



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

Rapport d'étude

Référence : 19-002318b-ABO/AMat
Affaire : 19-003152-ME

ETUDE D'INGENIERIE DANS LE CADRE DE L'INSTALLATION D'UNE BASE LOGISTIQUE SUR LE SITE DE FONTAINE (90)

ETUDE DE DESENFUMAGE ET D'EVACUATION – RAPPORT D'ETUDE

Client demandeur VAILOG
Référence et date de commande Bon pour commande du 14/07/2019
Projet CITADELLE

Date : 21 novembre 2019
Indice de révision : B
Nombre de pages : 104

Auteurs :
Antoine BOUJU
Amandine WILHELM

Efectis France est laboratoire agréé en résistance et réaction au feu par le Ministère de l'Intérieur (Arrêté du 5 février 1959 modifié, Arrêtés du 24 avril 1972 et 29 décembre 2016).
Efectis France est un organisme reconnu compétent par le ministère de l'intérieur depuis 2006 (Journal Officiel n° 182 du 8 août 2006, texte n° 54).
Pour plus de renseignements : www.effectis.com

SUIVI DES MODIFICATIONS

Indice de révision	Date	Modifications
A	28/10/2019	Version initiale
B	21/11/2019	Ajout des scénarios après 10 minutes de simulations et de précisions

Ce document annule et remplace toutes les versions précédentes

SOMMAIRE

0. Préambule	6
1. Introduction.....	7
2. Documents de référence	8
3. Objectifs de sécurité et critères associés aux exigences réglementaires.....	9
3.1.Introduction	9
3.2.Sécurité du personnel.....	10
3.3.Intervention des services de secours à l'intérieur du bâtiment	10
4. Méthodologie associée aux objectifs de sécurité	10
5. Critères d'analyse	11
5.1.Vis-à-vis de la sécurité du personnel	11
5.2.Vis-à-vis de l'intervention des services de secours à l'intérieur du bâtiment.....	14
6. Description du bâtiment.....	15
6.1.Généralités	15
6.2.Exploitation et stockage.....	16
6.3.Répartition des personnes dans le bâtiment	17
6.4.Issues de secours.....	17
6.5.Détection incendie et alarme	18
6.6.Sprinkler	18
6.7.Désenfumage	19
6.7.1.Choix du système de désenfumage	19
6.7.2.Désenfumage sous toiture.....	19
6.7.3.Désenfumage des pick towers	19
6.7.4.Désenfumage sous la mezzanine	20
6.7.5.Amenées d'air	22
6.7.6.Stratégie de désenfumage	22
7. Présentation des scénarios incendie étudiés.....	24
7.1.Cas particulier de la prise en compte d'un système d'extinction automatique généralisé	24
7.2.Description des scénarios	25
7.2.1.Scénario 1 : Feu de process au niveau P1 avec maîtrise par le sprinkler	25
7.2.2.Scénario 2 : Feu de stockage de type pick tower au 1 ^{er} étage avec maîtrise par le sprinkler	25
7.2.3.Scénarios 3 et 4 : Feu de stockage de type pick tower au 3 ^{ème} étage avec maîtrise par le sprinkler	26
7.2.4.Scénarios 5 et 6 : Feu de stockage de type pick tower non maîtrisé par le sprinkler	27
7.2.5.Scénario 7 : Feu dans la VNA avec maîtrise par le sprinkler	27
7.2.6.Scénario 8 : Feu dans la VNA sans maîtrise par le sprinkler	28
7.3.Combustible.....	28
7.4.Position des scénarios.....	29
7.5.Synthèse des scénarios étudiés.....	30
8. Estimation du temps d'évacuation	31
8.1.Calcul analytique	31
8.2.Simulations avancées avec Pathfinder	34
8.3.Synthèse.....	36
9. Modélisation de l'incendie	37
9.1.Code de calcul utilisé.....	37

9.2.Géométrie.....	37
9.3.Amenées d'air et système de désenfumage	38
9.4.Modélisation des foyers.....	39
10. Résultats de modélisation.....	41
10.1.Scénario 1 – Feu de process sous la mezzanine avec maîtrise par le sprinkler	42
10.1.1.Rappel du scénario étudié	42
10.1.2.Scénario 1 : Feu de process sous la mezzanine avec un désenfumage naturel	43
10.1.2.1. Coefficient d'extinction.....	43
10.1.2.2. Température	44
10.1.2.3. Concentration en CO	45
10.1.2.4. Synthèse des résultats	45
10.1.3.Scénario 1bis : Feu de process sous la mezzanine avec un désenfumage mécanique.....	46
10.1.3.1. Coefficient d'extinction.....	46
10.1.3.2. Température	48
10.1.3.3. Concentration en CO	48
10.1.3.4. Synthèse des résultats	48
10.1.4.Synthèse.....	49
10.2.Scénario 2 – Feu au 1 ^{er} étage dans la pick tower de 5 niveaux avec maîtrise par le système de sprinkler50	
10.2.1.Rappel du scénario étudié	50
10.2.2.Coefficient d'extinction.....	51
10.2.3.Température	54
10.2.4.Concentration en CO	55
10.2.5.Synthèse des résultats	55
10.3.Scénario 3 – Feu en pick tower sur le plancher de la mezzanine avec maîtrise par le système de sprinkler – Localisation 1.....	56
10.3.1.Rappel du scénario étudié	56
10.3.2.Coefficient d'extinction.....	57
10.3.3.Température	60
10.3.4.Concentration en CO	61
10.3.5.Synthèse des résultats	61
10.4.Scénario 4 – Feu en pick tower sur le plancher de la mezzanine avec maîtrise par le sprinkler– Localisation 2.....	62
10.4.1.Rappel du scénario étudié	62
10.4.2.Coefficient d'extinction.....	63
10.4.3.Température	66
10.4.4.Concentration en CO	67
10.4.5.Synthèse des résultats	67
10.5.Scénario 5 – Feu au 1 ^{er} étage de la pick tower de 5 niveaux sans maitrise par le sprinkler	69
10.5.1.Rappel du scénario étudié	69
10.5.2.Coefficient d'extinction.....	70
10.5.3.Température	75
10.5.4.Concentration en CO	76
10.5.5.Synthèse des résultats	77
10.6.Scénario 6 – Feu sur la mezzanine dans la pick tower de 3 niveaux sans maitrise par le sprinkler	78
10.6.1.Rappel du scénario étudié	78
10.6.2.Coefficient d'extinction.....	79
10.6.3.Température	83
10.6.4.Concentration en CO	85

