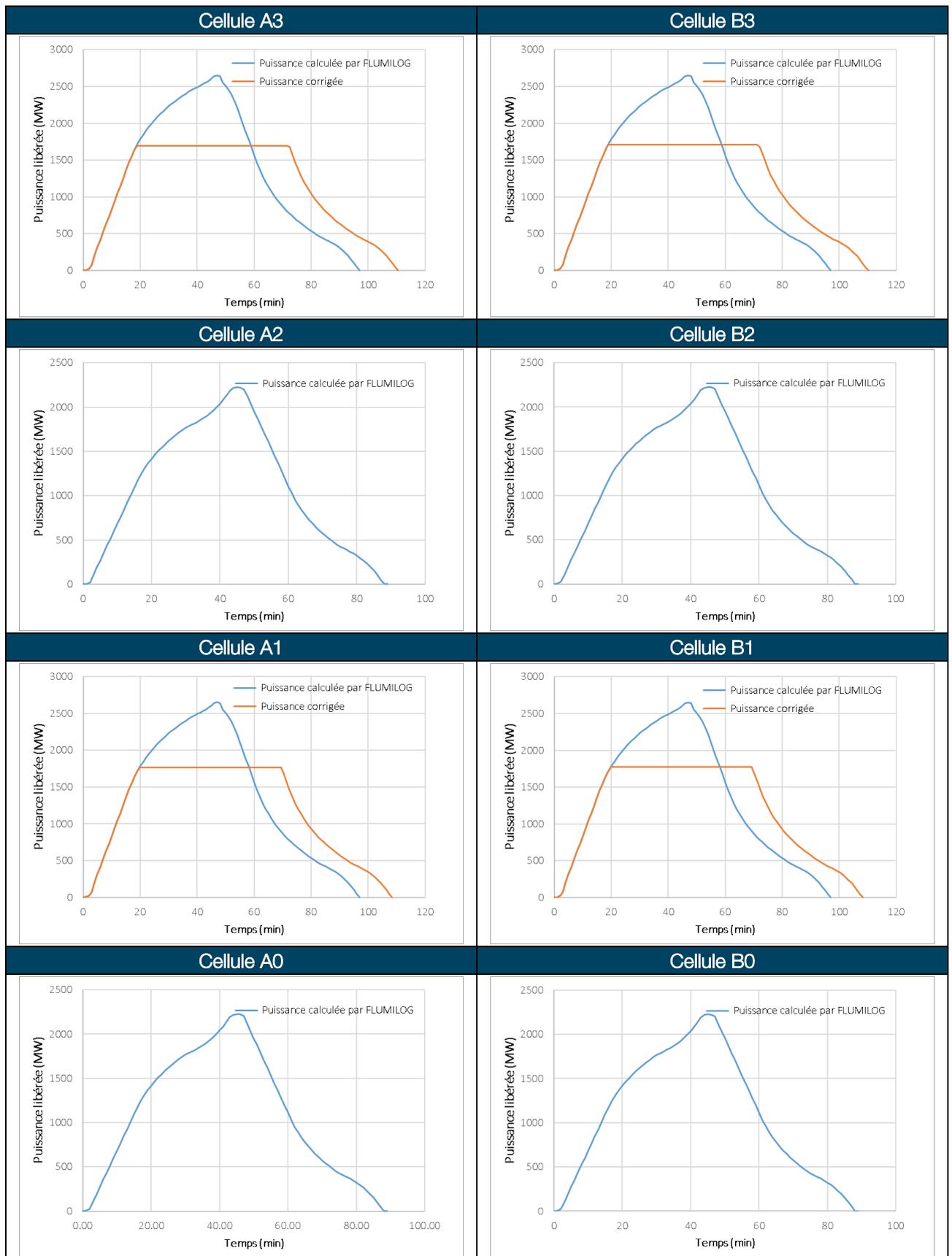


Figure 20 : Cellules des blocs A et B - Evolution temporelle des puissances d'incendie (En bleu, les résultats de calcul de FLUMIlog. En orange, les résultats modifiés pour intégrer la ventilation du foyer)

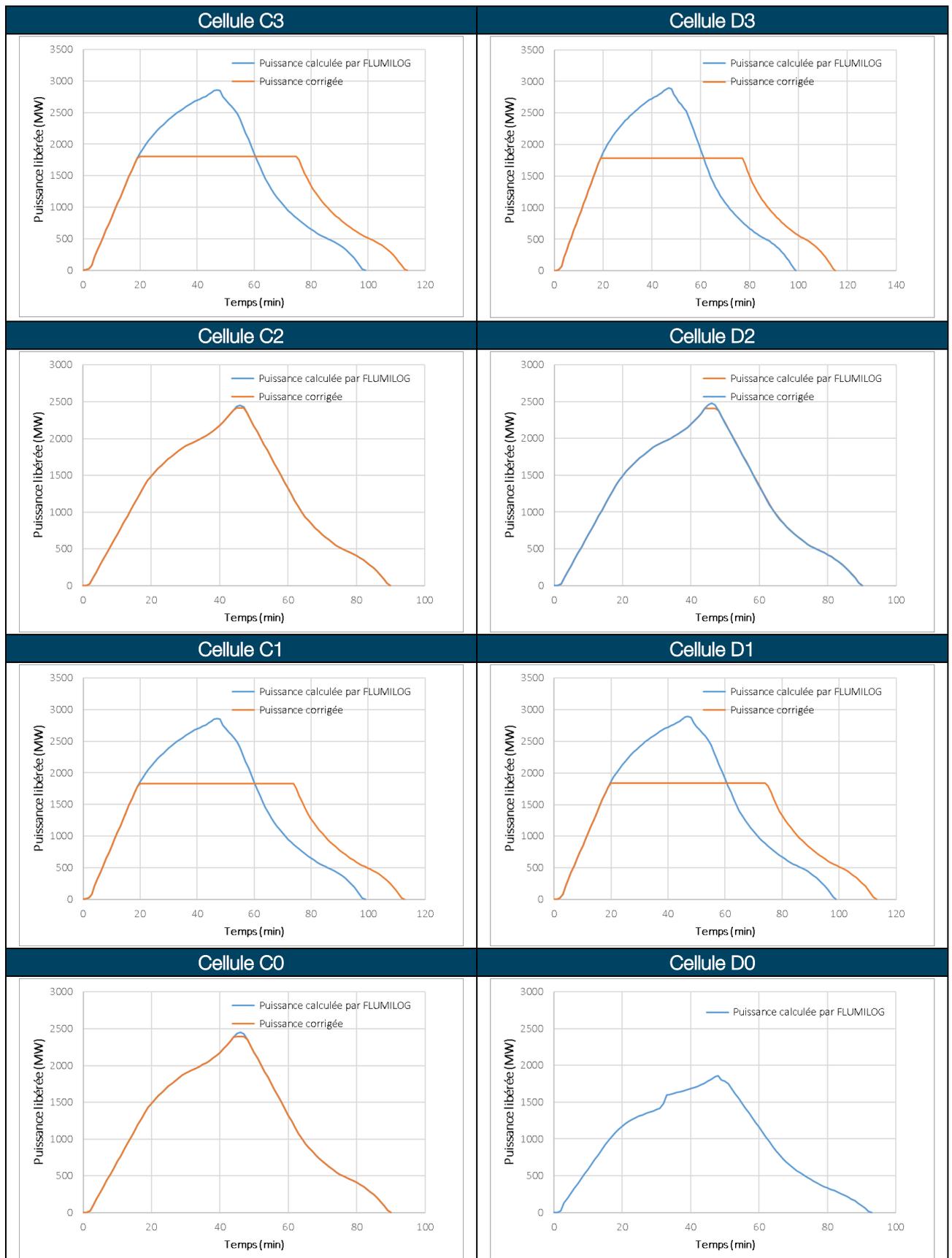


Figure 21 : Cellules des blocs C et D - Evolution temporelle des puissances d'incendie (En bleu, les résultats de calcul de FLUMIlog. En orange, les résultats modifiés pour intégrer la ventilation du foyer)

6.2. - FLUX THERMIQUE

La Figure 22, Figure 23, Figure 24 et Figure 25 ci-après présentent les résultats de distances d'effets de flux thermiques pour un incendie dans chacune des cellules. L'absence de flux visibles sur les résultats des cellules aux niveaux R+2 et R+3 est liée d'une part à la hauteur de cible, située en contre-bas (pour les niveaux supérieurs), et d'autre part à l'affichage des flux par l'outil FLUMilog uniquement à partir du seuil de 3 kW/m². Pour rappel, ces distances d'effets de flux thermiques sont établies pour un incendie de palettes types 2662. En annexe du présent document, figurent les résultats de distances d'effets de flux thermiques pour un incendie de palettes types 1510.

De façon à aider la lecture des résultats, les flux thermiques des cellules des niveaux RDC et R+1 (A0/A1/B0/B1/C0/C1/D0/D1) sont représentés sur une carte simplifiée représentant les critères de performance définis par l'arrêté ministériel du 11 avril 2017 modifié ainsi que les points d'attention retenus (cf. Figure 26).

Les résultats présentés permettent d'établir qu'en cas d'incendie généralisé à une cellule de l'entrepôt :

- Sur les limites de site, les flux thermiques ne dépassent pas 5 kW/m²,
- Sur les voies de circulation externes, les flux thermiques ne dépassent pas 5 kW/m²,
- Sur les voies d'eau situées au NORD, les flux thermiques ne dépassent pas 3 kW/m².

En conséquence, les règles d'implantation de l'entrepôt respectent les objectifs fixés dans le §2 de l'Annexe II établis suivant l'arrêté ministériel du 11 avril 2017.

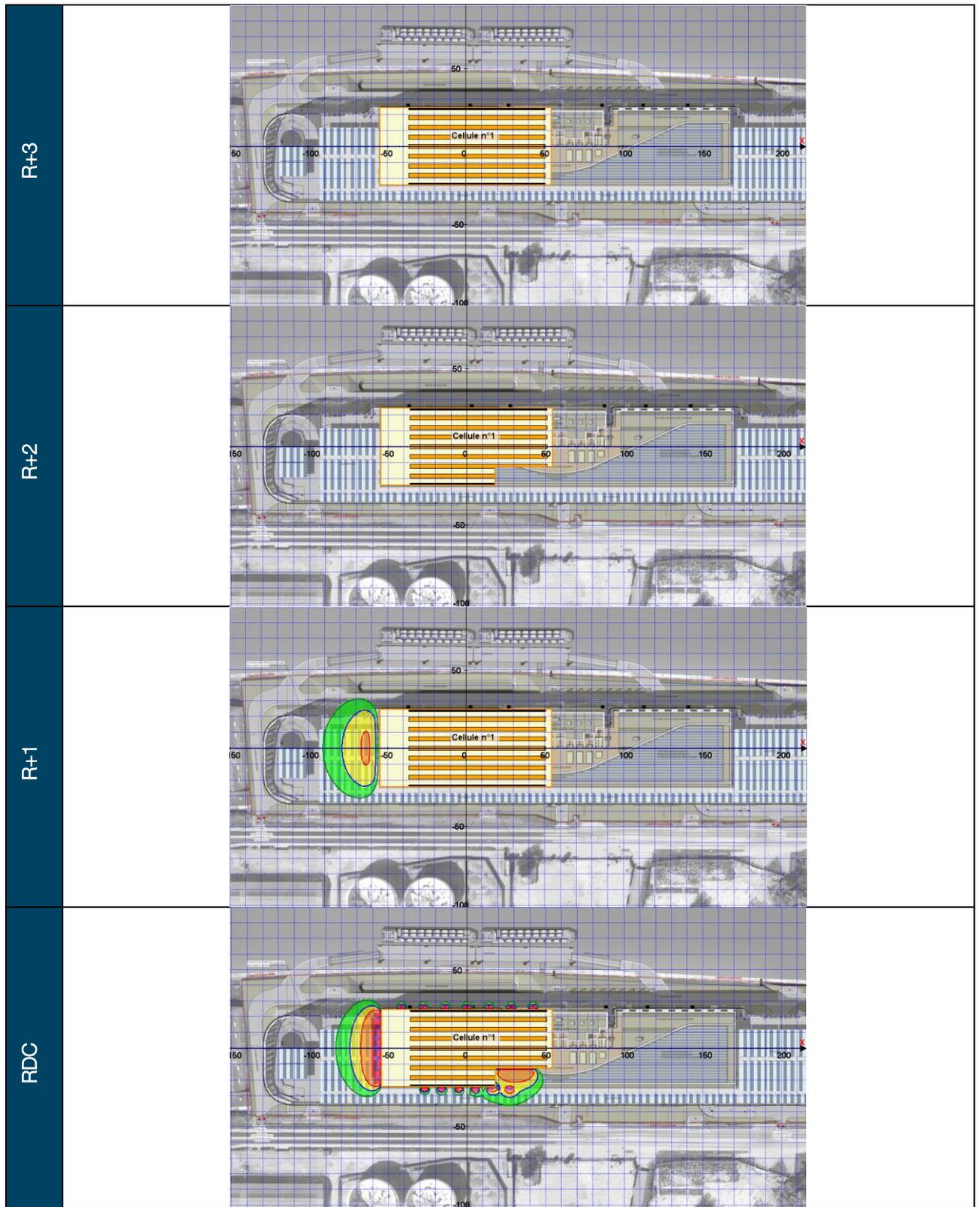
En ce qui concerne les points d'attention sur le site et en dehors du site qui ont été identifiés dans la présente étude, il ressort de l'analyse des résultats que :

- Les accès pompiers au site : Les flux thermiques n'excèdent jamais 3 kW/m² sur les quatre accès pompiers quelle que soit la cellule.
- Les voies de desserte de l'établissement : Les flux thermiques n'excèdent pas 3 kW/m² sur la quasi-totalité de la voie de desserte : parties NORD, SUD, EST et OUEST quelle que soit la cellule. Les flux thermiques excèdent 3 kW/m² sur la voie de desserte entre les blocs B et C en cas d'incendie dans les cellules B0 et C0. Aussi, ils excèdent 3 kW/m² sur le tronçon de voie engin entre la route du Bassin n°6 et l'impasse des petits marais en cas d'incendie dans la cellule D0.
- Les aires de mise en station des moyens aériens : Les flux thermiques n'excèdent jamais 3 kW/m² sur les deux aires de mise en station des moyens aériens.
- Les poteaux incendie concourant à la DECI : Les flux thermiques n'excèdent jamais 3 kW/m² sur aucun poteau incendie.
- Le local sprinkler incluant les pompes sprinkler-RIA, les canalisations et les armoires électriques : Les flux thermiques n'excèdent jamais 3 kW/m² quelle que soit la cellule.

Remarque : Pour le cas particulier de la cellule D0, certes les flux thermiques ne dépassent pas la valeur seuil réglementaire 5 kW/m² en limite de propriété au SUD, ils dépassent néanmoins 3 kW/m² :

- La surface impactée par le flux sur la parcelle F11 est de 43,35 m²,
- La surface impactée par le flux sur la parcelle F97 est de 348,15 m²,
- La parcelle F150 est comprise dans le terrain du projet.

Remarque : L'étude de flux thermique présente en effet des seuils supérieurs à 20 kW/m² à proximité des éléments de construction. Les parois et planchers séparatifs ainsi que certaines façades présentent une résistance au feu conventionnelle de 2h (REI120 pour les parois et planchers, EI120 pour les façades formant écran thermique). Cette tenue au feu est démontrée pendant 2h pour une agression thermique correspondant à la courbe ISO834. Suivant cette courbe, la température agressant le corps d'épreuve excède 500°C après 5 min d'essai. Or, un corps noir porté à une température de 500°C, avec une émissivité de 1, correspond à un flux radiatif de 20 kW/m². La tenue au feu des éléments de construction est ainsi cohérente avec l'agression de 20 kW/m².



Légende Flux :

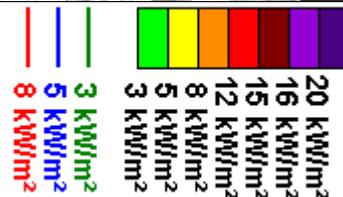


Figure 22 : Cellules du bloc A –Résultats de flux thermiques pour un incendie de palettes types 2662

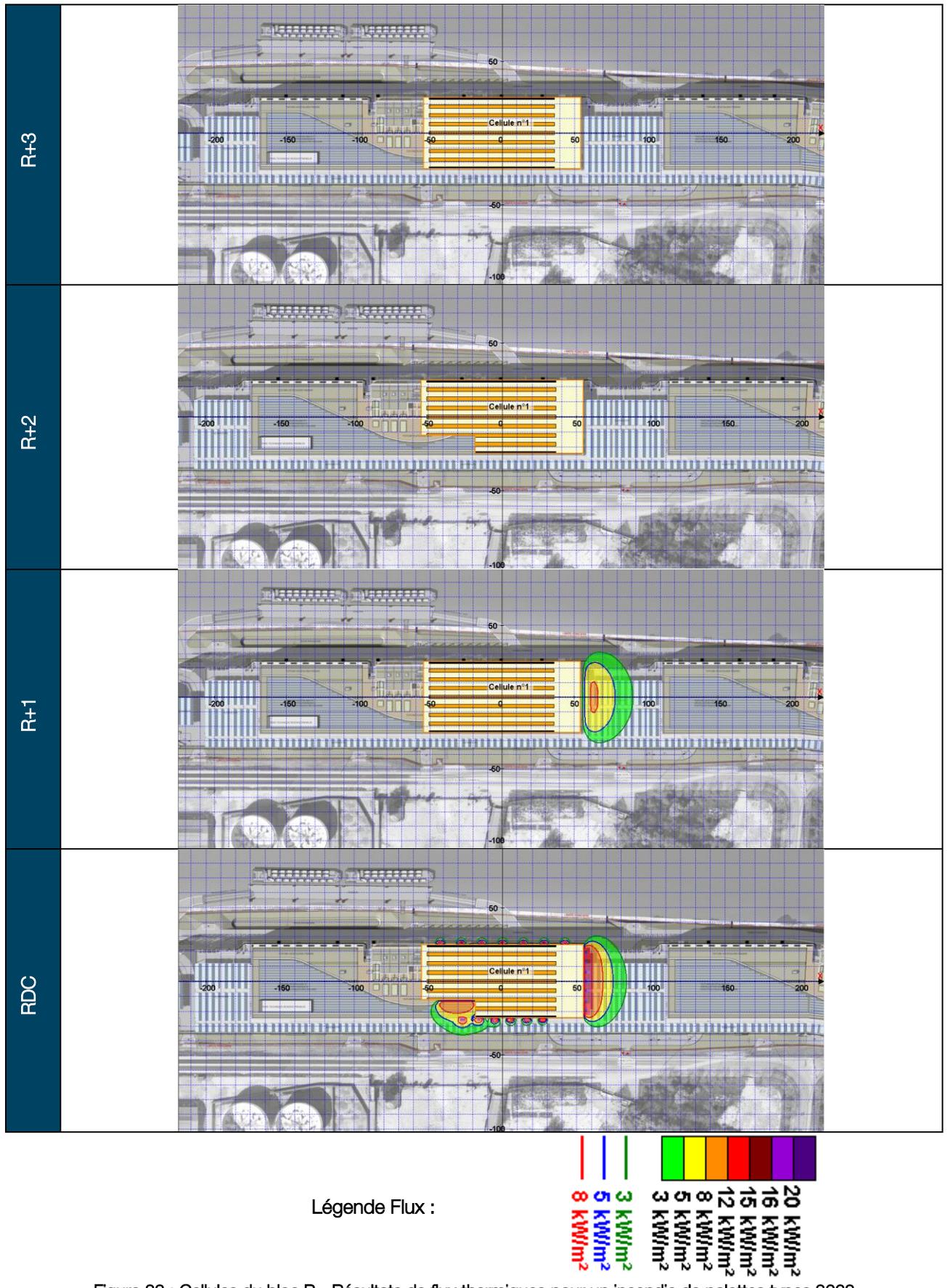


Figure 23 : Cellules du bloc B - Résultats de flux thermiques pour un incendie de palettes types 2662