10.6.5.Synthèse des résultats	86
10.7.Scénario 7 – Feu dans la VNA avec maîtrise par le sprinkler	88
10.7.1.Rappel du scénario étudié	88
10.7.2.Coefficient d'extinction	89
10.7.3.Température	91
10.7.4.Concentration en CO	91
10.7.5.Synthèse des résultats	92
10.8.Scénario 8 – Feu dans la VNA sans maîtrise de la puissance par le sprinkler	93
10.8.1.Rappel du scénario étudié	93
10.8.2.Coefficient d'extinction	94
10.8.3.Température	96
10.8.4.Concentration en CO	96
10.8.5.Synthèse des résultats	97
10.9.Synthèse de l'analyse des scénarios	98
11. Conclusions	99
ANNEXE A puissance développée avec activation du sprinklage.....	100
A.1 Contrôle de l'incendie par le sprinkler	100
A.2 Calcul de la température du jet de plafond	100
A.3 Calcul de la vitesse du jet de plafond	100
A.4 Calcul du temps de détection.....	101
ANNEXE B Comparaison entre les solutions avec 1% et 2 % de porosité dans les pick towers	102
ANNEXE C Détermination de la puissance de l'incendie dans les VNA en cas de maîtrise par le sprinkler	104

0. PREAMBULE

L'entrepôt couvert développé dans le cadre du projet CITADELLE est soumis à la rubrique 1510 et entre dans le périmètre de l'arrêté du 11 avril 2017 [1].

Cet arrêté a pour objectif d'assurer **(1)** la mise en sécurité des personnes présentes à l'intérieur des entrepôts, **(2)** de protéger l'environnement, **(3)** d'assurer la maîtrise des effets létaux ou irréversibles sur les tiers, **(4)** de prévenir les incendies et leur propagation à l'intégralité des bâtiments ou aux bâtiments voisins, et **(5)** de permettre la sécurité et les bonnes conditions d'intervention des services de secours.

Cet arrêté prescrit dans son Annexe II un certain nombre de dispositions constructives applicables pour des projets de dimensions courantes. L'entrepôt couvert développé dans le cadre du projet CITADELLE a des dimensions atypiques pour lesquelles certaines de ces règles prescriptives ne sont pas adaptées et/ou ne peuvent être respectées compte tenu de sa conception. Sont identifiés :

- La taille des cellules supérieure à 12 000 m² ;
- Le système de désenfumage avec gestion spécifique du fait de l'activité de la présence d'une mezzanine et de pick towers ;
- Les conditions d'évacuation des travailleurs en cas d'incendie.

Dans le respect de l'article 1^{er} de cet arrêté et de l'article 5 relatif aux installations soumises à autorisation, il est nécessaire de démontrer que les adaptations spécifiques envisagées permettent d'assurer un niveau de sécurité au moins équivalent à celui résultant des prescriptions du présent arrêté (notamment en matière de risque incendie). Dans ce contexte, des études spécifiques d'ingénierie de sécurité incendie peuvent être réalisées afin de s'assurer que le niveau de sécurité global pour le est équivalent à celui résultant des prescriptions de l'arrêté du 11 avril 2017.

Pour rappel,

- l'article 1^{er} indique : « *Le présent arrêté s'applique aux entrepôts couverts déclarés, enregistrés ou autorisés au titre de la rubrique no 1510 de la nomenclature des installations classées. Cet arrêté a pour objectif d'assurer 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. Toutefois, le service d'incendie et de secours peut, au regard des caractéristiques de l'installation (dimensions, configuration, dispositions constructives...) ainsi que des matières stockées (nature, quantités, mode de stockage...), être confronté à une impossibilité opérationnelle de limiter la propagation d'un incendie...* »
- l'article 5 indique que : « *Le préfet peut, dans les conditions prévues par l'article R. 181-54 du code de l'environnement (installations soumises à autorisation), au vu des circonstances locales et en fonction des caractéristiques de l'installation et de la sensibilité du milieu, adapter par arrêté préfectoral les prescriptions du présent arrêté. A cet effet, le pétitionnaire fournit au préfet une étude d'ingénierie incendie spécifique précisant les mesures justifiant la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement, et permettant, dans le respect des objectifs fixés à l'article 1er, d'assurer un niveau de sécurité au moins équivalent à celui résultant des prescriptions du présent arrêté, notamment en matière de risque incendie. Pour l'application de cet article: – le préfet peut demander une tierce expertise en application de l'article L. 181-13 du code de l'environnement. Au vu des conclusions de cette tierce-expertise, il peut solliciter l'avis du Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques; – il sollicite en tout état de cause l'avis du Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques sur les demandes portant sur un volume maximum de matières susceptibles d'être stockées supérieur à 600 000 m³; – il sollicite en tout état de cause l'avis du conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques sur le projet d'arrêté d'autorisation.*

Ce rapport d'étude fait donc partie du lot d'études d'ingénierie spécifiques permettant d'évaluer le niveau de sécurité global du bâtiment. Plus précisément, **s'agissant des études de désenfumage et d'évacuation**, elle concerne les objectifs suivants :

- (1)** la mise en sécurité des personnes présentes à l'intérieur des entrepôts,
- (5)** de permettre la sécurité et les bonnes conditions d'intervention des services de secours.

Ce rapport permet de répondre à l'objectif (1). Des calculs étant en cours, il sera mis à jour pour vérifier l'objectif (5).

1. INTRODUCTION

A la demande de son client, Efectis France a été sollicité pour réaliser des études d'ingénierie dans le cadre de l'installation d'un entrepôt couvert sur le site de Fontaine (90).