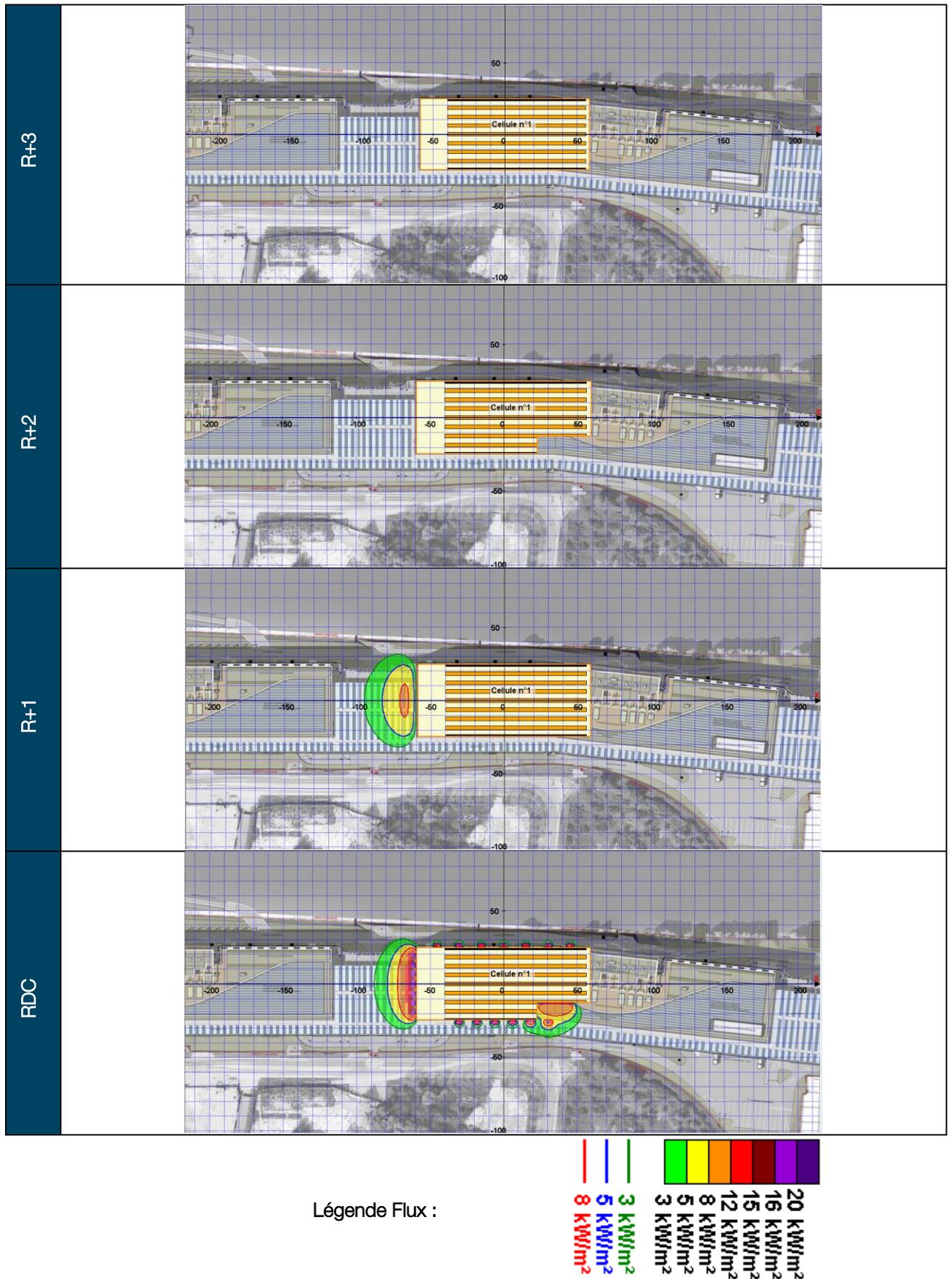
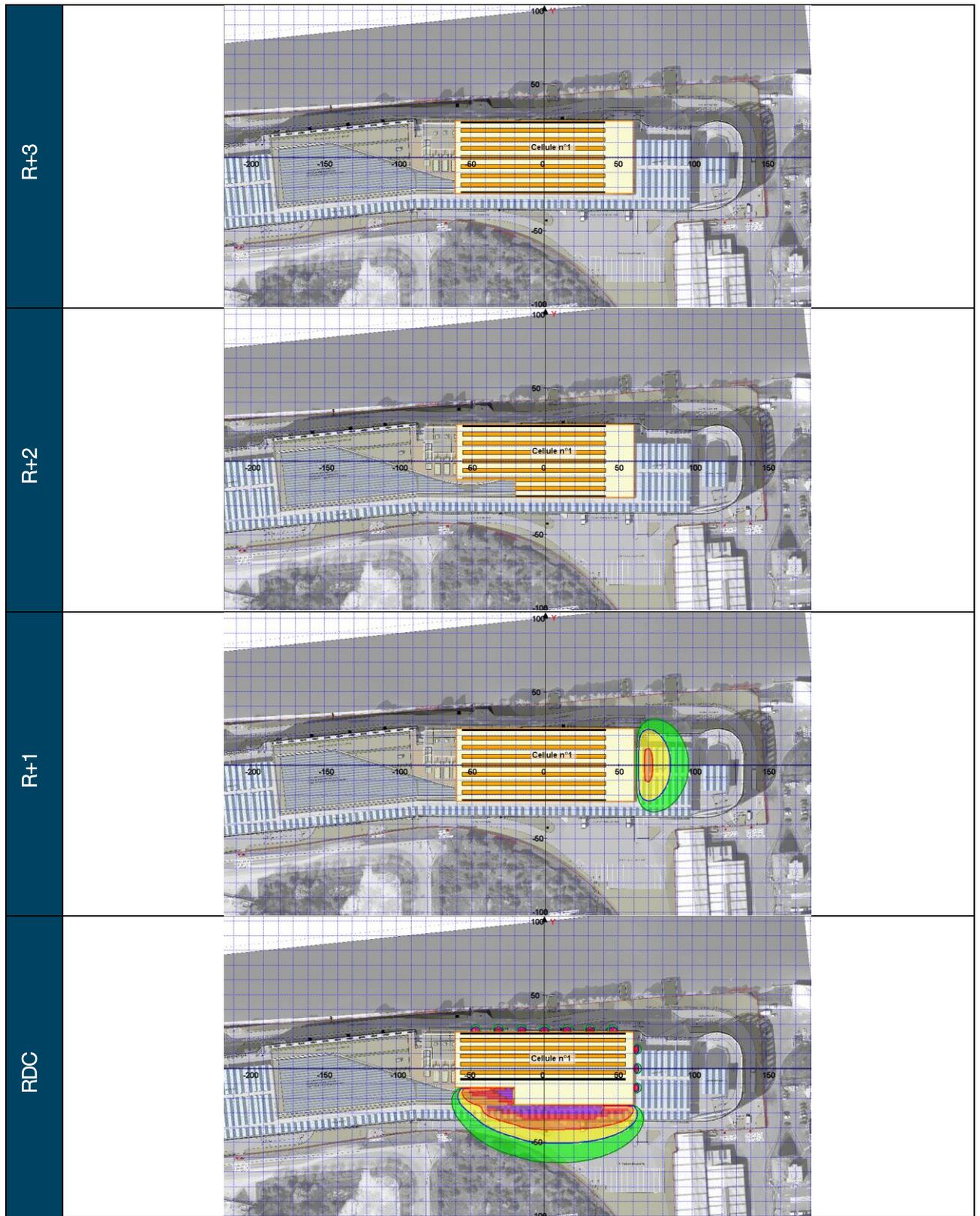


Figure 24 : Cellules du bloc C - Résultats de flux thermiques pour un incendie de palettes types 2662



R+3

R+2

R+1

RDC

Légende Flux :

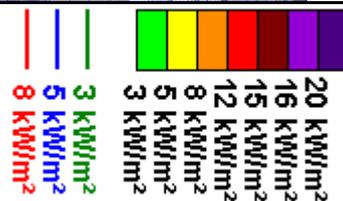
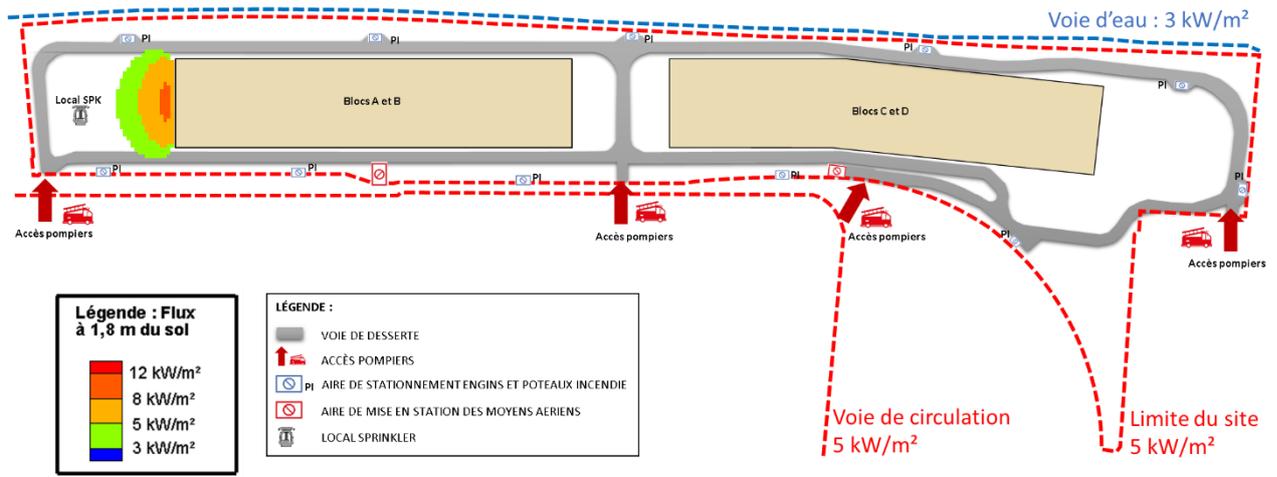
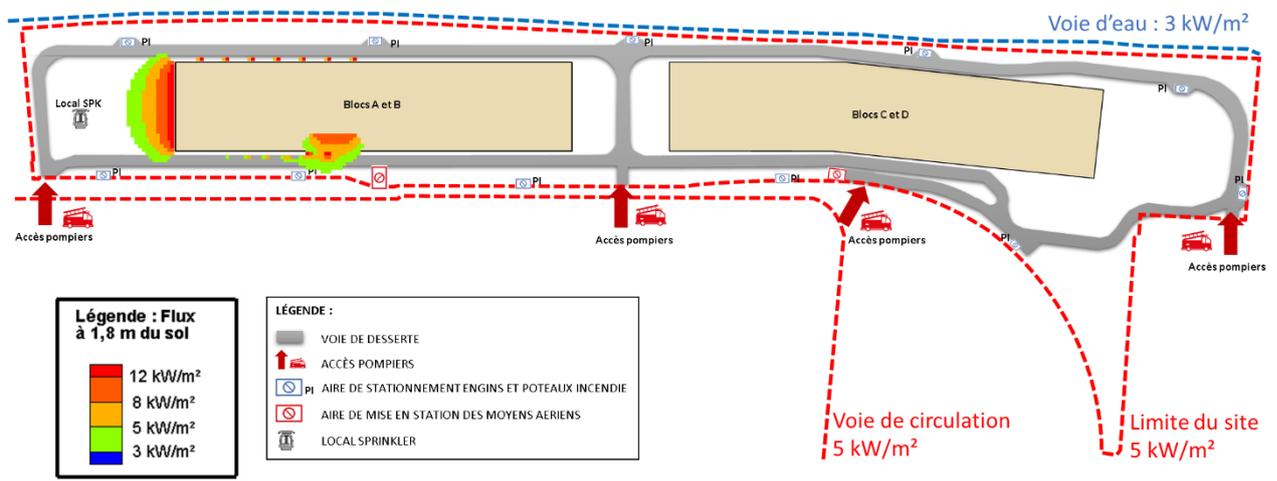


Figure 25 : Cellules du bloc D - Résultats de flux thermiques pour un incendie de palettes types 2662