Il s'agit d'un bâtiment de stockage de grande surface (52 000 m²) non compartimenté disposant d'une mezzanine et de pick towers, classé en rubriques 1510, 1511, 1530, 1532, 2662, 2663-1 et 2663-2 et soumis à autorisation.

Dans le cadre de la construction du bâtiment de stockage de Fontaine (90), les études d'ingénieries suivantes sont menées par Efectis :

- Etude d'ingénierie de désenfumage ;
- Etude d'ingénierie d'évacuation ;
- Etude d'ingénierie du comportement au feu des structures ;
- Etude de flux thermiques.

Ce rapport présente les hypothèses liées à l'incendie, les scénarios pris en compte dans l'étude d'ingénierie de désenfumage de la partie entrepôt ainsi que les résultats et leurs analyses vis-à-vis des conditions d'évacuation du personnel. Des calculs étant en cours, il sera mis à jour pour vérifier les conditions d'intervention des services de secours.

Les scénarios présentés dans ce document pourront être utilisés dans le cadre des études de stabilité, des mezzanines et pick towers, sous feu réel qui seront réalisées ultérieurement conformément au point 7 de l'annexe II de l'arrêté du 11 avril 2017 [1] (*« 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. »*).

L'étude du comportement au feu des structures sera donc réalisée dans une phase ultérieure du projet et ne fait pas donc l'objet du présent document.

L'étude de flux thermiques ne fait pas l'objet du présent document mais d'un document séparé.

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

- [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. NOR: DEVP1706393A
- [2] Arrêté du 22 mars 2004 portant approbation de dispositions complétant et modifiant l'arrêté du 25 juin 1980 sur le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (dispositions relatives au désenfumage) et Instruction Technique n°246 annexée. NOR : INTE0400223A
- [3] Arrêté du 24 décembre 2007 portant approbation des règles de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les gares. NOR: IOCE0804299A
- [4] Arrêté du 5 août 1992 pris pour l'application des articles R. 235-4-8 et R. 235-4-15 du code du travail et fixant des dispositions pour la prévention des incendies et le désenfumage de certains lieux de travail. NOR : TEFT9205115A
- [5] Décret n° 2008-244 du 7 mars 2008 et annexe associée
- [6] Ordonnance n°2018-937 du 30 octobre 2018 visant à faciliter la réalisation de projets de construction et à favoriser l'innovation. NOR : TERL1824356R
- [7] Décret n° 2019-184 du 11 mars 2019 relatif aux conditions d'application de l'ordonnance n°2018-937 du 30 octobre 2018 visant à faciliter la réalisation de projets de construction et à favoriser l'innovation. NOR : LOGL1834278D
- [8] The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association. 3ème Édition. 2002
- [9] NF EN 1991-1-2 et Annexe Nationale : « Eurocode 1 Partie 1-2 : Actions sur les structures exposées au feu » Juillet 2003 et NF EN 1991-1-2/NA Février 2007
- [10] Fire Dynamics Simulator (Version 5), Technical Reference Guide. K.B. McGrattan, H.R. Baum, R.G. Rehm, G.P. Forney, J.E. Floyd, K. Prasad, and S. Hostikka –Technical Report NISTIR 6783, 2007.
- [11] Document d'étude (synthèse) à l'usage des participants du groupe de travail - EP 03-09, projet : systèmes sprinklers résidentiels, Youcef OUAMMOU, CNPP, le 29/10/03
- [12] « Guide de bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage dans les établissements recevant du public » par le Laboratoire Central de la Préfecture de Police
- [13] Fiche de toxicité aiguë – Acide cyanhydrique – réf : INERIS-DRC-08-94398-12722A
- [14] Fiche de toxicité aiguë – Monoxyde de carbone – réf : INERIS-DRC-09-103128-05616A
- [15] Fiche de toxicité aiguë – Dioxyde d'azote – réf : INERIS-DRC-08-94398-13333A
- [16] INC-99/378-DJ/IM « Contribution expérimentale à l'estimation de la propagation d'un feu entre stands », 1999
- [17] 13751 (NF ISO 13571 Nov12) – Lignes directrices pour l'estimation du temps disponible avant que les conditions de tenabilité ne soient compromises
- [18] CITADELLE_MLH_2GRID, VAILOG, 8/10/2019
- [19] Sprinkler Memo, VAILOG, 11/10/2019
- [20] Thunderhead Engineering – Technical reference – Pathfinder 2018
- [21] Etude d'ingénierie dans le cadre de l'installation d'une plateforme logistique sur le site de fontaine – note technique sur les principes structuraux et les études de mode de ruine – réf 19-002237-XDU - octobre 2019

3. OBJECTIFS DE SECURITE ET CRITERES ASSOCIES AUX EXIGENCES REGLEMENTAIRES

3.1. INTRODUCTION

L'étude a pour objectif de vérifier si la configuration du bâtiment et le système de désenfumage mis en place respectent des niveaux de sécurité satisfaisants vis-à-vis de l'évacuation des personnes et de l'intervention des services de secours.

Pour cela, l'étude va consister à analyser les conditions de l'évacuation du personnel et de l'intervention des services de secours en prenant en compte les différentes phases de développement d'un incendie depuis sa phase d'ignition, son développement et dans le pire des cas sa généralisation à l'ensemble du bâtiment. Le tableau ci-dessous synthétise les différentes phases de feu et les points d'intérêt propre à chaque étape.

Phases du feu	phénomène	sujet à traiter	dispositions
0	Le feu est initié dans le bâtiment	Points chauds	Procédures et matériel
		Ignition	Réaction au feu - moyen d'extinction manuel
1	Le feu est identifié dans le bâtiment	Evacuation du personnel	Alerte
			Aide à l'évacuation : consignes et procédures
			Mise en sécurité
2	Le feu se développe et est contrôlé par les moyens actifs ou n'est pas encore trop développé première intervention des services internes ou des services externes	Moyens de lutte	Accès, dispositions sapeurs-pompiers - extinction automatique
		Désenfumage	Système de désenfumage et automatisation
		Comportement au feu des structures	Schéma structurel - protection
3	Le feu se développe et la lutte à l'intérieur n'est plus possible et elle se poursuit à l'extérieur	Comportement au feu des structures et enveloppes du bâtiment	Schéma structurel
		Limitation de la propagation	Garantir l'efficacité des éléments séparatifs
		Modalités d'intervention	Moyens de lutte et conditions d'intervention
4	Le feu est généralisé	Modalités d'intervention	Moyens de lutte et conditions d'intervention
		Limitation de la propagation autre cellules	Garantir l'efficacité des éléments séparatifs
		Tiers	Flux thermiques
		Environnement	Dispersion atmosphérique et rétention des eaux

Tableau 3-1 : Différentes étapes de la phase de feu

On précise ci-après les objectifs recherchés suivant le type de personne considéré et suivant le stade du développement du feu auquel l'analyse est associée.

Dans la suite du document, le référentiel temps est défini à partir d'un t0 correspondant au départ de feu.

3.2. SECURITE DU PERSONNEL

Dans le cadre de la réglementation relative aux installations classées, les objectifs vis-à-vis de la sécurité du personnel sont liés à leur évacuation et sont les suivants :

- Evacuation du personnel compatible avec l'enfumage du bâtiment ;
- Evacuation du personnel compatible avec le temps de ruine.

Ainsi ces objectifs sont à analyser pendant la première phase de l'incendie, à partir de l'instant où il a été initié dans le bâtiment. La compatibilité avec le temps de ruine sera analysée ultérieurement lors de l'étude de comportement au feu des structures.

3.3. INTERVENTION DES SERVICES DE SECOURS A L'INTERIEUR DU BATIMENT

Dans le cadre de la réglementation relative aux installations classées, différents objectifs vis-à-vis de l'intervention des services de secours sont recherchés. Ces objectifs de sécurité concernent principalement le comportement au feu de la structure [1], compte tenu des conditions de tenabilité dans les volumes.

D'après la réglementation, les services de secours peuvent être présents dans le bâtiment afin de rechercher du personnel, faire une reconnaissance des lieux ou lutter contre un incendie si celui-ci n'est pas trop développé. Il s'agit donc également d'analyser les conditions de tenabilité pour les services de secours au sein du bâtiment pendant la première phase de l'incendie, à partir de l'instant où il a été initié dans le bâtiment.

4. METHODOLOGIE ASSOCIEE AUX OBJECTIFS DE SECURITE

Concernant l'objectif d'évacuation du personnel et d'intervention des services du secours (par l'intérieur) compatible avec l'enfumage du bâtiment, il s'agira de réaliser les étapes suivantes :

- Identifier les scénarios incendie les plus probables et défavorables vis-à-vis de l'évacuation des personnes et d'intervention des secours ;
- Modéliser ces scénarios avec le logiciel FDS. Cela permettra de déterminer le temps disponible pour le personnel pour évacuer le bâtiment et pour les services des secours en intervention à l'intérieur du bâtiment avant que les conditions dans l'entrepôt ne soient dégradées. Les critères d'analyse sont présentés au § 5 ;
- Comparer les temps d'atteinte des critères avec le temps nécessaire à l'évacuation afin de statuer sur la sécurité des personnes au cours de l'évacuation et des services de secours lors de leur intervention.

5. CRITERES D'ANALYSE

5.1. VIS-A-VIS DE LA SECURITE DU PERSONNEL

De manière à évaluer les conditions ambiantes au cours de l'incendie, il est nécessaire de définir des critères à partir desquels il est jugé que les personnes ne peuvent plus circuler pour atteindre les issues de secours.

Les simulations qui seront réalisées pour chacun des scénarios retenus permettront de déterminer :

- la visibilité (concentration en suies) atteinte dans l'ensemble des volumes modélisés,
- les températures,
- les concentrations en gaz toxiques (CO, ...).

Les simulations permettent de définir ainsi une cartographie des conditions en chaque point du volume et en fonction du temps afin de déterminer les délais de perte des conditions de tenabilité. Les conditions seront ainsi examinées au regard des délais d'évacuation.

L'analyse des simulations sera effectuée pour les différents scénarios retenus et les conclusions seront données pour chacun de ces scénarios.

Afin de vérifier l'atteinte des objectifs pour la sécurité des personnes, des critères quantitatifs leur seront associés pour l'évaluation de chacun d'eux.

Critère pour la visibilité (coefficient d'extinction)

La visibilité est une conséquence sur les personnes de l'opacité des fumées en fonction de ce que l'on cherche à voir. L'opacité se mesure sous forme de densité optique ou de coefficient d'extinction (paramètre de perte de lumière transmise ou diffusée provoquée par la présence de particules). La valeur du coefficient d'extinction (ou de la visibilité) à retenir dépend fortement de l'ouvrage et des conditions d'évacuation (balisage de sécurité, etc.). Une visibilité de 15 mètres correspond à un coefficient d'extinction de 0.53 m^{-1} en considérant des signaux directs¹.

Cependant, en présence de fumées, l'atmosphère étant viciée et irritante pour les yeux, le coefficient d'extinction est ramené à $0,4 \text{ m}^{-1(2)}$, soit une visibilité pour des signaux directs de 20 mètres, ce critère étant pour le personnel lors de son évacuation.

¹ SFPE HANDBOOK - Section1/Chapter 25 - G. Mulholland - Smoke production and properties

² SFPE HANDBOOK - Section2/Chapter 4 - Tadahisa Jin - Visibility and Human Behavior in Fire Smoke

Critère pour la température des gaz

Des gênes respiratoires chez les personnes restent « supportables » pendant 30 minutes si elles sont à moins de 60°C³. Par ailleurs, un retour d'expérience d'un feu dans une école montre que le passage d'une pièce protégée vers un couloir contenant une atmosphère hostile est réalisable jusqu'à une température de 65°C⁴. On retiendra une température seuil de 40°C pour le personnel de l'entrepôt [12].