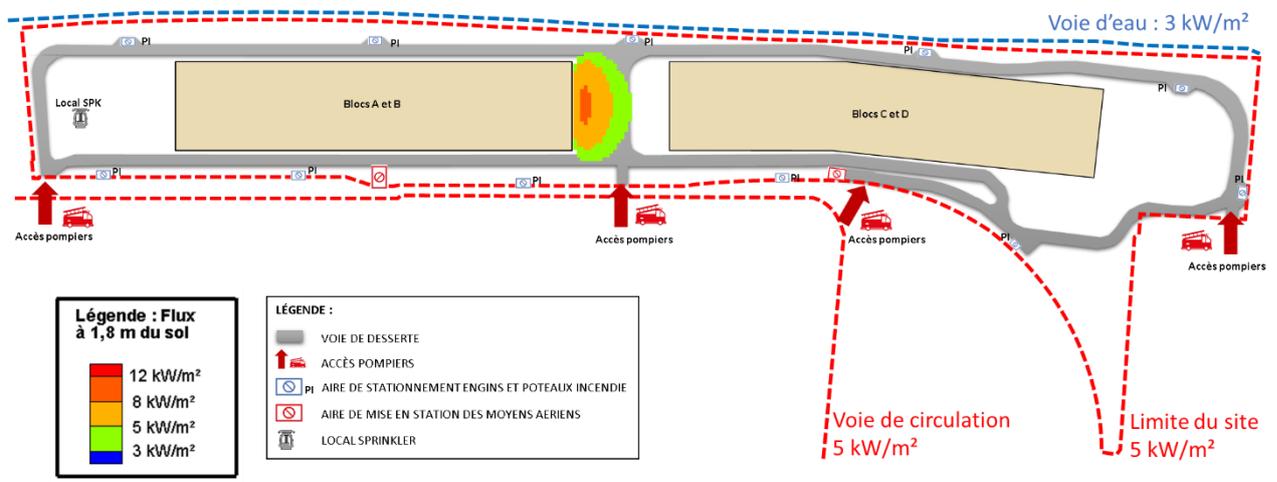
Cellule A1



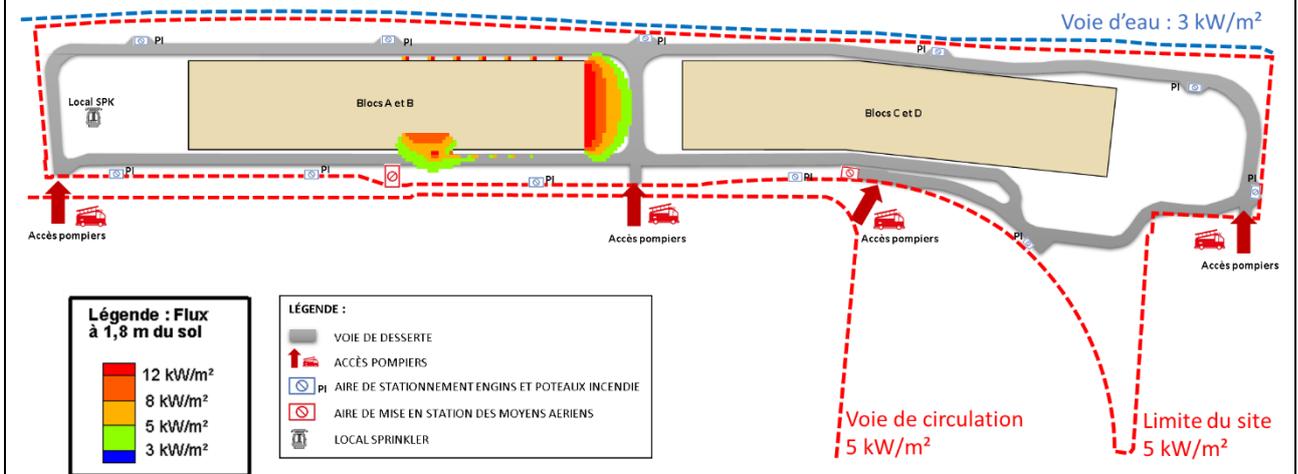
Cellule A0



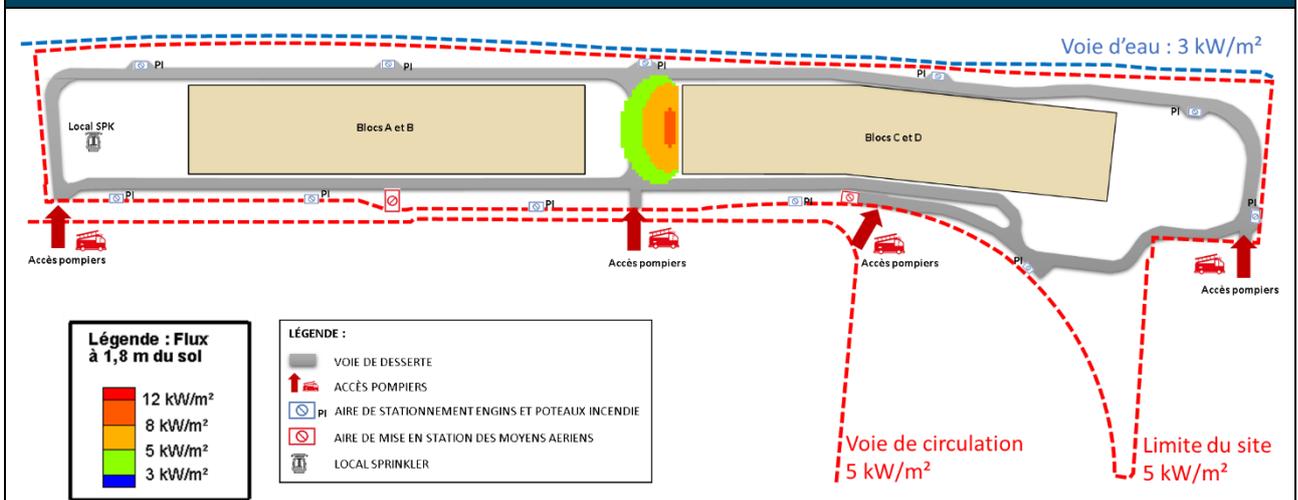
Cellule B1



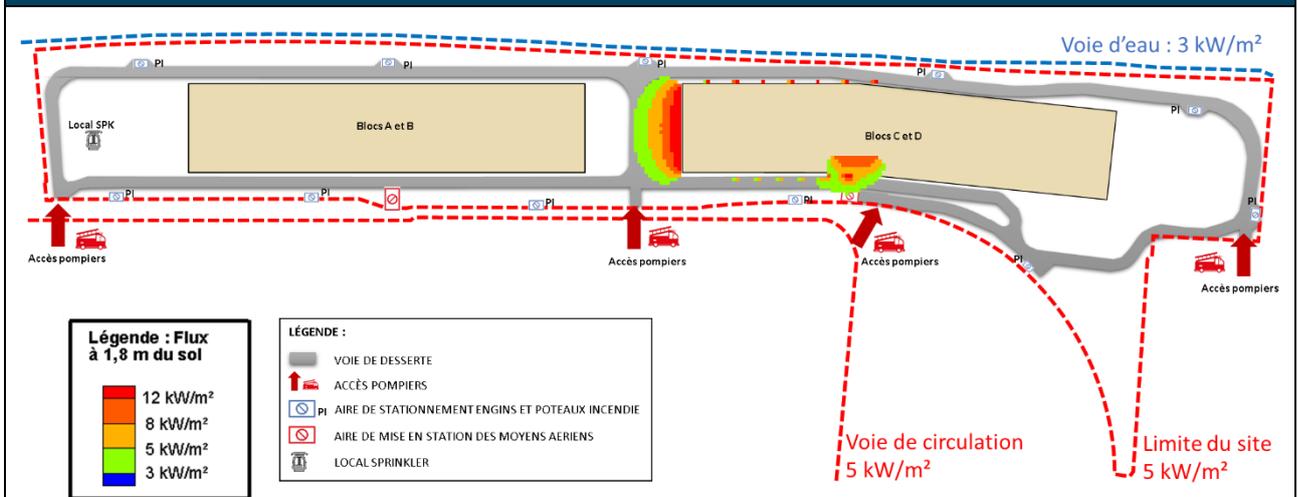
Cellule B0



Cellule C1



Cellule C0



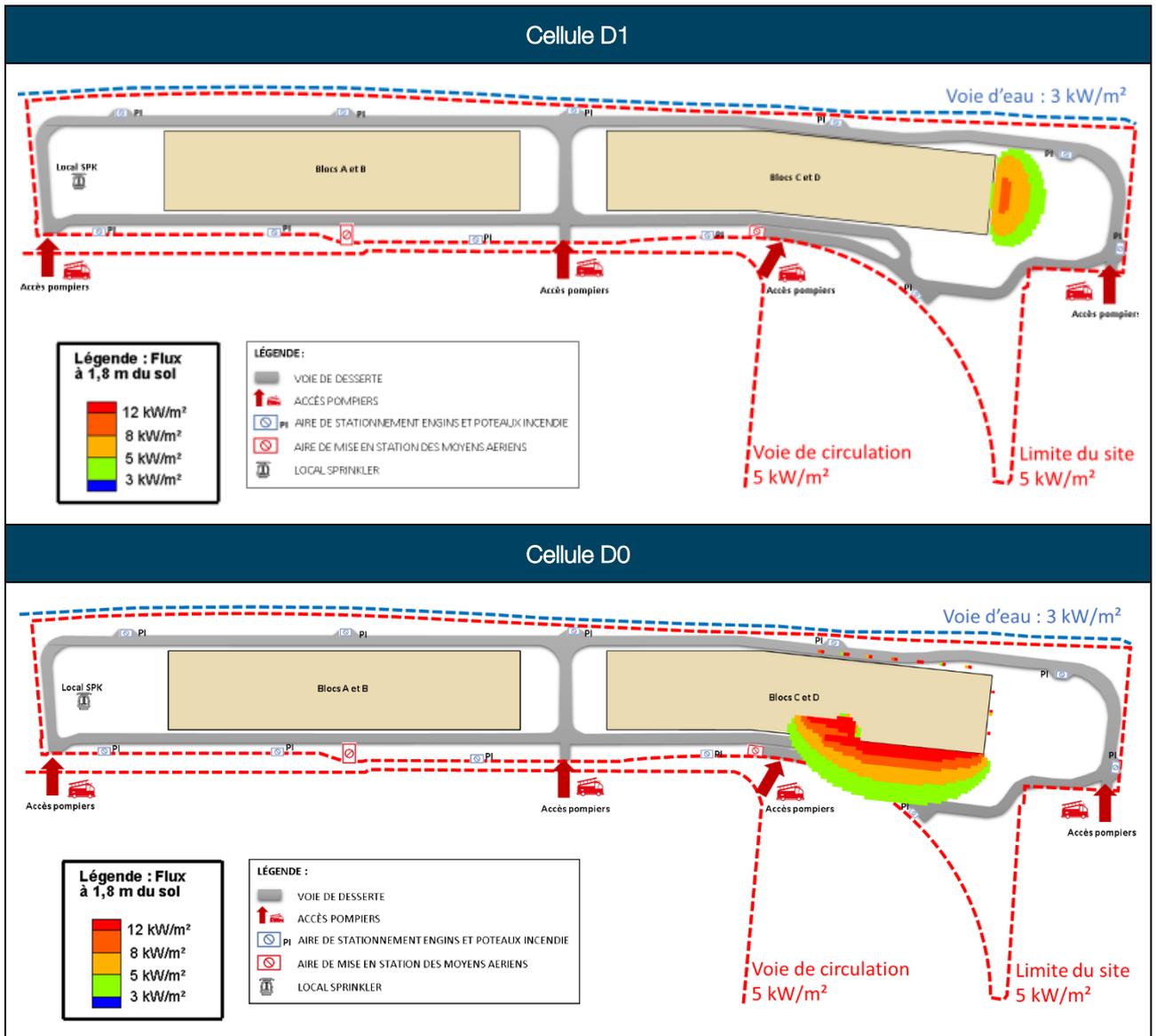


Figure 26 : Résultats de flux thermiques sur une carte simplifiée représentant les critères de performance définis par l'arrêté ministériel du 11 avril 2017 modifié ainsi que les points d'attention retenus

7. - SYNTHÈSE ET CONCLUSION DE L'ÉTUDE

La présente étude de flux thermiques est réalisée dans le cadre du projet de construction d'une plateforme logistique urbaine multimodale sur le site du port Autonome de Gennevilliers, sis Route du Bassin n°6. Le projet de construction comprend un bâtiment industriel à usage d'entrepôt à niveau, un parc de stationnement en infrastructure, des zones de bureaux liées à l'activité d'entrepôt et un ouvrage de ponton flottant dédié aux opérations de logistique fluviale du dernier kilomètre.

Le bâtiment industriel à usage d'entrepôt relève de la rubrique 1510-2b (entrepôt de matière combustible) sous le régime de l'enregistrement. À titre indicatif, certaines cellules de l'entrepôt (au RDC et au R+1 des blocs A et B) sont prévues pour être éventuellement frigorifiques d'une température inférieure à 10°C.

La présente étude a pour objet l'évaluation des flux thermiques en cas de départ de feu dans une cellule de l'entrepôt. Elle est conduite dans le cadre de l'article 2 de l'annexe II de l'arrêté ministériel du 11 avril 2017 modifié par l'arrêté du 24 septembre 2020. L'étude est réalisée avec la méthode FLUMilog. S'agissant d'un entrepôt sur plusieurs niveaux, la présente étude a fait l'objet d'un avis sur étude de l'INERIS pour s'assurer de la bonne utilisation du logiciel Flumilog pour le calcul des flux thermiques [10].

L'étude réalisée permet d'établir que les mesures adoptées par le projet, tant en dimensions des cellules, mode de stockage, quantité stockée, qu'en désenfumage des cellules, tenue au feu des parois/façades/planchers répondent aux objectifs de l'article 2 de l'annexe II de l'arrêté du 11 avril 2017 relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts couverts soumis à la rubrique 1510, modifié par l'arrêté du 24 septembre 2020.

De façon plus précise, les résultats permettent d'établir que les durées d'incendie calculées (inférieures à 120 min), et la configuration du bâtiment limitent le risque de propagation de l'incendie d'une cellule à une autre. Aussi, les résultats permettent d'établir qu'en cas d'incendie généralisé à une cellule :

- Sur les limites de site, les flux thermiques ne dépassent pas 5 kW/m²,
- Sur les voies de circulation externes, les flux thermiques ne dépassent pas 5 kW/m²,
- Sur les voies d'eau situées au NORD, les flux thermiques ne dépassent pas 3 kW/m².

Annexes |

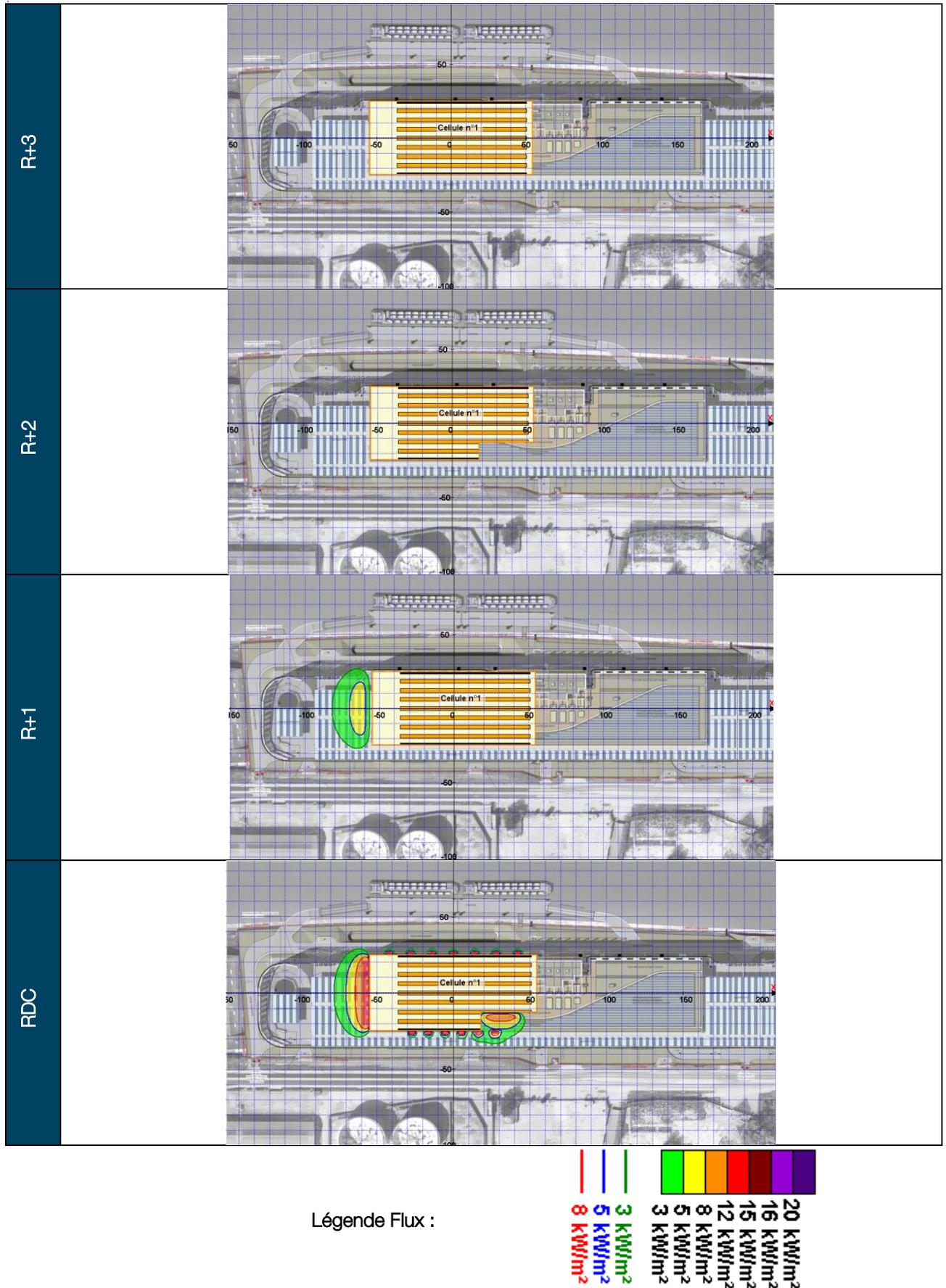
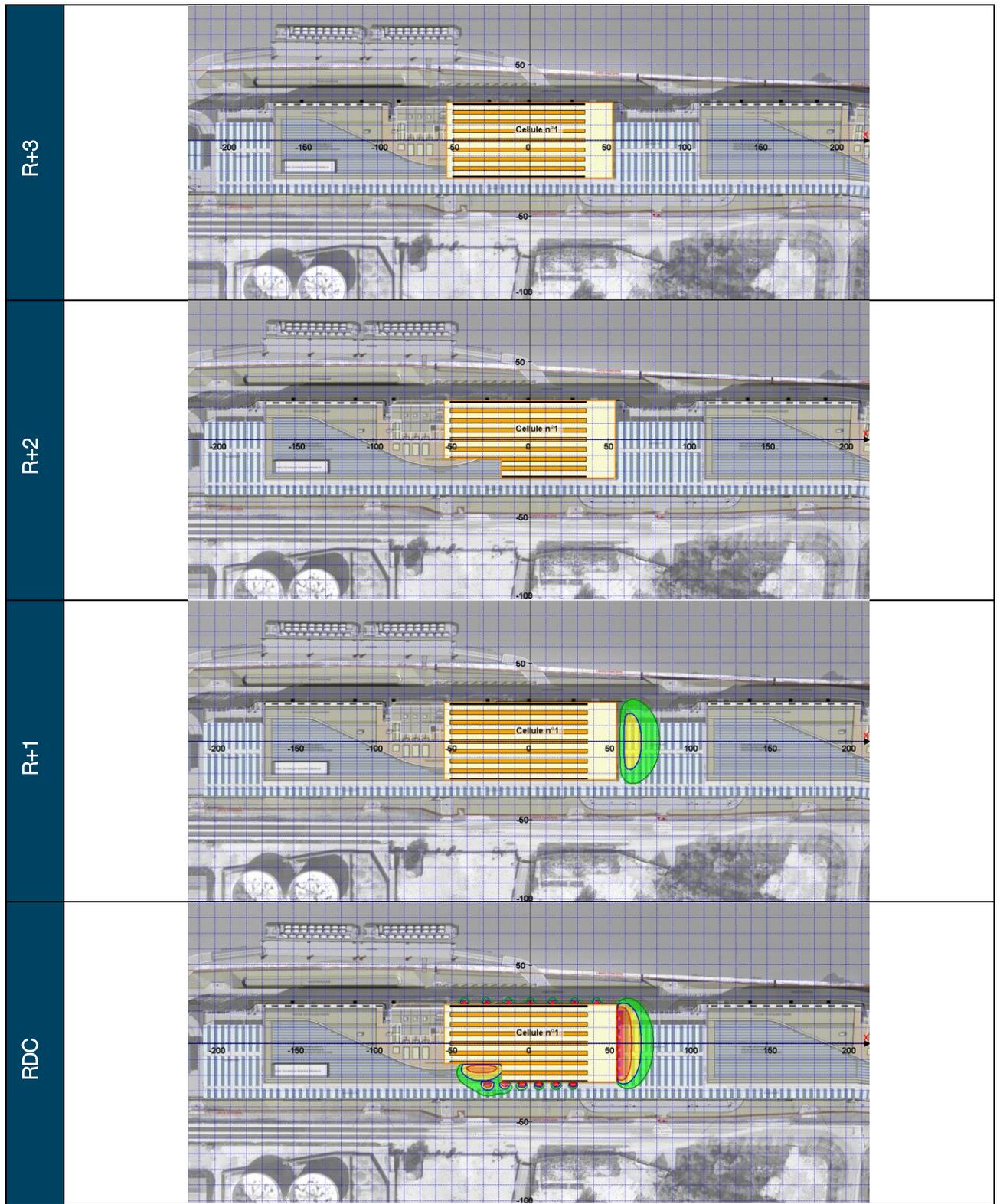