Critère pour le flux critique

Pour les personnes, un flux critique admissible est communément proposé. Néanmoins, dans le cadre de l'étude, un flux critique admissible de 1,5 kW/m² est au final retenu à la demande du SDIS, correspondant à des niveaux de températures de la couche chaude de l'ordre de 130°C.

Critère pour la concentration en espèce gazeuse

Dans le cadre des études, en supposant un mélange constitué à parts égales de polyuréthane (C_{6.3}H_{7.1}O_{2.1}N) et de cellulosique (C_{3.4}H_{6.2}O_{2.5}), cela permet de considérer l'équation de réaction suivante :



La production de suies et de CO est prise en compte en considérant respectivement 5,5% de suies et 0,21% de CO de production massique.

En fonction de la nature du combustible qui participe au développement du feu, différentes espèces toxiques peuvent être dégagées. Néanmoins, l'espèce prépondérante généralement produite pour la plupart des combustibles est le monoxyde de carbone (CO). Celui-ci étant une variable calculée par les modèles, il est possible de caractériser la toxicité d'un mélange de fumées sur la base de la concentration en monoxyde de carbone. Ainsi, si une concentration en CO de 1 200 ppm représente la plus forte concentration qu'un être humain est susceptible de respirer pendant 30 minutes sans risquer d'effet irréversible pour la santé⁵, une concentration en CO de 150 ppm permet de caractériser les premiers effets irréversibles du mélange des fumées en prenant en compte le cumul des espèces toxiques issues de la combustion d'un matériau de type plastique (combustion du polyuréthane) et cellulosique comme cela est démontré ci-dessous.

Les seuils de toxicité des différents constituants sont issus des fiches de toxicité établies par l'INERIS [13], [14],[15] au bout de 30 min d'exposition.

Polluants	CO	CO ₂	HCN	NO ₂
Taux de production	1,25	1,97	0,12	0,21
SEI (mg/m ³)	1725	2152	44	94

Tableau 5-1 : Concentration maximale théorique des polluants émis lors de la combustion et seuils des effets irréversibles associés

En prenant en compte les données ci-dessus et en suivant uniquement le CO dans les calculs (la production de HCN n'est pas prise en compte dans l'équation de combustion), on retient de manière sécuritaire une valeur seuil de 150 ppm pour le CO. Cette valeur relativement basse prend en compte l'effet cumulé des différents toxiques présents dans les fumées.

³ Le sapeur pompier magazine - Hors série Accidents ferroviaires de Septembre 2008

⁴ Fire Protection Handbook - Section3/Chapter 1 - G. E. Hartzell - Combustion products and their affects on life safety

⁵ SFPE HANDBOOK - Section1/Chapter 14 - D. Purser - Toxicity assessment of combustion products

On peut également noter que :

- aucune valeur n'est mentionnée dans le « Guide de bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage dans les établissements recevant du public » rédigé par le Laboratoire Central de la Préfecture de Police [12] et dédié aux établissements recevant du public qui est de plus en plus pris en référence par les DREAL/SDIS concernant les ICPE et les établissements recevant des travailleurs.
- en proposant une approche par concentration effective fractionnelle (FEC) permettant d'évaluer les effets des gaz irritants en fonction de leurs concentrations dans les fumées et en retenant un critère de seuil de 0,3, ce qui se traduit statistiquement par 11,4 % de la population susceptible de subir des conditions de tenabilité compromises, la concentration en CO équivalente est de 220 ppm pour ce type de combustible. Le critère de 150 ppm est donc sécuritaire (sur le même principe, l'approche par dose effective fractionnelle (FED) permettant d'évaluer les effets asphyxiants des fumées toxiques sur l'organisme humain en fonction du temps d'exposition conduirait à une concentration en CO équivalente de 1 200 ppm) ; ces notions de doses et de valeurs étant introduites dans la norme ISO 13571 [17] relative aux « Composants dangereux du feu — Lignes directrices pour l'estimation du temps disponible avant que les conditions de tenabilité ne soient compromises » et plus particulièrement au § A.5.2 s'agissant de la « prise en compte des sous-populations sensibles ».

Synthèse des critères retenus

Les critères proposés sont résumés dans le tableau ci-dessous. Ces critères seront analysés pour tous les niveaux à hauteur d'homme (2 m).

Critères	Personne
Visibilité (m) coefficient d'extinction (m^{-1})	20 0,4
Température (°C)	40
Flux thermique (kW/m^2)	1,5
Toxicité [CO] (ppm)	150

Tableau 5-2 : Synthèse des critères retenus pour l'atteinte des objectifs vis-à-vis du personnel

Remarque : ces critères sont également ceux qui sont retenus lorsque des études de désenfumage sont réalisées dans des établissements recevant du public afin d'évaluer les critères de tenabilité pour le public [12].

5.2. VIS-A-VIS DE L'INTERVENTION DES SERVICES DE SECOURS A L'INTERIEUR DU BATIMENT

Ce paragraphe présente les critères de tenabilité pour les services de secours.

Critère pour la visibilité (coefficient d'extinction)

Pour les services de secours, il pourra être retenu le critère de 0,8 à 1,6 m⁻¹ pour le coefficient d'extinction, correspondant à une visibilité allant de 10 à 5 mètres dans le cas d'un signal direct ; les services de secours sachant se déplacer dans des milieux hostiles en intervention.

Critère pour la température des gaz

Pour les services de secours, on pourra retenir une température ambiante de 100°C⁶ [12].

Critère pour le flux critique

Pour les services de secours, un flux critique admissible de 5 kW/m² (couche chaude à 270°C) peut être retenu. Ce critère est en adéquation avec celui présenté dans le « Guide de bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage dans les établissements recevant du public » rédigé par le Laboratoire Central de la Préfecture de Police [12]. **A noter qu'au vu des résultats de l'étude, ce critère n'est pas dimensionnant quel que soit le temps d'exposition auquel il est associé.**

Critère pour la concentration en espèce gazeuse

Pour les services de secours, aucun critère n'est retenu pour la toxicité compte tenu de leur équipement (ARI)

Synthèse des critères retenus

Les critères proposés sont résumés dans le tableau ci-dessous. Ces critères seront analysés pour tous les niveaux à hauteur d'homme (2 m).

Critères	Services d'intervention
Visibilité (m) coefficient d'extinction (m ⁻¹)	5 1,6
Température (°C)	100
Flux thermique (kW/m ²)	5
Toxicité [CO] (ppm)	-

Tableau 5-3 : Synthèse des critères retenus pour l'atteinte des objectifs vis-à-vis des services de secours

Remarque : comme précédemment, excepté pour le flux thermiques pour les travailleurs qui a été réduit à 1,5 kW/m² au lieu de 2 kW/m², ces critères sont également ceux qui sont retenus lorsque des études de désenfumage sont réalisées dans des établissements recevant du public afin d'évaluer les critères de tenabilité pour les secours [12] ou dans d'autres bâtiments comme les bâtiments industriels, les installations classées, etc. depuis la parution de ce guide .

⁶ Ce seuil est généralement validé par les pompiers dans les études d'ingénierie du désenfumage dans les ERP.

6. DESCRIPTION DU BATIMENT

6.1. GENERALITES

Les dimensions du bâtiment entrepôt sont les suivantes :

- Longueur : 361,00 m ;
- Largeur : 145,00 m ;
- Surface : 52 168 m² ;
- Hauteur moyenne : 15,50 m.

L'entrepôt peut être divisé en plusieurs zones d'exploitation particulières, repérées sur les figures ci-dessous :

- Une mezzanine (en violet) à une hauteur de 6 m représentant une surface totale de 17 871 m² et comprenant :
 - o une zone de process sous son emprise
 - o trois niveaux de pick towers sur la mezzanine
- Une zone de pick towers (en vert) de cinq niveaux accolée à la mezzanine
- Un stockage en racks denses de type VNA
- Un stockage en racks classiques

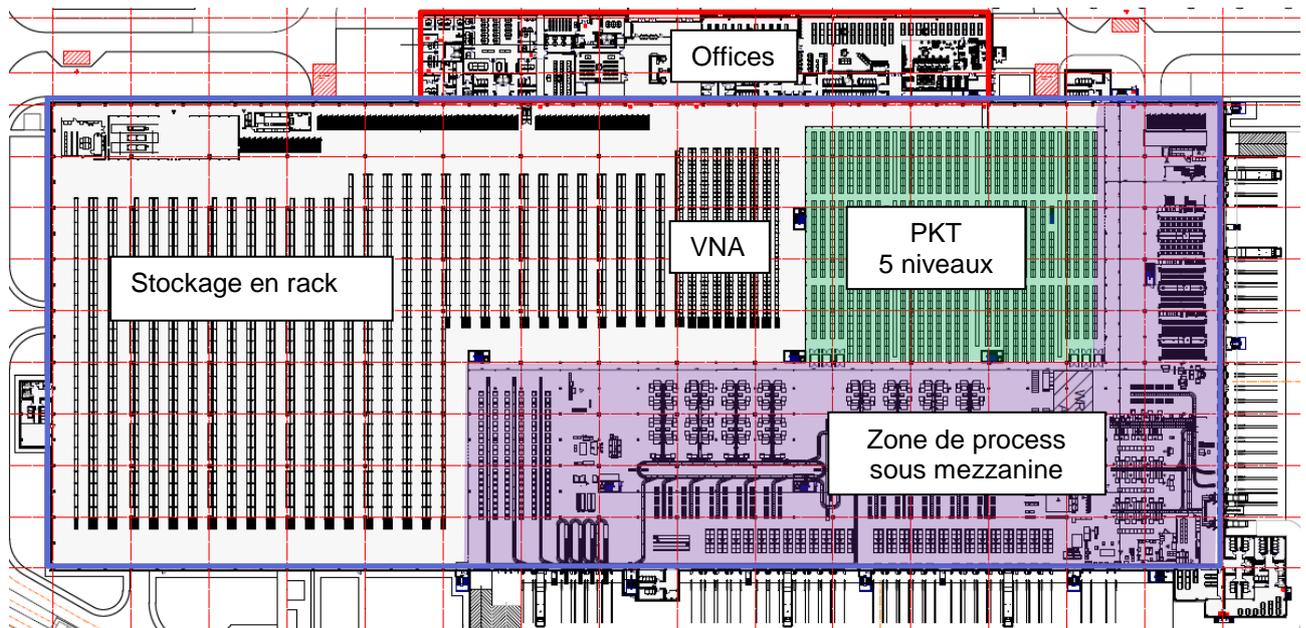


Figure 6-1 : Plan du niveau RDC – P1 (+0,00 m)