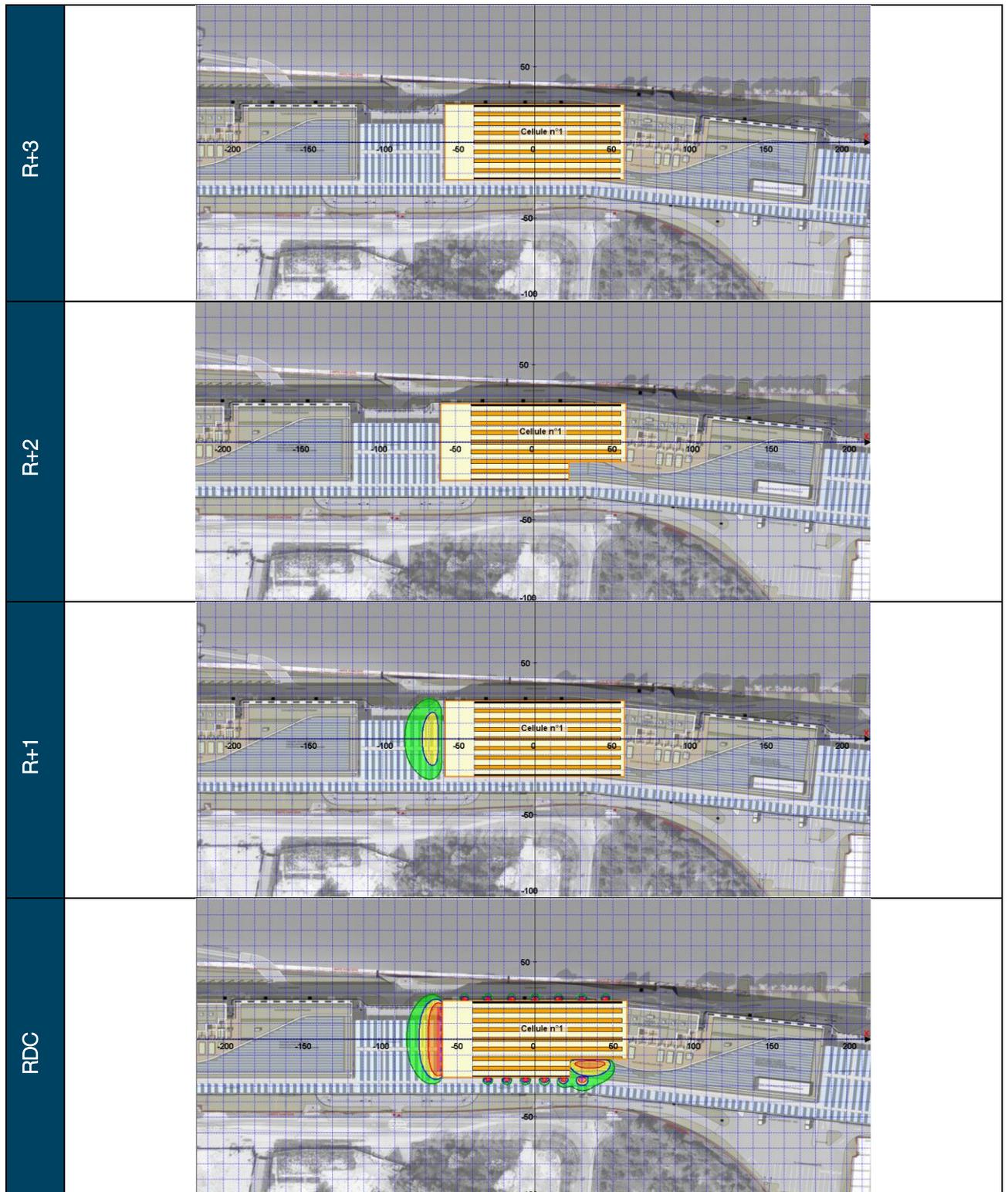
Figure 27 : Cellules du bloc A –Résultats de flux thermiques pour un incendie de palettes types 1510



Légende Flux :



Figure 28 : Cellules du bloc B - Résultats de flux thermiques pour un incendie de palettes types 1510



Légende Flux :

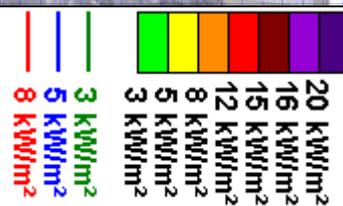
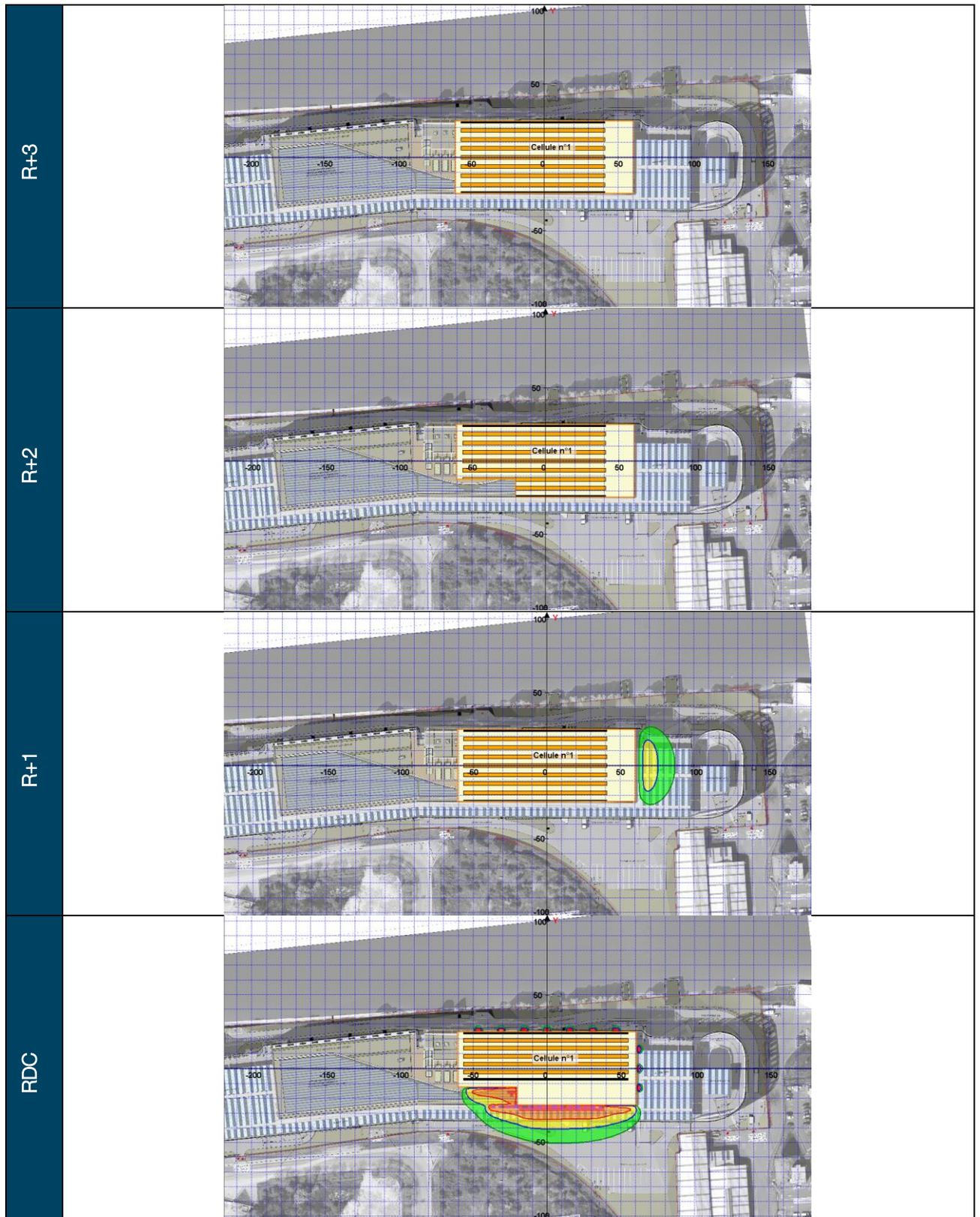


Figure 29 : Cellules du bloc C - Résultats de flux thermiques pour un incendie de palettes types 1510



Légende Flux :

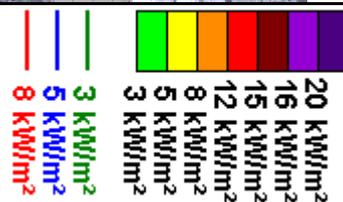
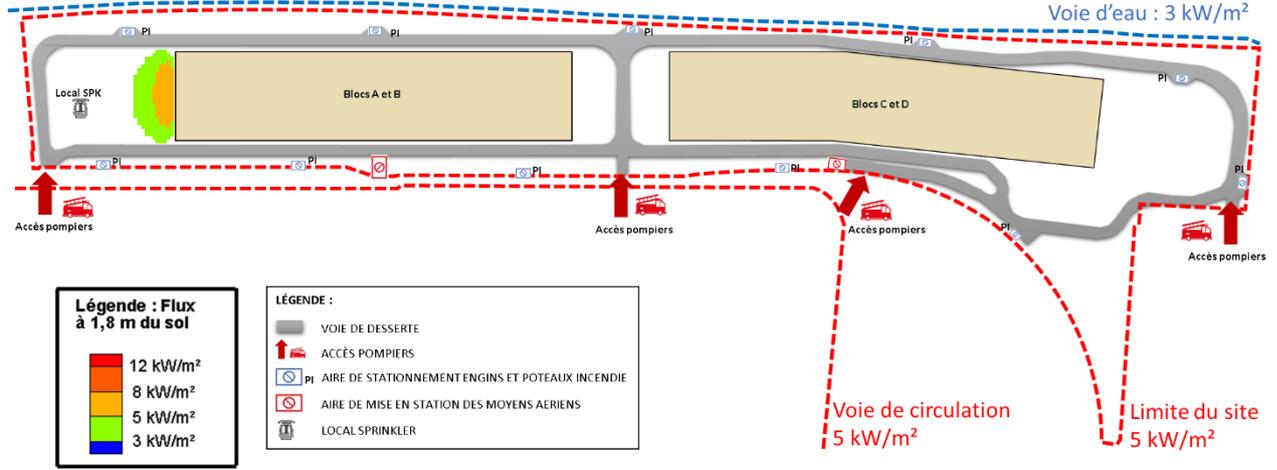
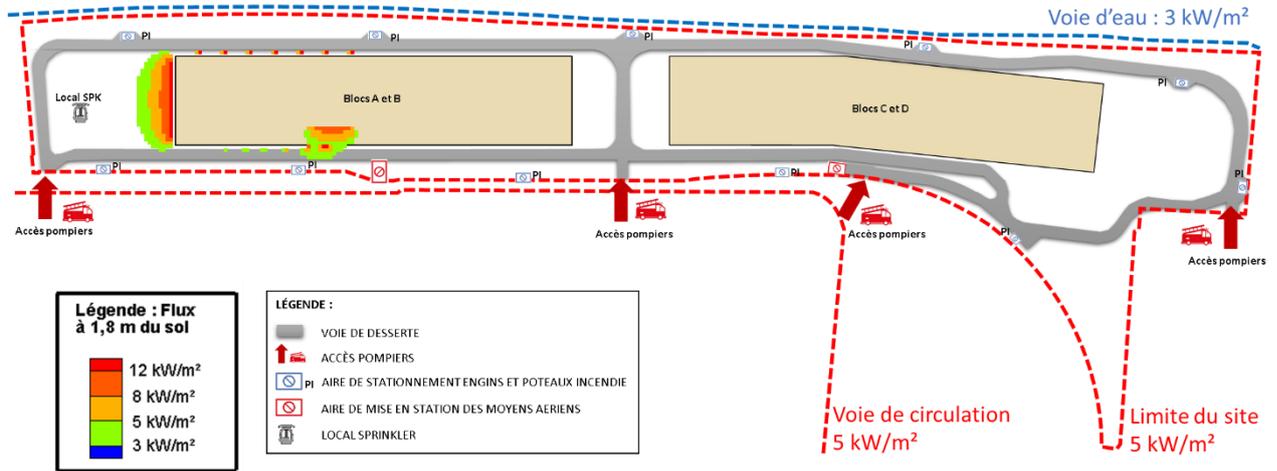


Figure 30 : Cellules du bloc D - Résultats de flux thermiques pour un incendie de palettes types 1510

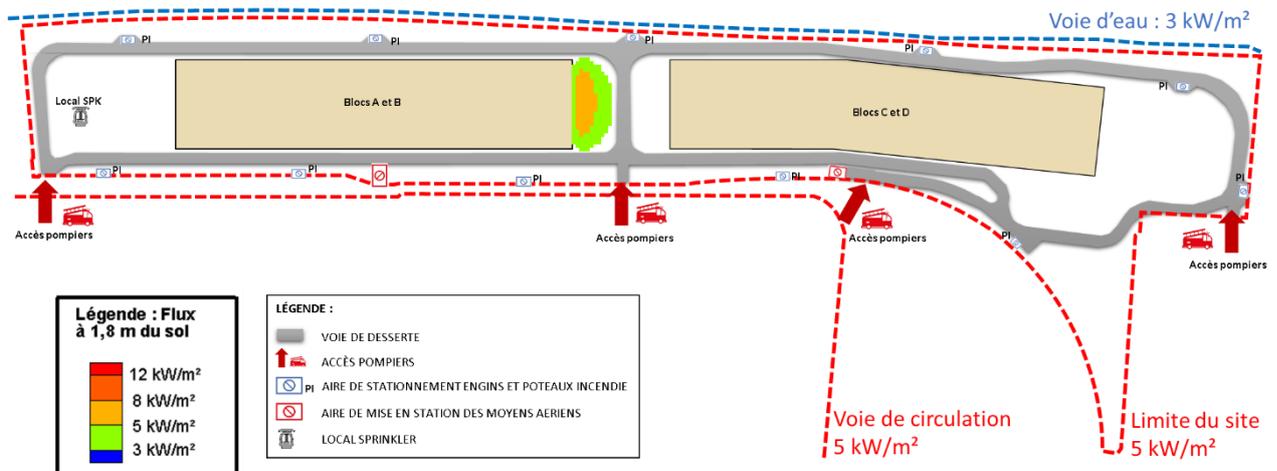
Cellule A1



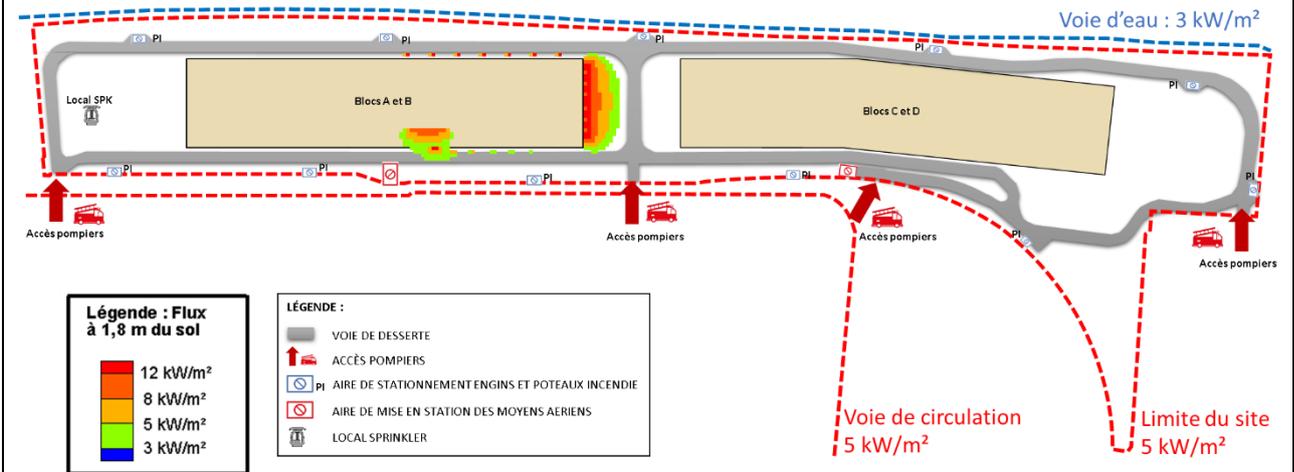
Cellule A0



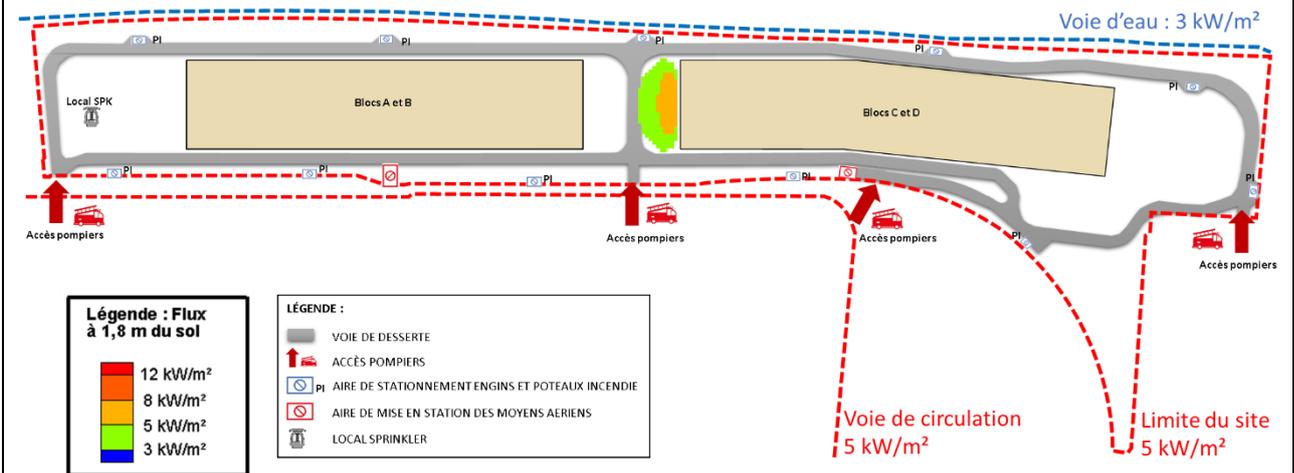
Cellule B1



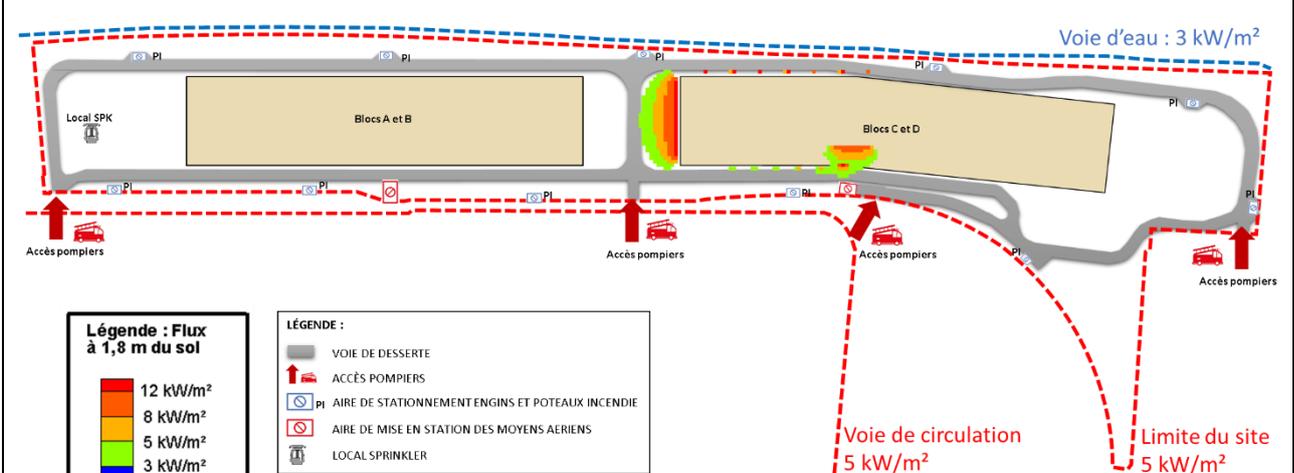
Cellule B0



Cellule C1



Cellule C0



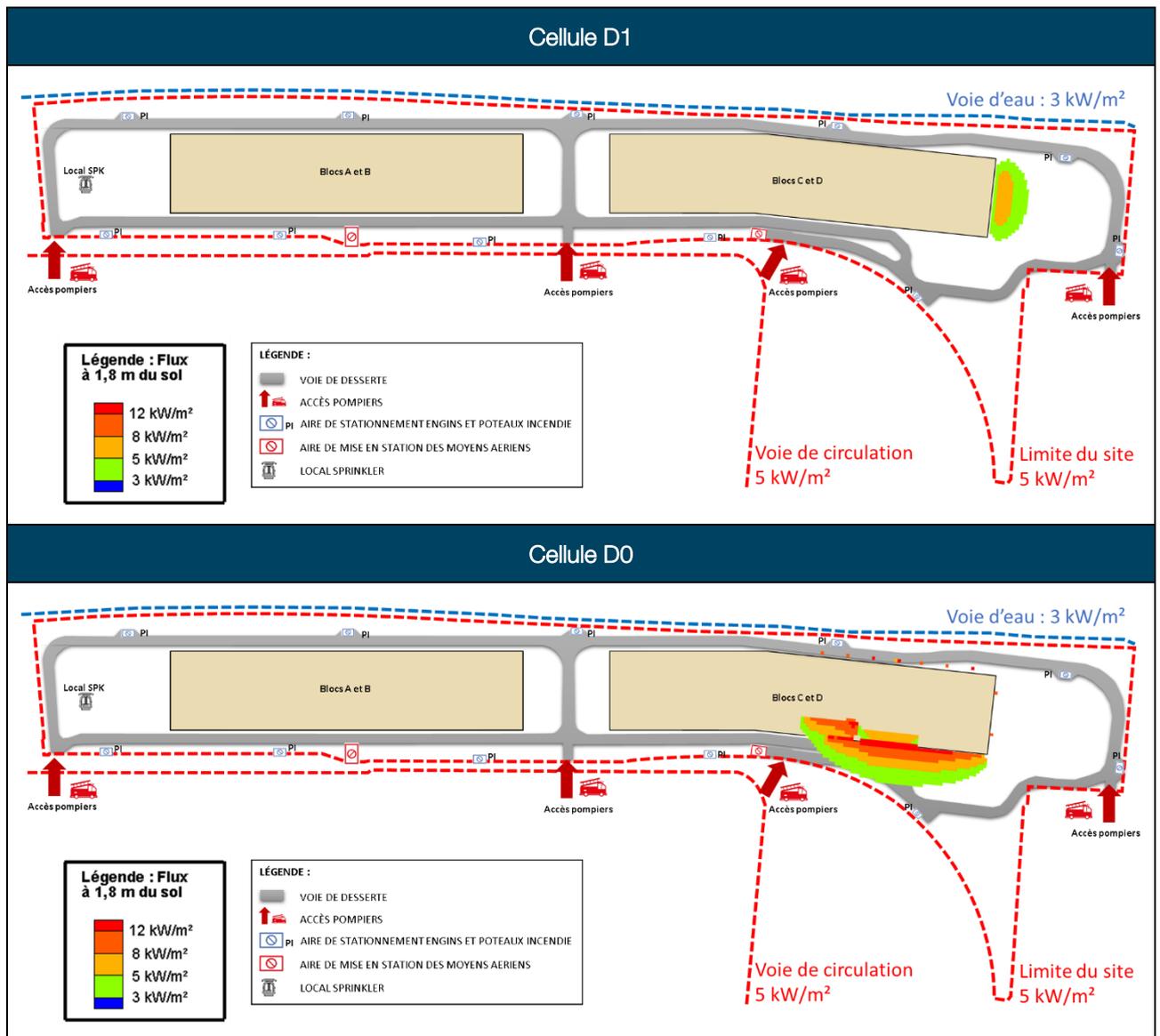


Figure 31 : Résultats de flux thermiques sur une carte simplifiée représentant les critères de performance définis par l'arrêté ministériel du 11 avril 2017 modifié ainsi que les points d'attention retenus

Rapport d'étude n°040618-B

**NOTE METHODOLOGIQUE SUR LA JUSTIFICATION DU
COMPORTEMENT AU FEU DES STRUCTURES PRINCIPALES DU
PROJET GREENDOCK (GENNEVILLIERS 93)**

Demandeur : GOODMAN France
24 rue de Prony
75017 PARIS

Date : 17/01/2025

Indice de révision : B

Cette étude comporte 22 pages.
Sa reproduction n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Rédacteur :



R. NIRY RAZAFINJATO

Vérification :



J. FAYARD

Suivi des modifications

Ind. Rév.	Date	Objet de la révision	Pg.	Rédac.	Vérif.
040618-A (prov.)	19/09/2023	Version initiale	20	BMU, EBD	TLE
040618-B	17/01/2025	Mise à jour du document initial pour intégrer les commentaires sur le comportement au feu de la structure formulées par la DRIEAT (cf. Annexe 1)	22	RNR	JFD

Sommaire

1	Introduction	4
1.1	Contexte de l'étude.....	4
1.2	Rappel du cadre réglementaire.....	4
1.3	Objet du document	5
2	Documents de références	6
2.1	Documents règlementaires ou normatifs	6
2.2	Documents spécifiques à l'étude	6
3	Description de l'ouvrage	7
3.1	Description générale du projet	7
3.2	Description des structures	9
4	Stabilité au feu	13
4.1	Rappel des exigences fonctionnelles	13
4.2	Évaluation du temps de mise en sécurité des personnes	13
4.2.1	<i>Mesures d'exploitation et de sécurité du projet GREEN DOCK</i>	13
4.2.2	<i>Calcul du temps de mise en sécurité du personnel présent dans les cellules</i>	13
4.2.3	<i>Estimation de la durée nécessaire au déplacement des personnes</i>	14
4.3	Durée de stabilité au feu	15
5	Modes de ruine	16
5.1	Rappel des exigences fonctionnelles	16
5.2	Phénomènes mis en jeu	16
5.3	Application au projet GREEN DOCK	17
5.4	Méthodologie de calcul.....	18
6	Conclusion	20
Annexe 1.	Eléments de réponse au rapport de l'inspection des installations classées [9]	22
Annexe 1.1.	<i>Commentaire n°1 : sur l'objectif de la présente note</i>	22
Annexe 1.2.	<i>Commentaire n°2 : sur la conformité au §3.2 de l'arrêté du 11 avril 2017 modifié (ICPE 1510)</i>	22

PREAMBULE

Dans le cadre de l'examen ICPE du projet Greendock, la DRIEAT d'Île-de-France (avec le concours, entre autres, de la BSPP) a édité un rapport à l'issue de l'analyse du dossier [9][10]. La présente note en ind.B reprend en Annexe 1 les commentaires concernant le comportement au feu de la structure.

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'étude

Le CERIB – laboratoire agréé en résistance au feu et organisme reconnu compétent pour les études d'ingénierie de désenfumage par le ministère de l'Intérieur – a été missionné par GOODMAN France pour réaliser des études d'ingénierie de la sécurité incendie dans le cadre du projet GREEN DOCK situé à Gennevilliers dans le département des Hauts-de-Seine (92).

Le projet GREEN DOCK comprend la construction d'une plateforme de logistique urbaine multimodale à étages, classée sous le régime de l'enregistrement au titre de la rubrique 1510 des ICPE. Le bâtiment de stockage est composé d'une structure en béton (béton armé et béton précontraint) sur 4 niveaux (RDC à R+3) et comporte 16 cellules (4 cellules par étages).

Dans le cadre de ce projet, les études d'ingénierie de la sécurité incendie réalisées par le CERIB et le LISI portent sur les thématiques suivantes :

- Calcul de flux thermique ;
- Etude d'ingénierie du désenfumage ;
- Etude de la stabilité au feu des structures ;
- Etude des modes de ruine en cas d'incendie.

Le présent document a pour objet les deux dernières thématiques. Les deux premières thématiques font l'objet de rapports distincts rédigés par le LISI.

1.2 Rappel du cadre réglementaire

En tant qu'ICPE de la rubrique 1510, le bâtiment de stockage du projet GREEN DOCK doit satisfaire les prescriptions de l'arrêté du 11 avril 2017 modifié [1][2].

L'article 1^{er} de cet arrêté précise les objectifs généraux de sécurité, à savoir : « *la mise en sécurité des personnes présentes à l'intérieur des entrepôts, de protéger l'environnement, d'assurer la maîtrise des effets létaux ou irréversibles sur les tiers, de prévenir les incendies et leur propagation à l'intégralité des bâtiments ou aux bâtiments voisins, et de permettre la sécurité et les bonnes conditions d'intervention des services de secours.* »

Pour répondre à ces objectifs, l'arrêté fixe des prescriptions dont certaines nécessitent le recours à des études d'ingénierie de la sécurité incendie. Ces prescriptions concernent en particulier les règles d'implantation (chapitre 2 de l'annexe II de l'arrêté), les dispositions constructives (chapitre 4) et le désenfumage (chapitre 5).

Concernant les dispositions constructives, le chapitre 4 de l'annexe II de l'arrêté précise qu'elles visent à ce que « *la cinétique d'incendie soit compatible avec l'intervention des services de secours et la protection de l'environnement. Elles visent notamment à ce que la ruine d'un élément de structure [...] suite à un sinistre n'entraîne pas la ruine en chaîne de la structure du bâtiment, [...], et ne conduise pas à l'effondrement de la structure vers l'extérieur de la cellule en feu* ».

En réponse à cette prescription, une étude de comportement au feu sera réalisée par le CERIB dans le but de justifier les 3 critères suivants permettant de répondre aux objectifs de sécurité de l'arrêté :

- **Critère 1 : « Stabilité au feu » :**

Le temps de stabilité au feu des structures principales doit être compatible avec le temps nécessaire à l'évacuation des personnes et à minima R120 (exigence réglementaire).

→ **Critère 2 : « Non-ruine en chaîne »**

La ruine d'un élément de structure suite à un sinistre ne doit pas entraîner la ruine en chaîne de la structure du bâtiment et de systèmes de recoupement. Ce critère permet de garantir la sécurité des personnes présentes dans les autres cellules que celles sinistrées. La non-ruine en chaîne horizontale sera justifiée entre les dispositifs de recoupement verticaux pendant au moins le temps de stabilité au feu réglementaire du bâtiment.

Il est à noter que dans le cas des entrepôts multi-étages, la non-ruine en chaîne verticale des planchers ne peut être exclue. Cependant, les mesures de sécurité (notamment la stratégie d'évacuation) et le temps de stabilité au feu compatible avec l'évacuation des personnes (critère 1) permettent de garantir la mise en sécurité des personnes situées dans les niveaux inférieurs et supérieurs à celui de la cellule en feu.

→ **Critère 3 : « Non-ruine vers l'extérieur »**

La ruine des éléments de structure suite à un sinistre ne doit pas conduire à l'effondrement de la structure vers l'extérieur, ce qui conduirait à des risques pour les services de secours présents à l'extérieur du bâtiment lors de leur lutte contre le feu.

1.3 Objet du document

L'évaluation de la stabilité au feu et des modes de ruine nécessite un état de conception avancé du projet (notes et plans EXE qui seront donc établis environ dans les 6 mois précédant le début du chantier). Aussi, le rapport d'étude du comportement au feu justifiant l'atteinte de ces trois critères détaillés précédemment sera mis à disposition des services administratifs avant la mise en service des bâtiments sur la base de la conception EXE du bâtiment. Il s'agit d'une approche performancielle ; les études EXE s'engagent à respecter les 3 critères précités.

Le présent document, rédigé au stade du dépôt du Permis de Construire, rappelle les exigences réglementaires applicables à l'ouvrage et présente les phénomènes en jeu et la méthodologie mise en place pour justifier de l'atteinte de ces objectifs.

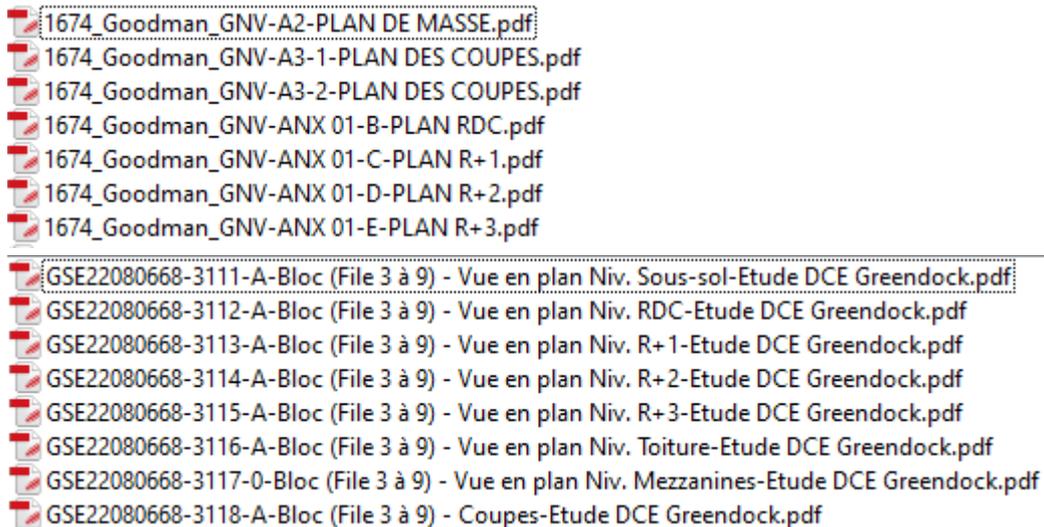
2 DOCUMENTS DE REFERENCES

2.1 Documents réglementaires ou normatifs

- [1]. 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 installations classées pour la protection de l'environnement.
- [2]. Arrêté du 24 septembre 2020 modifiant l'arrêté ministériel 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 installations classées pour la protection de l'environnement, ainsi que les arrêtés de prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à enregistrement sous les rubriques n° 1511, 1530, 1532, 2662 et 2663.
- [3]. Guide d'application de la rubrique 1510 et de l'arrêté ministériel du 11 avril 2017 modifié relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts couverts soumis à la rubrique 1510, Document du Ministère de la Transition Écologique, Version 2 révisée en date du 24 septembre 2021.
- [4]. Arrêté du 22 mars 2004 modifié relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages.
- [5]. Eurocode 0 – Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures (mars 2003) et son annexe nationale (décembre 2011).
- [6]. Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-2 : actions générales – Actions sur les structures exposées au feu (juillet 2003) et son annexe nationale (février 2007).
- [7]. Eurocode 2 – Calculs des structures en béton – Partie 1-2 : règles générales – Calcul du comportement au feu (octobre 2005) et son annexe nationale (octobre 2007).

2.2 Documents spécifiques à l'étude

- [8]. Plans consultés pour la réalisation de la présente note



- [9]. Rapport de l'inspection des installations classées. Date : 08/07/2024. Référence : n°AIOT : 0100027024 | n°RVAT : 61257 | Affaire : Entrepôt à étages. DRIEAT d'Île-de-France | Unité départementale des Hauts-de-Seine.
- [10]. Etude de dangers : construction d'entrepôts à étages (ICPE) projet Green Dock – société Goodman – route du Bassin n°6 – 92230 GENNEVILLIERS. Date : 13 mars 2024. Référence : °AIOT : 0100027024. Préfecture de Police | Brigade de Sapeurs-Pompiers de Paris | Bureau prévention.

3 DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

3.1 Description générale du projet

Le projet Green Dock consiste en l'édification d'une plateforme logistique à étages multimodale. Cette plateforme est composée de deux bâtiments comprenant chacun un double bloc de surfaces logistiques (A-B et C-D) en R+3 et un bloc de bureaux adjoint en R+8. Chaque bâtiment comprend un sous-sol destiné au stationnement des véhicules légers (employés et véhicules utilitaires légers de type VUL).

De part et d'autre des volumes logistiques A-B et C-D viennent se positionner des cours camions adjacentes (cour est, cour centrale et cour ouest). Ces deux bâtiments ainsi que leurs cours camions sont reliés par des voiries à sens unique situées au Sud. Deux rampes aux extrémités permettent aux véhicules (petits porteurs, véhicules utilitaires et véhicules lourds) d'accéder à l'ensemble des niveaux de la plateforme (une rampe est destinée à la montée tandis que l'autre est destinée à la descente).

La surface totale du projet est d'environ 96 000 m² dont 11 000 m² de surfaces de bureaux et 85 000m² de surfaces logistiques. Les surfaces logistiques sont elles-mêmes divisées en deux catégories :

- des surfaces de stockage au R+1 et R+3 ;
- des surfaces de distribution, dédiées à la logistique du dernier kilomètre, au rez-de-chaussée et R+2.

Chaque niveau comporte quatre cellules logistiques indépendantes, soit seize cellules logistiques au total. À chacun des niveaux, les cellules sont très similaires entre les blocs que ce soient en géométrie ou en dimensions. Les cellules du niveau RDC sont identiques à celles du niveau R+2, les cellules du niveau R+1 sont identiques à celles du niveau R+3.

Les dimensions des cellules de stockage sont les suivantes :

- Largeur : 50 m (25 m au droit des quais)
- Longueur : entre 105 et 120 m suivant les blocs
- Hauteur sous dalle béton : 5,64 m au RDC et R+2 ; 7,14 m au R+1 et R+3 (la hauteur de stockage est de 4,70 m au RDC et R+2 et 6,20 m au R+1 et R+3).

La cour camion centrale a des dimensions d'environ 45 m x 54 m.

La largeur de la zone « voie de circulation » est de 9,08 m.