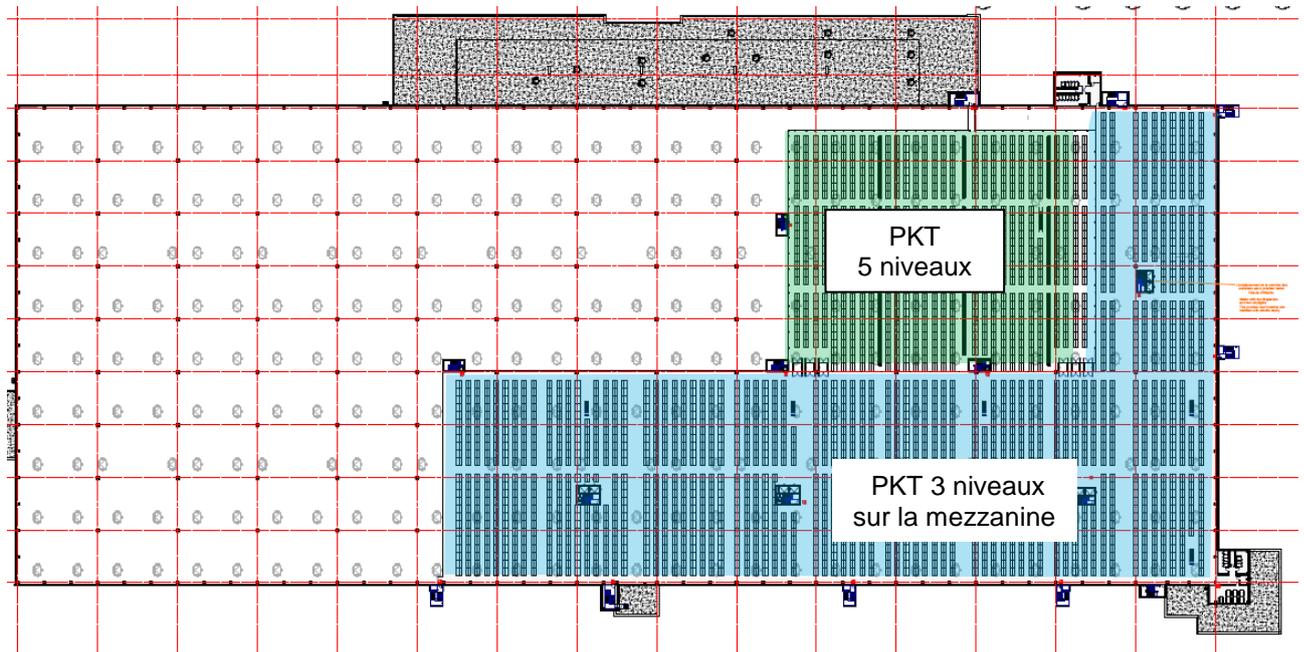


Figure 6-2 : Plan du niveau sur mezzanine – P2 (+6,00 m)

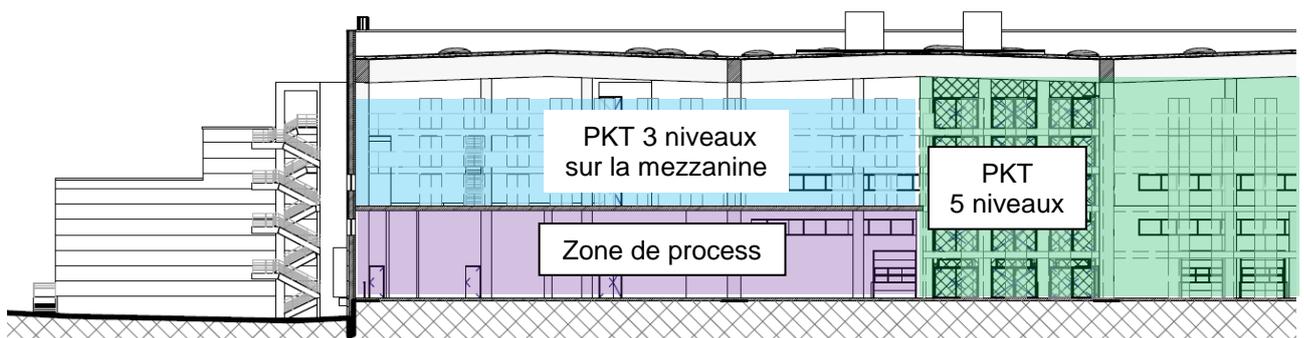


Figure 6-3 : Coupe dans l'entrepôt

La mezzanine est réalisée en béton et présente une performance coupe-feu 1h (REI60). La toiture est réalisée en bac acier, sans résistance au feu.

La structure réalisée en poteaux béton est au minimum stable au feu 1 h (R60).

La façade sera constituée par un bardage métallique double peau, excepté dans la zone des quais de chargement/déchargement où une paroi béton sera mise en œuvre sur une hauteur de 4 m environ.

La zone de bureaux située au Nord du bâtiment sera traitée par une paroi REI120.

6.2. EXPLOITATION ET STOCKAGE

Le niveau rez-de-chaussée (niveau P1) est dédié à plusieurs activités :

- Stockage sur rack conventionnel de 13 m de hauteur.
- Stockage sur rack de type VNA de 13 m de hauteur, situé entre la zone pick tower et la zone rack conventionnel.
- Stockage de type pick tower sur 5 niveaux.
- Zone de process située sous la mezzanine.

Les niveaux supérieurs sont ceux des planchers des pick towers et de la mezzanine :

- 1^{er} étage de pick tower - niveau P1.
- 2^{ème} étage de pick tower - hauteur + 3 m.
- 3^{ème} étage de pick tower et plancher de la mezzanine béton - niveau P2 : hauteur + 6 m.
- 4^{ème} étage de pick tower - hauteur + 8,5 m.
- 5^{ème} étage de pick tower - hauteur +11 m.

Le stockage dans les pick towers se fait sur une hauteur de 2 m.

6.3. REPARTITION DES PERSONNES DANS LE BATIMENT

L'effectif maximal pouvant être présent dans l'entrepôt en période de pointe est de 534 personnes. Dans les étages de pick towers et mezzanine qui cumulent une superficie totale de 24 700 m², l'effectif est de 60 personnes par étage. Le deuxième étage de pick towers (zone verte sur la Figure 6-1) qui présente une surface de 6 700 m² compte un effectif de 17 personnes.

Ainsi, la répartition du personnel dans l'entrepôt est la suivante :

- Niveau P1 : 337 personnes
- 2^{ème} étage de pick tower : 17 personnes
- Niveau P2 : 60 personnes ;
- 4^{ème} étage de pick tower : 60 personnes ;
- 5^{ème} étage de pick tower : 60 personnes.

6.4. ISSUES DE SECOURS

Il est prévu au niveau P1 un total de 29 issues de secours totalisant 47 unités de passages (UP). L'effectif des niveaux supérieurs dispose quant à lui de 16 escaliers représentant un total de 30 UP. Huit escaliers situés à cœur de la mezzanine et du stockage pick tower sont enclouonnés (avec un exutoire de 1 m² en toiture) et présentent une résistance au REI60 de façon à permettre l'évacuation du personnel dans un espace protégé.

Les figures ci-dessous présentent la localisation des issues de secours.