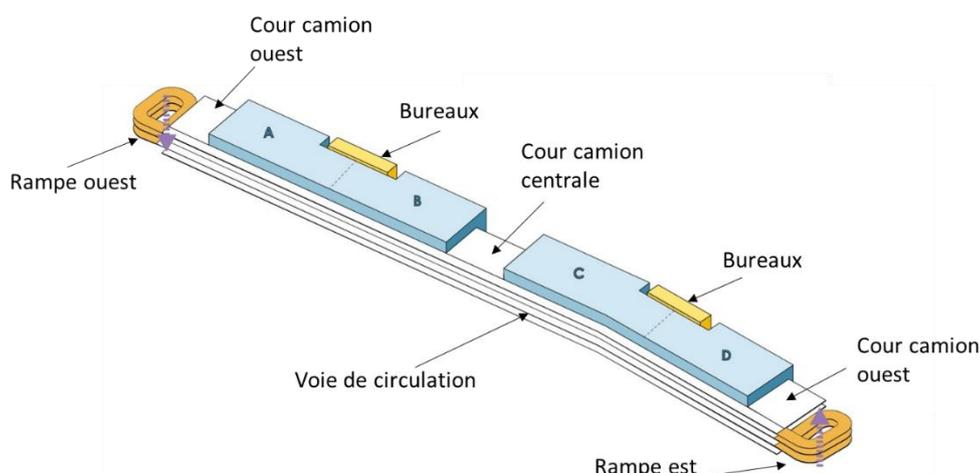


Figure 1. Perspective axonométrique des bâtiments avec rampes et cours-camions

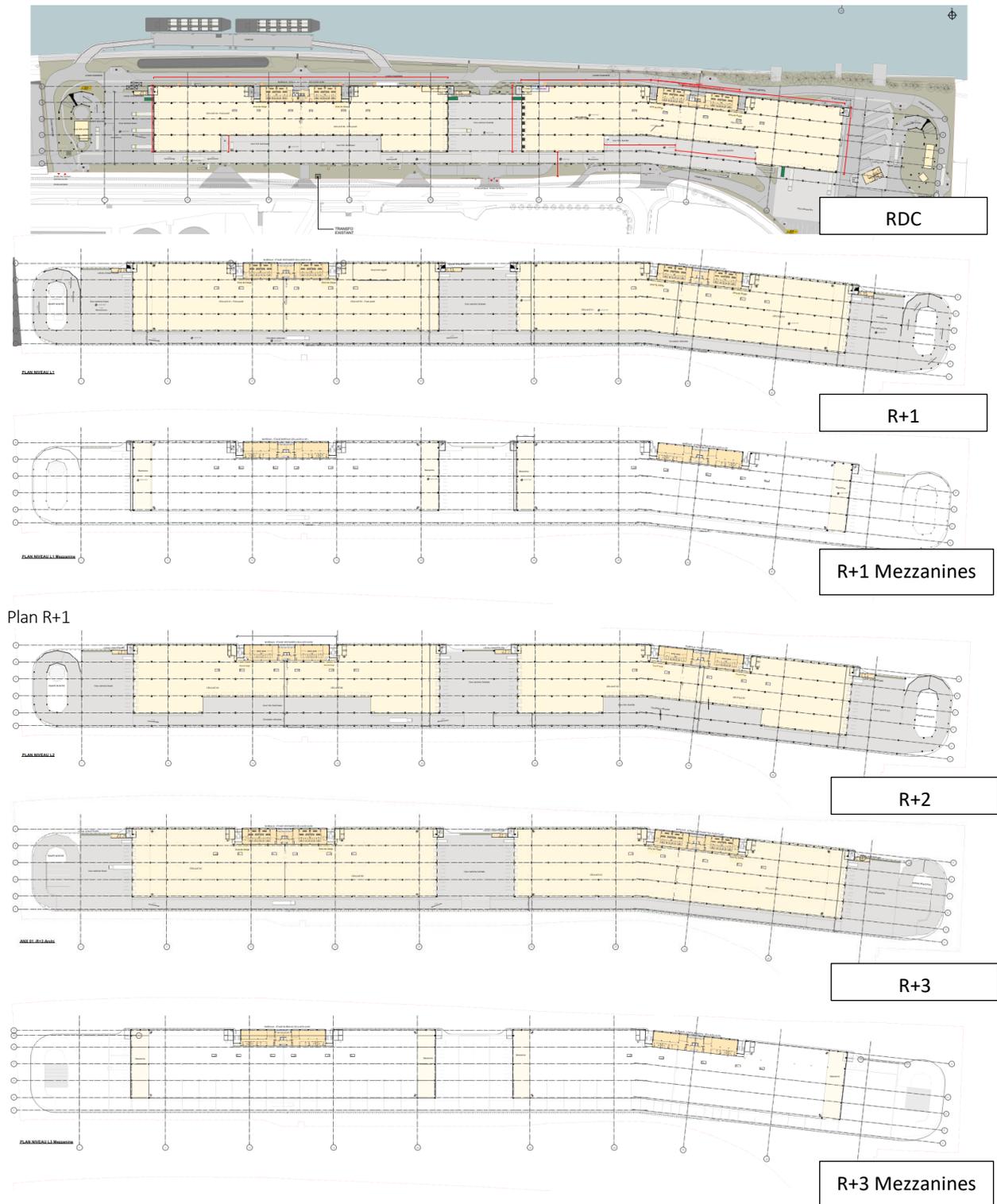


Figure 2. Vues en plan

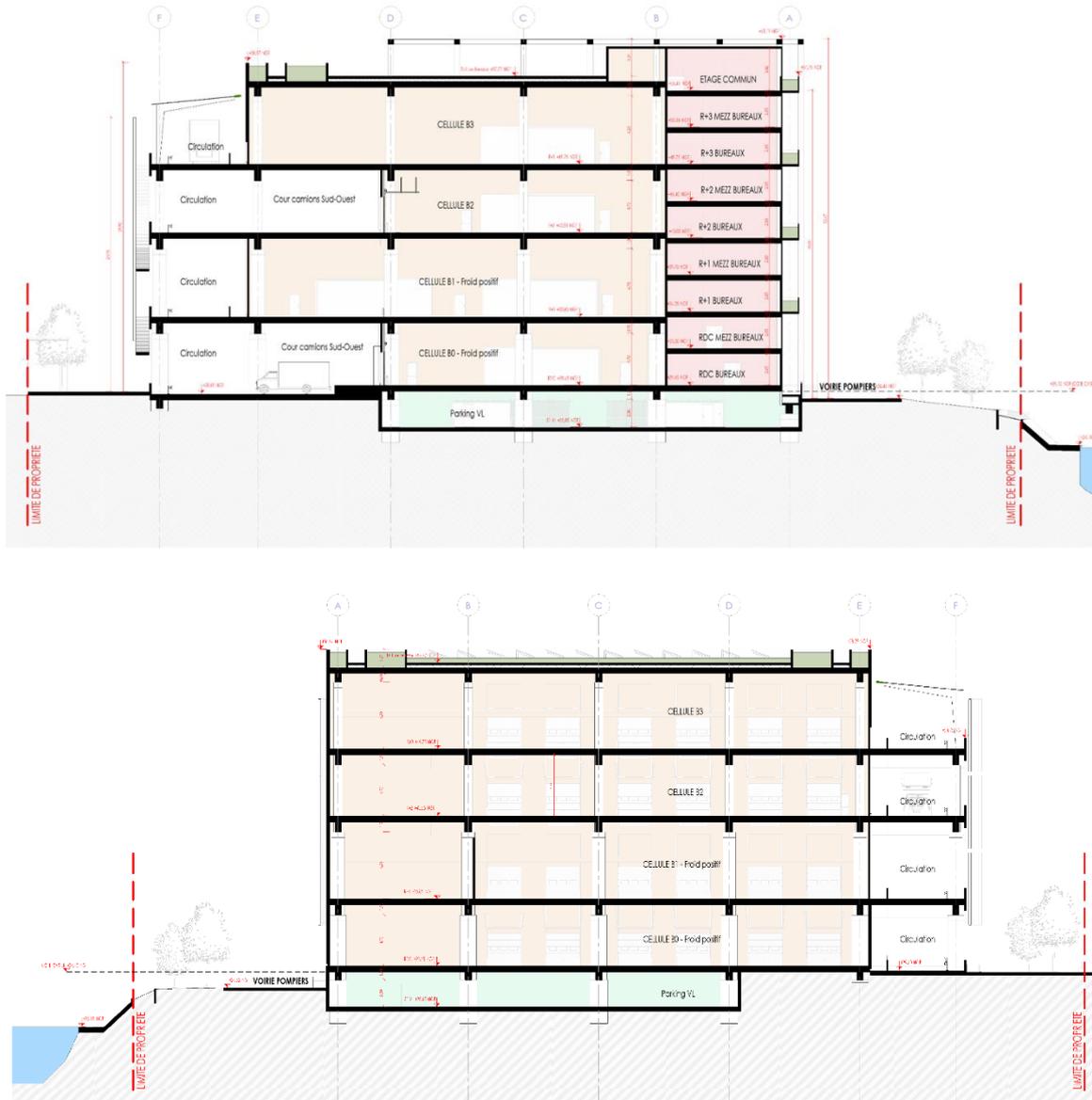


Figure 3. Coupes transversales

3.2 Description des structures

Les structures porteuses (structure principale) objet de l'étude de comportement au feu comprennent : les poutres, les poteaux, les systèmes de contreventement, les murs et panneaux porteurs, les planchers et tous autres éléments participant à la stabilité de l'ouvrage. Ne font pas partie de la structure principale les pannes en toiture, les éléments de remplissage, les cloisons, la couverture et les habillages.

Le bâtiment sera réalisé en béton armé et précontraint avec un système de poteaux-poutres :

- Les poteaux sont en béton armé de hauteur 4,74 m ou 6,24 m suivant les niveaux. Ces poteaux sont encastés en pieds dans les fondations (cf. Figure 7, Figure 8 et Figure 9).
- Les poutres principales portent dans le sens longitudinal du bâtiment (portée de 11 m) et sont en béton précontraint (cf. Figure 5, Figure 6 et Figure 7).
- Le plancher des cellules de stockage est en dalle alvéolée précontraintes de portée de 12 m d'axe à axe (dans le sens transversal du bâtiment entre chaque poutre) (cf. Figure 5 et Figure 6)

→ Le plancher des cours camion et de la voie de circulation est en dalle TT en béton (cf. Figure 5, Figure 6). Les poteaux communs aux cellules et à la voie de circulation portent les poutres support des dalles respectives des cellules et de la voie de circulation. (cf. Figure 8 et Figure 9 Figure 6)

Entre les cellules de chaque bloc (bloc A-B et bloc C-D) et entre les cellules et les bureaux, les parois séparatives seront REI 120 et se retourneront latéralement à la façade extérieure sur une largeur de 0,5 m de part et d'autre du mur coupe-feu.

Les cellules des blocs A à D, des niveaux R+1 et R+3 intègrent une mezzanine (cf. Figure 2 et Figure 9). Ces mezzanines reprennent le même système constructif que les cellules (dalles alvéolaires avec poutre en béton précontraint reposant sur les poteaux des cellules).

La structure des bureaux est indépendante de la structure du bâtiment de stockage. Les cellules sont isolées des bâtiments de bureaux par des murs REI120.

La stabilité et le contreventement de l'ensemble sont assurés par des noyaux béton (cages escaliers, locaux techniques) ainsi que des murs séparatifs.

La couverture des bâtiments sera réalisée en toiture béton isolée, permettant d'accueillir de la végétalisation ainsi qu'une centrale photovoltaïque. L'ensemble de la toiture satisfera au classement au feu BroofT3.

Les façades extérieures sont en panneau sandwich repris par la structure porteuse. En façades nord et sud, les façades forment un écran thermique EI120 sur une partie ou sur la totalité de leur linéaire (cf. Figure 4). Une particularité concerne la cellule D0 (au niveau RDC) où la façade Est présente une tenue au feu EI120.



Figure 4. Vues en plan des niveaux RDC à R+3 – Tenue au feu des parois et façades

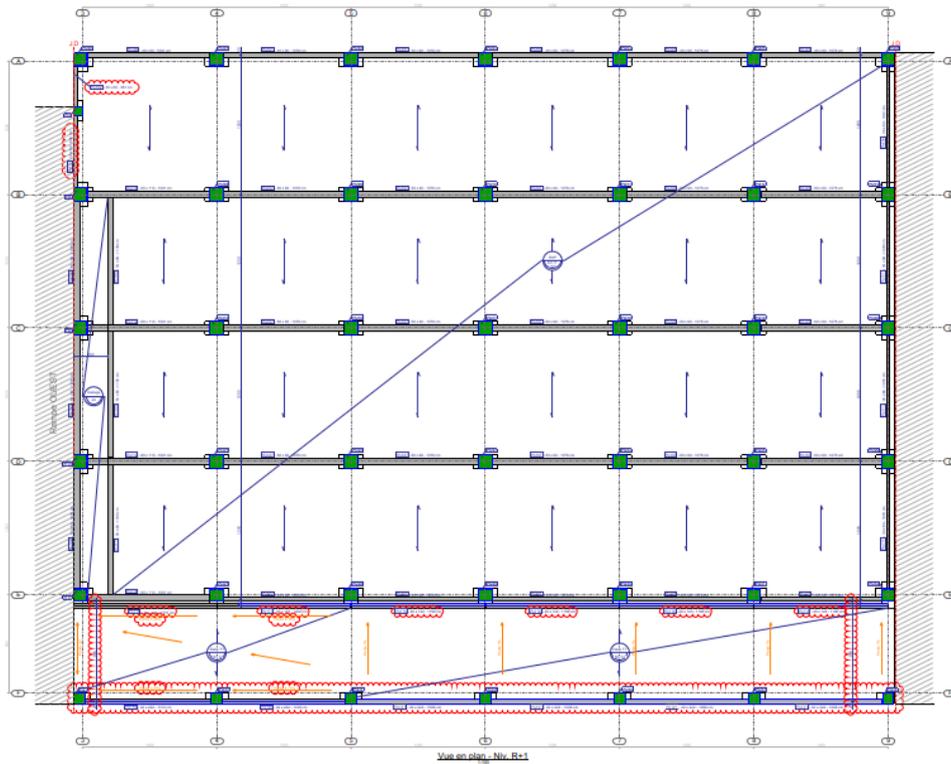


Figure 5. Vue en plan - bloc A - files 3 à 9 - R+1

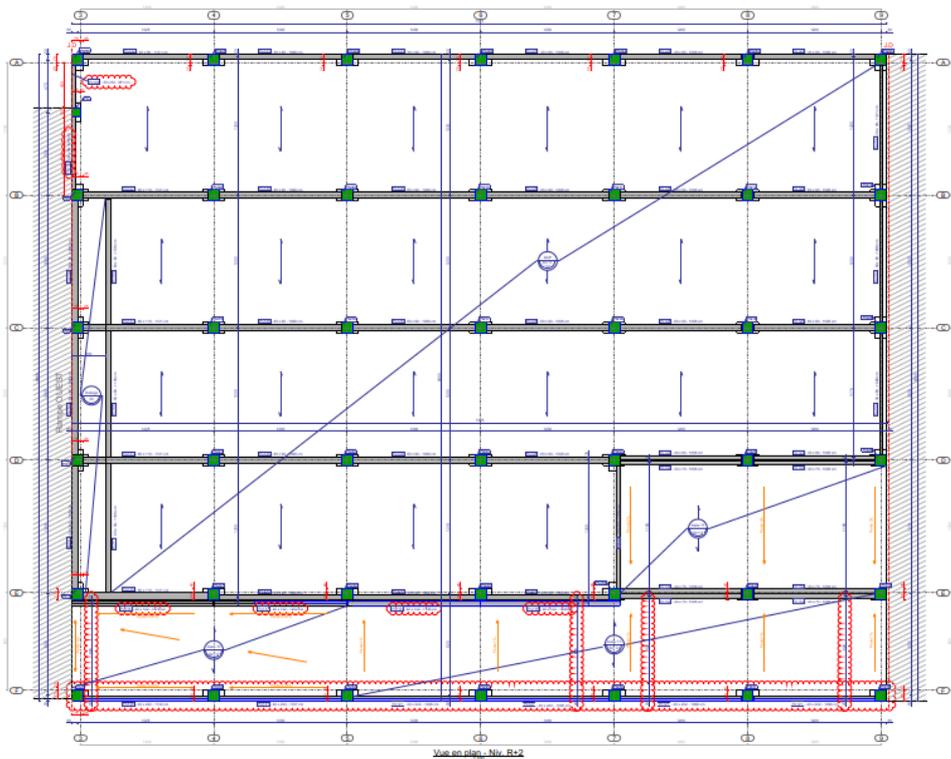


Figure 6. Vue en plan - bloc A - files 3 à 9 - R+2

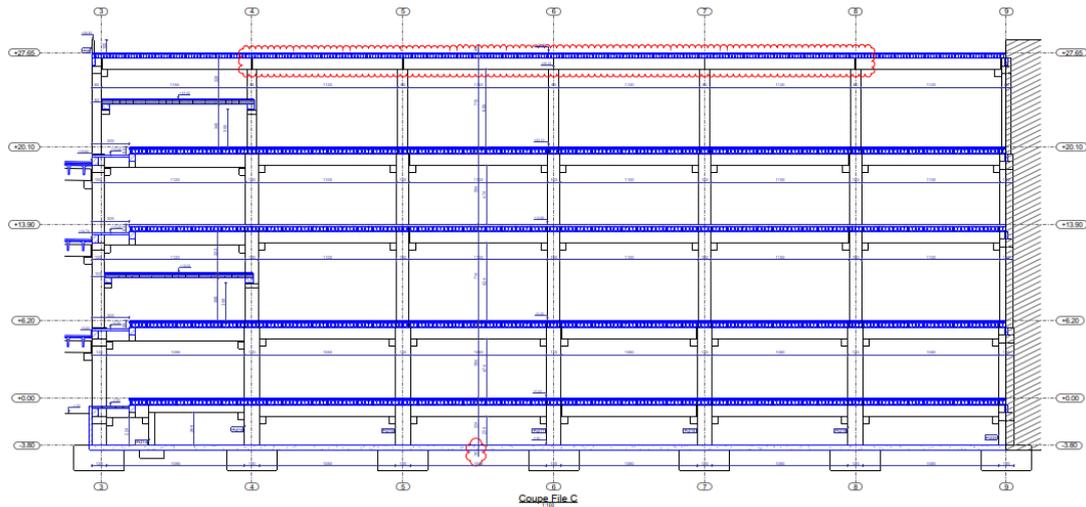


Figure 7. Coupe longitudinale - bloc A - files 3 à 9

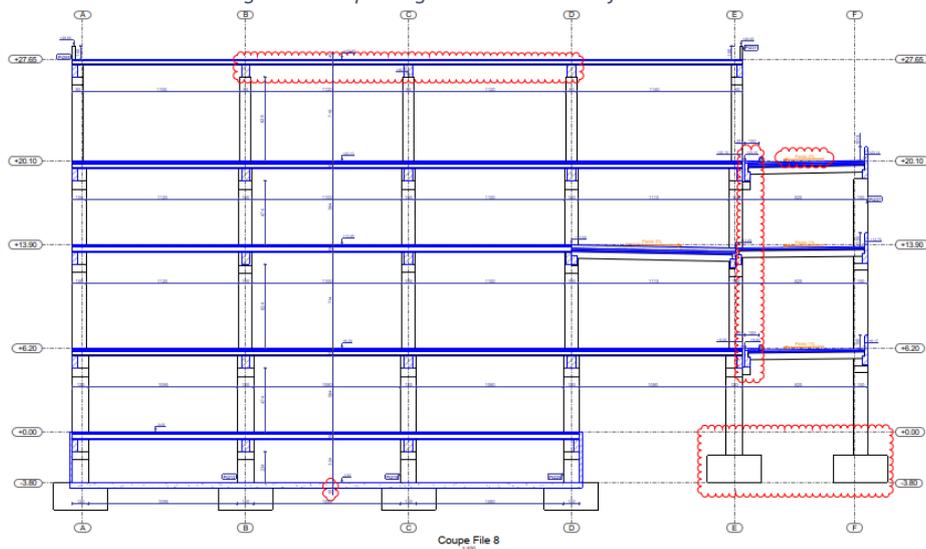


Figure 8. Coupe longitudinale - bloc A – file 8 (sans mezzanine)

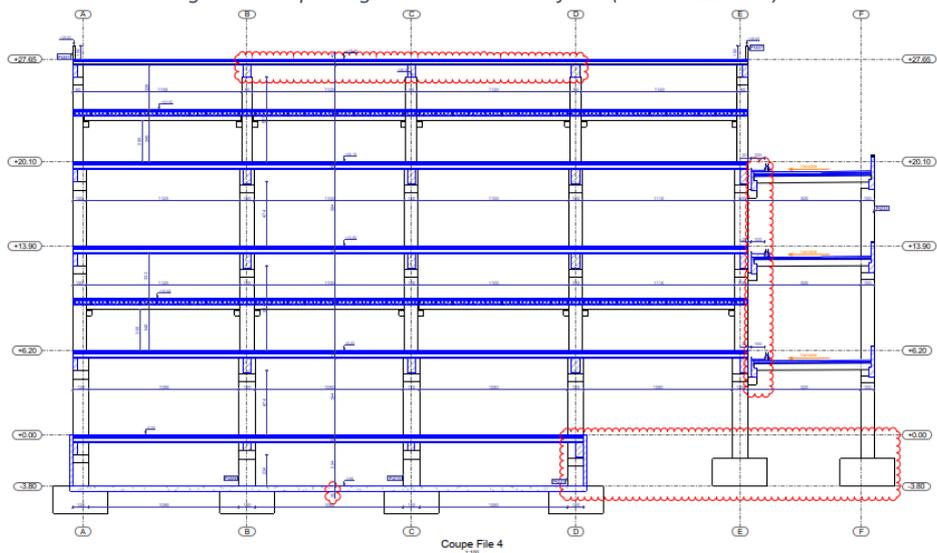


Figure 9. Coupe longitudinale - bloc A – file 4 (avec mezzanines)

4 STABILITE AU FEU

4.1 Rappel des exigences fonctionnelles

→ **Critère 1 : « Stabilité au feu » :**

Le temps de stabilité au feu des structures principales doit être compatible avec le temps nécessaire à l'évacuation des personnes et à minima R120 (exigence réglementaire).

4.2 Évaluation du temps de mise en sécurité des personnes

4.2.1 Mesures d'exploitation et de sécurité du projet GREEN DOCK

Chaque cellule est destinée à accueillir au plus 33 personnes au titre du personnel. Les dégagements des cellules sont conformes aux dispositions de l'annexe II de l'arrêté du 24 septembre 2020. En particulier, les dégagements sont conçus pour permettre que tout point de l'entrepôt ne soit pas distant de plus de 75 mètres effectifs (parcours d'une personne dans les allées) d'un espace protégé, et 25 mètres dans les parties de l'entrepôt formant cul-de-sac. Deux issues au moins, vers l'extérieur de l'entrepôt ou sur un espace protégé, dans deux directions opposées, sont prévues dans chaque cellule de stockage

L'établissement sera équipé d'un SSI de catégorie A avec une alarme de type 1, la détection sera étendue à l'ensembles des locaux y compris parc de stationnement et bureaux.

4.2.2 Calcul du temps de mise en sécurité du personnel présent dans les cellules

En ingénierie de la sécurité incendie, la durée nécessaire à l'évacuation ou temps de mise en sécurité des personnes (TMSP) est définie par la durée totale entre l'instant de départ du feu et l'instant où le dernier occupant atteint l'extérieur ou un endroit sûr, c'est-à-dire un endroit protégé des effets du feu. La durée nécessaire à l'évacuation des travailleurs peut être décomposée en trois durées qui s'additionnent et qui correspondent à des phases de l'évacuation : $TMSP = \Delta t_a + \Delta t_{\text{pré-mouvement}} + \Delta t_{\text{mouvement}}$

Avec :

→ Δt_a = Durée écoulée entre l'instant où le feu démarre et l'instant où l'alarme est déclenchée. Cette durée comprend le délai de détection et la durée de temporisation du déclenchement de l'alarme.

○ $\Delta t_{\text{détection}}$ = Compte-tenu de la détection automatique d'incendie, qui plus est assurée par des détecteurs multi-ponctuels par aspiration, cet instant est court. Il est principalement fonction de la position du départ du feu vis-à-vis du système de détection retenu. On considère un délai de détection égal à 1 minute. $\Delta t_{\text{détection}} = 1 \text{ min}$.

○ Δt_{alarme} = Durée entre l'instant de détection du feu et l'instant où l'alarme sonore est déclenchée. C'est à cet instant au plus tard que les travailleurs présents dans les cellules ont l'information du départ du feu. L'établissement est équipé d'un SSI de catégorie A, associé à un équipement d'alarme de type 1. Le délai de levée de doute est au maximum de 5 minutes. $\Delta t_{\text{alarme}} = 5 \text{ min}$

→ $\Delta t_{\text{pré-mouvement}}$ = Durée entre l'instant de déclenchement de l'alarme et l'instant de mise en mouvement des personnes pour évacuer. Le délai de pré-mouvement est estimé à 1 min compte-tenu de la formation du personnel (art. R. 4227-39 du Code du Travail). $\Delta t_{\text{pré-mouvement}} = 1 \text{ min}$

→ $\Delta t_{\text{mouvement}}$ = Durée entre l'instant où le personnel se met en mouvement pour évacuer et l'instant où il est à l'extérieur du bâtiment ou à l'intérieur d'un endroit sûr. Cette durée est estimée à 1 min 15 s, cette estimation est détaillée ci-après par le biais de deux outils différents (voir ci-après §4.2.3).

Le temps de mise en sécurité des travailleurs est ainsi estimé à 8 min 15 s ($\Delta t_{\text{détection}} 1 \text{ min} + \Delta t_{\text{alarme}} 5 \text{ min} + \Delta t_{\text{pré-mouvement}} 1 \text{ min} + \Delta t_{\text{mouvement}} 1 \text{ min } 15 \text{ s}$).

Remarque : Estimer la durée de mise en sécurité des travailleurs en sommant ces trois temps est très pénalisant. En effet, cette approche suppose que le personnel quitte la cellule, seulement à partir de l'instant d'émission du signal sonore de l'alarme. Or, il peut être admis que, dans la réalité, la fumée produite est rapidement visible du

personnel à proximité du foyer. Ainsi, les travailleurs ont conscience d'un danger et peuvent d'évacuer avant déclenchement de l'alarme générale.

4.2.3 Estimation de la durée nécessaire au déplacement des personnes

Les portes des escaliers encoignés et des sorties/issues utilisées pour l'évacuation des travailleurs sont repérés sur la Figure 10 par des cercles en pointillés bleus. Les 33 personnes présentes ont la possibilité d'évacuer par quatre dégagements, de largeur 1 UP et comportant un vantail de porte.



Figure 10. Repérage des sorties/issues de secours du bloc A

Pour estimer la durée nécessaire au déplacement des personnes, deux méthodes de calcul sont retenues. La première méthode est analytique, elle retient les hypothèses de l'art. GA 23 concernant la vitesse déplacement et les débits aux points de congestion. La seconde méthode utilise la simulation dynamique du déplacement des personnes.

Pour le calcul de la durée nécessaire au déplacement des personnes par la méthode analytique, en considérant que l'ensemble des personnes présentes participe à la congestion au droit d'un dégagement, le temps d'attente à ce dégagement est de 39,6 s (33 personnes pour 50 personnes/min). Or, en posant que les travailleurs sont répartis uniformément dans la cellule, le parcours des personnes les plus éloignées est de 75 m, le déplacement d'une personne seule est donc au plus de 75 s.

L'effectif présent et la distance d'éloignement des travailleurs par rapport aux dégagements sont tels que le temps de mise en sécurité des travailleurs est lié au déplacement de la ou des personnes les plus éloignées sur le niveau et non au temps de congestion aux dégagements. Les 33 personnes présentes ont donc évacué la cellule 75 s après le début de la phase de déplacement.

Pour le calcul de la durée nécessaire au déplacement des personnes par la simulation dynamique, le logiciel Pathfinder dans sa version 2021 est exploité. Il s'agit d'un modèle Multi-Agents. L'environnement dans lequel se déplacent les individus est défini spatialement à partir d'une représentation géométrique et dimensionnelle du bâtiment/niveau. La représentation de l'espace est continue. Le déplacement suit une trajectoire continue réelle par opposition à un déplacement discret sur une grille. Le modèle de calcul « steering », utilisé dans le cadre de la présente étude, est détaillé dans l'article « Inverse steering behaviors for Autonomous Characters » de Heni Ben Amor. Le déplacement de chaque individu est suivi le long de sa trajectoire. Le modèle détermine ainsi au cours du temps la densité locale au droit de chaque individu en considérant la notion de module piéton développé par Fruin. Cette notion correspond à l'espace qu'occupe un individu auquel s'ajoute un espace individuel de confort que chaque individu cherche à préserver par rapport à ses voisins. La densité locale est exploitée pour déterminer la vitesse de déplacement de l'individu (vitesse de déplacement). L'individu se déplace vers son but en maintenant une distance avec les autres individus et en gérant les collisions avec les autres individus et d'éventuels obstacles (murs, portes).

La simulation dynamique de l'évacuation requiert de créer tous les espaces sur lesquels les individus se déplacent pour rejoindre une « zone hors sinistre » depuis leur position initiale.

La figure ci-contre donne un aperçu du modèle numérique ; les occupants sont représentés par des cylindres. Ils sont répartis de façon aléatoire sur le plancher de la mezzanine et sur celui du niveau R+3 (4 personnes pour la mezzanine et 29 personnes pour le niveau R+3).

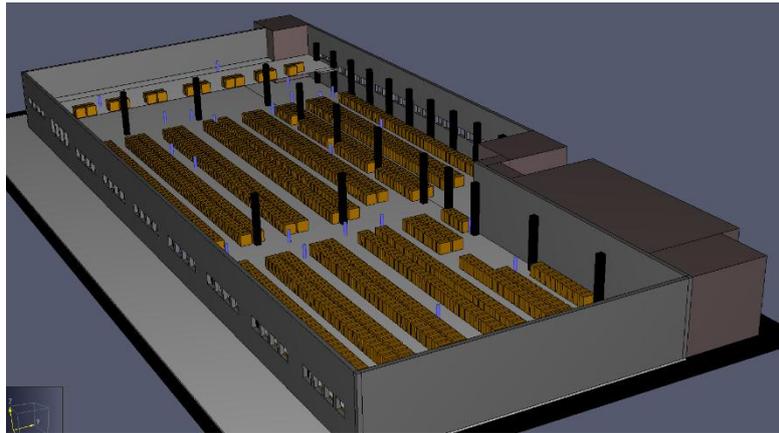


Figure 11. Modèle numérique pour la simulation dynamique de l'évacuation

Les personnes évacuent en empruntant les dégagements répondant aux dispositions réglementaires. Les personnes ont toutes les mêmes caractéristiques et le même comportement. Il n'y a pas de comportement individuel : personne ne rebrousse chemin, les personnes empruntent les dégagements dans une seule direction. De plus, chaque personne a connaissance de la distance qui la sépare des différentes issues du niveau sur lequel elle se trouve ainsi que de leur congestion. Dans une certaine mesure, cela traduit les dispositions de l'article R143-4 du Code de la Construction et de l'Habitation : « Les bâtiments et les locaux où sont installés les établissements recevant du public doivent être construits de manière à permettre l'évacuation rapide et en bon ordre de la totalité des occupants, ou leur évacuation différée si celle-ci est rendue nécessaire. »

Les résultats de la simulation montrent l'absence de congestion dans la cellule au droit des dégagements. Dans cette simulation dynamique, les 33 personnes présentes ont évacué la cellule 59 s après le début de la phase de déplacement. Ce temps est cohérent avec la méthode analytique. Il est retenu, de façon pénalisante, un temps de déplacement de 1 min 15 s dans la durée de mise en sécurité des personnes (résultat du calcul analytique).

4.3 Durée de stabilité au feu

L'arrêté du 11 avril 2017 modifié [1][2] impose une résistance au feu de 120 minutes aux structures (soit R 120) et une performance REI 120 aux planchers.

Toutes les structures principales seront dimensionnées pour respecter cette exigence. **La durée de stabilité au feu est donc au minimum de 120 minutes ce qui est bien supérieur au temps de mise en sécurité du personnel présent dans les cellules (8 min 15 s).**

La justification de la stabilité au feu des structures sera réalisée conformément aux normes en vigueur (Eurocodes notamment) et règles de l'art en prenant en compte les effets directs (affaiblissement des matériaux) et indirects (dilatations et gradient thermiques) du feu.

5 MODES DE RUINE

5.1 Rappel des exigences fonctionnelles

→ **Critère 2 : « Non-ruine en chaîne »**

La ruine d'un élément de structure suite à un sinistre ne doit pas entraîner la ruine en chaîne de la structure du bâtiment et des systèmes de recoupement. Ce critère permet de garantir la sécurité des personnes présentes dans les autres cellules que celles sinistrées. La non-ruine en chaîne horizontale sera justifiée entre les dispositifs de recoupement verticaux pendant au moins le temps de stabilité au feu réglementaire du bâtiment.

Il est à noter que dans le cas des entrepôts multi-étages, la non-ruine en chaîne verticale des planchers ne peut être exclue. Cependant, les mesures de sécurité (notamment la stratégie d'évacuation) et le temps de stabilité au feu compatible avec l'évacuation des personnes (critère 1) permettent de garantir la mise en sécurité des personnes situées dans les niveaux inférieurs et supérieurs à celui de la cellule en feu.

→ **Critère 3 : « Non-ruine vers l'extérieur »**

La ruine des éléments de structure suite à un sinistre ne doit pas conduire à l'effondrement de la structure vers l'extérieur, ce qui conduirait à des risques pour les services de secours présents à l'extérieur du bâtiment lors de leur lutte contre le feu.

5.2 Phénomènes mis en jeu

Lorsqu'une structure est soumise à l'incendie, son comportement mécanique peut être schématisé en plusieurs phases distinctes :

- Phase de poussée : Au début de l'incendie, l'échauffement de la structure demeure suffisamment faible pour ne pas affaiblir de manière significative les caractéristiques mécaniques des éléments. Dans cette première phase, l'augmentation de la température des éléments se traduit principalement par un déplacement vers l'extérieur de la structure exposée au feu et par une augmentation des efforts de poussée sur les parties restées froides.
- Phase de traction/tirage ou ruine des éléments : Lorsque l'échauffement des éléments de structure dans les zones les plus exposées est tel que l'on observe les premières ruines, les efforts transmis à la partie de structure non échauffée passent progressivement d'une force de poussée à une force de traction. Cette phase de traction dépendra principalement du mode de rupture des éléments de structure exposés au feu.

Les figures suivantes illustrent ces phénomènes :

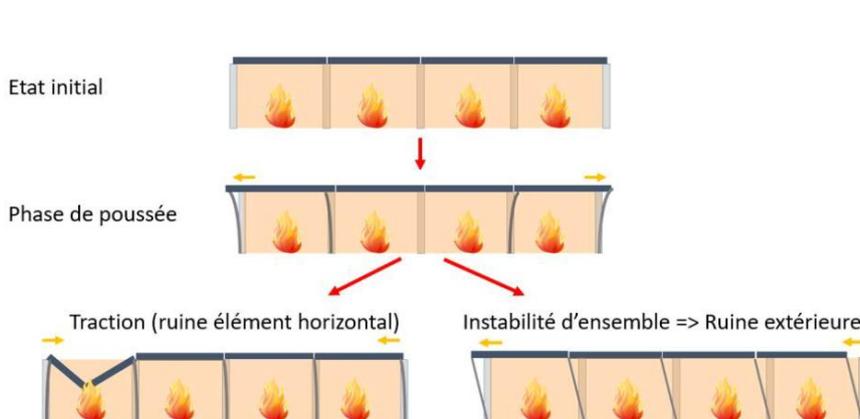


Figure 12. Cinématiques de ruine

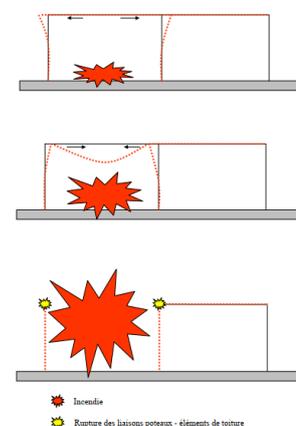


Figure 13. Déformation progressive de la structure au cours de l'incendie d'une cellule (la cellule à droite reste froide)

Le mécanisme de ruine idéal est une ruine de la poutre de rive par flexion et qui engendre un effort de « tirage » sur la tête du poteau de rive. En effet, sous l'action thermique, les éléments horizontaux (poutres ou pannes) sont affaiblis et l'augmentation de leur flèche tend à un fonctionnement en « chaînette » : plus la flèche augmente, plus l'effort normal équivalent à l'effort de tirage sur les poteaux est important. Les vérifications portent essentiellement sur les poteaux / portiques de rive.

La non-ruine vers l'extérieur se justifie alors en analysant que le déplacement des têtes de poteau de rive est dirigé vers l'intérieur de l'emprise de la structure lors de la ruine de la cellule sinistrée. Ce constat justifie explicitement la non-ruine vers l'extérieur. La non-ruine en chaîne se justifie par la capacité de la structure froide à reprendre les efforts de poussée / tirage induits par la déformation et ce jusqu'à la ruine de la structure adjacente.

5.3 Application au projet GREEN DOCK

La figure suivante prend l'exemple d'un incendie dans une cellule du bloc A au R+1. Les mécanismes sont similaires pour les autres cellules.

En cas d'incendie dans la cellule du bloc A :

- La dilatation du plancher et des poutres engendrera des efforts de poussée sur la cour camion ouest, la voie de circulation et la cellule du bloc B du même niveau (cf. flèches rouges sur la vue en plan). Il est à noter que la géométrie des cellules va induire des dilatations importantes dans chacune des directions. Les structures adjacentes doivent donc être dimensionnées pour reprendre ces efforts additionnels.
- Pendant la durée de résistance au feu réglementaire (120 min), une analyse de la stabilité mécanique du niveau supérieur devra être menée pour justifier sa stabilité en prenant en compte les déformations de la cellule sinistrée (cf. coupe transversale).
- Lors de la ruine de la cellule, il conviendra de vérifier l'absence de ruine vers l'extérieur côté nord. Par ailleurs, les structures adjacentes devront être capables de reprendre les éventuels efforts de tirage (à déterminer en fonction des assemblages).

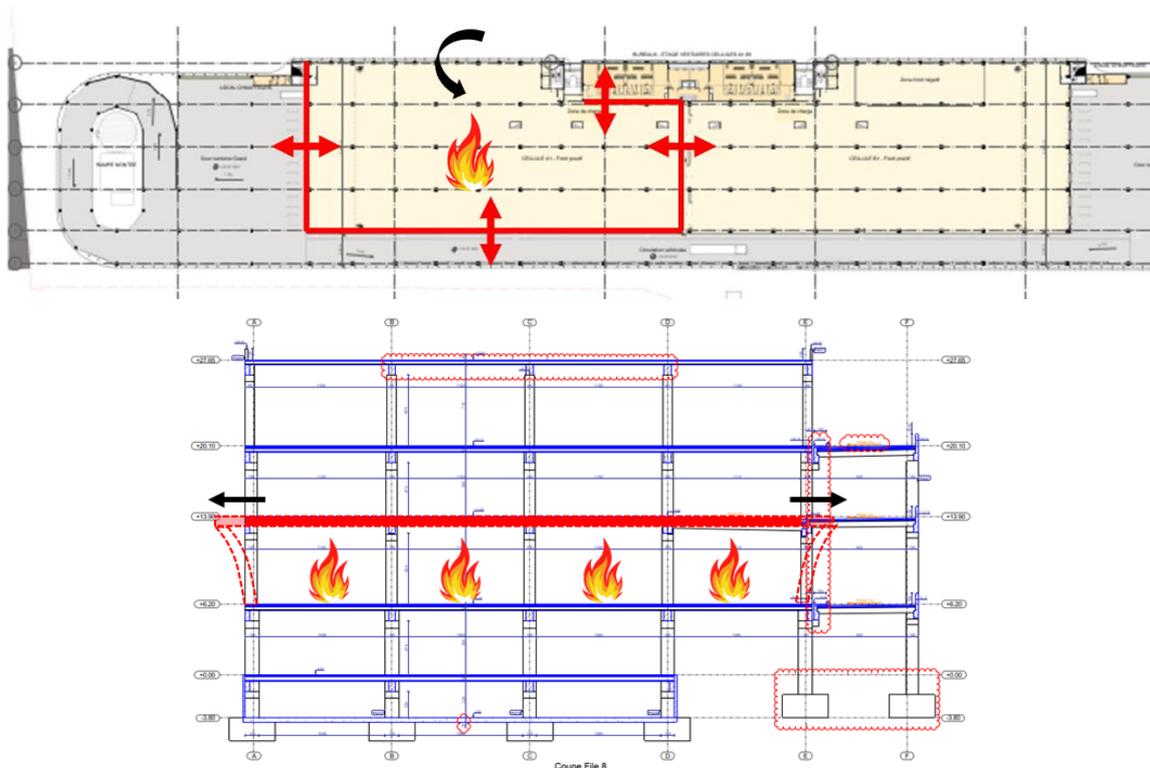


Figure 14. Mécanismes en cas d'incendie dans la cellule A1 (bloc A, R+1)

Afin de garantir la non-ruine en chaîne et la non-ruine vers l'extérieur, les principes suivants sont à prendre en compte :

- Une cinématique de ruine est à créer (ordre de ruine des éléments). A minima tous les éléments sont R120. Les structures des cellule localisées près de structures adjacentes froide (cours camion, quais, voie de circulation et murs séparatifs) doivent être surdimensionnées afin de résister au feu plus longtemps que les structures (horizontales et verticales) en façade nord et au centre de la cellule.
- La déformation de la cellule sinistrée ne doit pas entraîner de désordres dans les zones restées froides. Les structures adjacentes (cours camion, quais, voie de circulation et murs séparatifs) doivent donc être dimensionnées pour reprendre les efforts de poussée et de tirage.
- Des joints de dilatation peuvent être mis en place pour diminuer l'effet des dilatations dans le sens longitudinal.
- Les structures horizontales des mezzanines vont également générer des efforts de poussée au droit des cours camion qu'il convient de prendre en compte. Afin de limiter ces efforts additionnels trop pénalisants, les mezzanines peuvent être traitées sur des appuis glissants. Il est également préférable qu'elles ne soient pas surdimensionnées par rapport à un temps de résistance au feu de 120 min.
- Une attention particulière sera apportée aux les poutres longitudinales en rive sud des cellules. Ces poutres sont portées par des poteaux qui supportent également les poutres porteuses de la dalle de la voie de circulation. Les poutres longitudinales seront à protéger ou à surdimensionner pour que les déformations induites par l'incendie ne déstabilisent pas l'ensemble.
- La structure des bureaux est indépendantes des cellules. Il convient de garantir un déplacement libre important entre les cellules et les bureaux. L'espacement entre les bureaux et les cellules sera comparé à la déformation horizontale des cellules en cas d'incendie. Si la déformation est supérieure à l'espacement disponible, les effets de poussée sur les structures des bureaux seront à prendre en compte.
- Lorsque les parements EI 120 sont en applique côté extérieur, les poteaux de rive des cellules sont soumis à un gradient thermique important. Ces poteaux doivent être justifiés stables au feu en considérant les charges de vent et les effets du second ordre ($P-\Delta$) notamment associé au gradient thermique et aux déformations en tête dues à la dilatation des structures horizontales. Les fondations devront être dimensionnées en conséquence. A noter que la configuration de poteaux de rive protégés ou pour lesquels les parements EI120 sont mis en œuvre côté intérieur serait à privilégier afin de limiter les effets des gradients thermiques.
- Les mêmes principes que le point précédent s'applique aux poteaux supports des murs séparatifs (entre cellules et avec les bureaux).
- La tenue mécanique des parements EI 120 et murs REI 120 doit être conçue pour prendre en compte les déformations des poteaux supports (notamment leur inclinaison due au gradient thermique quand exposés 1, 2 ou 3 faces).
- Les poteaux en rive nord doivent être plus résistants au feu que les structures horizontales qu'ils supportent (et moins que ceux à proximité des structures adjacentes) afin de garantir la non-ruine vers l'extérieur. La ruine des structures horizontales doit permettre d'initier le mouvement des poteaux de rive nord vers l'intérieur de la cellule.
- Tous les assemblages doivent être dimensionnés pour avoir une résistance au feu supérieure ou égales à celles des éléments de structures liés. Les assemblages doivent également permettre de reprendre l'effort de tirage lors de la ruine des poutres et dalles afin d'initier le mouvement des poteaux vers l'intérieur de la cellule (dans le sens transversal).

5.4 Méthodologie de calcul

Au regard des spécificités des cellules (dimensions, stockage, etc.), les études de comportement au feu seront réalisées sous le feu normalisé ISO-834 (cf. Figure 15) généralisé à toute une cellule. Ce feu normalisé ISO-834 représente en effet un scénario de feu adapté pour le projet et les études de comportement au feu (scénario le plus défavorable pour les structures, épuisement du combustible, etc.).

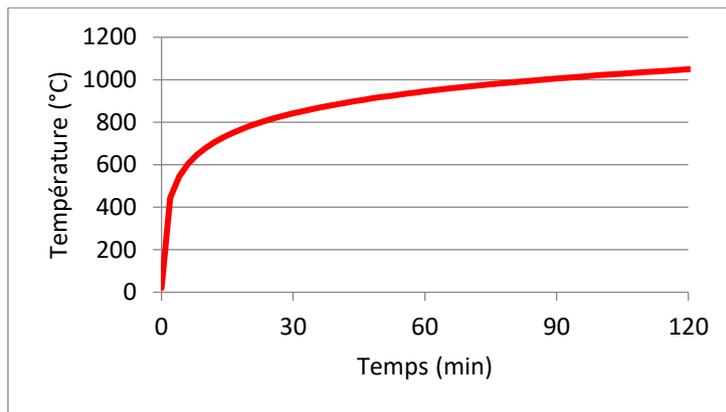


Figure 15. Courbe température-temps normalisée dite ISO-834

L'évaluation du comportement au feu des structures sera réalisée selon les méthodes avancées des Eurocodes (partie 1-2).

Les calculs non linéaires sont réalisés avec le logiciel éléments finis SAFIR développé par l'université de Liège en Belgique. Les phases de calculs incluent :

- La détermination du développement et de la distribution de la température à l'intérieur des éléments structuraux (modèle de réponse thermique) – cf. Figure 16 ;
- La détermination du comportement thermomécanique de toute ou partie de la structure (modèle de réponse mécanique).

La structure est modélisée à l'aide d'éléments « poutres ». Les sections thermiques et leur historique de température au cours du temps sont appliqués aux éléments des modèles globaux pour analyser le comportement de la structure sous incendie.

Ces calculs thermomécaniques sont non linéaires et prennent en compte les lois de comportement des matériaux tels que définies par les Eurocodes. Implicitement, la convergence des calculs sous-entend la vérification des contraintes / déformations dans les sections de structure. Cette convergence, à chaque itération (pas de temps de calcul), correspond à un état d'équilibre valant critère de stabilité de la structure. L'observation d'un comportement « asymptotique » peut être assimilée à une instabilité (ruine locale ou globale d'un élément de structure).

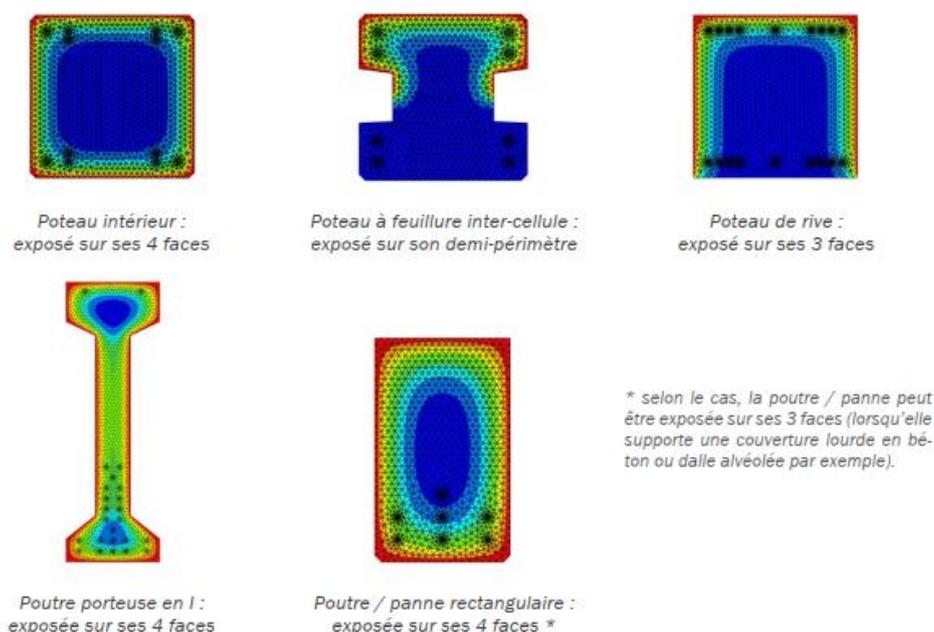


Figure 16. Exemples de transfert thermique dans des éléments de structure en béton

6 CONCLUSION

Ce document rappelle les objectifs de sécurité de l'arrêté du 11 avril 2017 modifié [1][2] en lien avec le comportement au feu des structures, à savoir :

- La mise en sécurité des personnes présente dans l'installation ;
- Limiter la propagation de l'incendie à des compartiments adjacents à la cellule sinistrée ;
- Faciliter l'intervention des services de secours.

Pour satisfaire ces objectifs, trois critères ont été définis conformément la réglementation et seront garantis pour le projet GREEN DOCK :

- Une stabilité au feu R120 a minima des structures principales ;
- La non-ruine en chaîne : la ruine d'une cellule sinistrée ne doit pas entraîner la ruine en chaîne des autres éléments de structure ;
 - Il sera assuré qu'en cas de feu généralisé à une cellule, la ruine de celle-ci n'entraîne pas la ruine des cellules adjacentes (sur un plan horizontal), ni des cours camions, ni de la voie de circulation, ni des rampes d'accès, ni des bureaux.
 - Il est à noter que physiquement et techniquement, la non-ruine en chaîne ne peut être évitée verticalement (cas des cellules superposées). Cependant, les mesures de sécurité (notamment la stratégie d'évacuation) et le temps de stabilité au feu compatible avec l'évacuation des personnes permettent de garantir la mise en sécurité des personnes situées dans les niveaux inférieurs et supérieurs à celui de la cellule en feu.
- La non-ruine vers l'extérieur : en cas de feu généralisé dans une cellule, celle-ci ne ruine pas vers l'extérieur.

Une évaluation qualitative de ces critères a été réalisée et les grands principes de conception visant à justifier l'atteinte de ces critères ont été présentés. Il convient de rappeler que ce document seul ne permet pas de justifier le respect des objectifs et critères pré-cités. Une évaluation du comportement au feu sera réalisée de façon plus précise sur la base du dimensionnement des éléments de structure du projet GREEN DOCK. C'est cette étude qui répondra à l'article 7 de l'annexe II de l'arrêté du 17 avril 2017 modifié : « *Avant la mise en service de l'installation, l'exploitant intègre au dossier prévu au point 1.2 de la présente annexe, la démonstration que la construction réalisée permet effectivement d'assurer que la ruine d'un élément (murs, toiture, poteaux, poutres, mezzanines) suite à un sinistre n'entraîne pas la ruine en chaîne de la structure du bâtiment, notamment les cellules de stockage avoisinantes, ni de leurs dispositifs de compartimentage, ni l'effondrement de la structure vers l'extérieur de la cellule en feu.* ».

ANNEXES

Annexe 1. ELEMENTS DE REPONSE AU RAPPORT DE L'INSPECTION DES INSTALLATIONS CLASSEES [9]

Annexe 1.1. Commentaire n°1 : sur l'objectif de la présente note

- la note méthodologique, établie par le CERIB et portant sur la justification du comportement au feu des structures principales, est un document provisoire, comme semble le préciser le texte placé en arrière-plan et la présence d'annotations. Dans ce cas, les conclusions de cette note sont incertaines.
- cette note ne justifie pas que le projet atteindra les exigences réglementaires. Il s'agit d'un document récapitulatif des objectifs à atteindre et des effets à obtenir. L'exploitant s'engage, conformément au point 7 de l'annexe II de l'arrêté ministériel du 11 avril 2017 modifié, à transmettre avant la mise en service de l'installation la démonstration que la construction réalisée permet effectivement d'atteindre les exigences réglementaires.
- il est précisé que la non-ruine en chaîne verticale ne peut être démontrée (cas des cellules superposées). Aussi, afin de répondre à l'un des attendus de la lettre de cadrage de la préfecture, le stockage est limité, en volume et en qualité, pour garantir une durée d'incendie inférieure à deux heures. **Il convient que le pétitionnaire détaille les dispositions prévues (physique, technique et/ou organisationnelle) pour limiter les quantités de matières combustibles stockées dans chaque cellule, afin de garantir en tout temps du respect des hypothèses prises pour les modélisations des flux thermiques dans l'étude de dangers (i.e. garantir des durées de feu calculées inférieures à 2h) ; ces dispositions pourront être reprises dans l'arrêté préfectoral d'autorisation.**

Extrait de [9], pg. 35/55.

Cette version B constitue la version finale des principes à respecter pour les modes de ruine à ce stade du projet.

Les évaluations des modes de ruine feront l'objet d'une étude de vérification du comportement au feu de la structure (études thermomécaniques). Cette étape est prévue à l'issue du dimensionnement de la structure car elle nécessite les détails des pièces structurales et de leurs assemblages (notes de calcul et plans d'exécution).

Si la non ruine verticale est justifiée par la limitation du potentiel calorifique, nous attirons l'attention sur le fait que des calculs thermomécaniques sous feux réels devront être menés.

Annexe 1.2. Commentaire n°2 : sur la conformité au §3.2 de l'arrêté du 11 avril 2017 modifié (ICPE 1510)

Concernant la conformité aux dispositions relatives aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), les éléments suivants devront notamment être approfondis :

1 - Accessibilité des services de secours et sécurité de l'intervention

L'alinéa 7 du point 3.2 de l'annexe II de l'arrêté du 11 avril 2017 modifié (dit « arrêté 1510 ») dispose que la voie engins : « est positionnée de façon à ne pouvoir être obstruée par l'effondrement de tout ou partie de ce bâtiment ou occupée par les eaux d'extinction. ».

En page 62 de la PJ 79 (analyse de la conformité du projet aux textes applicables), il est indiqué que « la partie sud accessible aux engins d'incendie et de secours présente la particularité d'être recouverte par les voiries logistiques en étages [...] ». Sur les plans présentés (e.g. sur la figure 54 de la PJ49 - EDD), il est à noter également :

- qu'une portion de la voie engin identifiée chemine également sous la cour camion centrale (en sus de la portion Sud),
- qu'une voie engin 3 secondaire 6 au Sud est identifiée sur la route du bassin n°6. Cependant, cette voie est hors périmètre de l'installation et il n'est pas démontré sa conformité aux exigences du point 3.2 de l'arrêté 1510.

Il convient que le pétitionnaire justifie de la conformité au point 3.2 de l'arrêté 1510, en particulier au regard du risque d'effondrement de la construction sur la voie engin. Le cas échéant, une demande d'aménagement est à présenter.

Extrait de [9], pg.39/55.

Il sera vérifié qu'en cas de feu généralisé à une cellule, la ruine de celle-ci n'entraîne pas la ruine des cellules adjacentes (sur un plan horizontal), ni des cours camions, ni des voiries logistiques, ni des rampes d'accès, ni des bureaux.