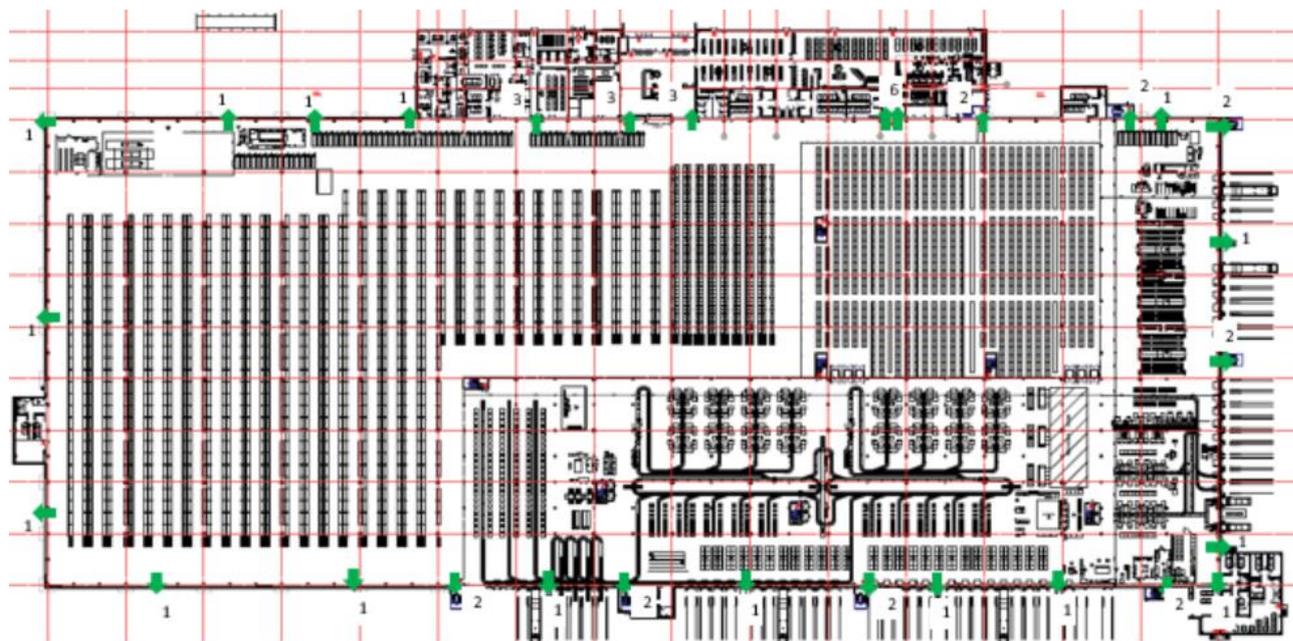


Figure 6-4 : Localisation des issues de secours au niveau P1

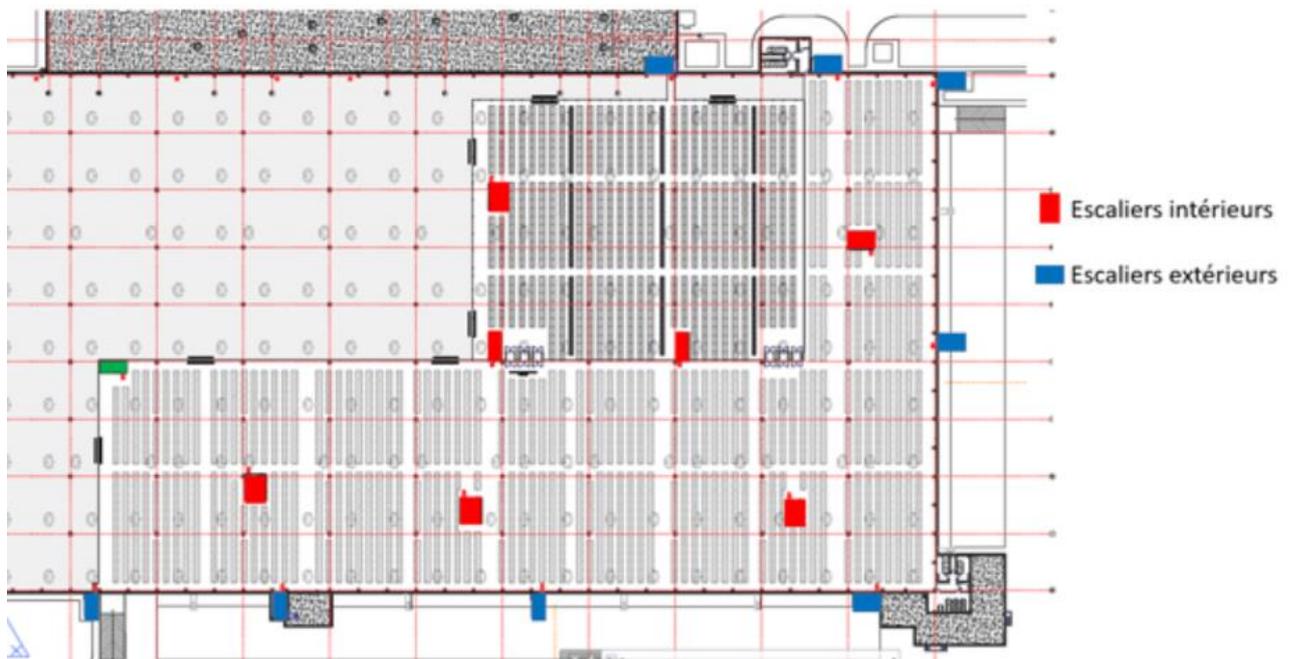


Figure 6-5 : Localisation des issues de secours dans les niveaux supérieurs

6.5. DETECTION INCENDIE ET ALARME

Le bâtiment sera équipé d'un système d'alarme. Le système sera conçu pour activer des alarmes sonores et visuelles sur activation du sprinkler ou dans le cas d'un déclenchement manuel de l'alarme.

L'entrepôt sera également équipé de détecteurs de fumées par prélèvement d'air (détection par aspiration haute sensibilité). Ces détecteurs seront répartis à tous les niveaux de mezzanine et picktower. Pour rappel, ce type de détecteur permet une détection très rapide des fumées. Une temporisation de 3 minutes est mise en place avant le déclenchement de l'alarme d'évacuation.

6.6. SPRINKLER

L'entrepôt sera protégé avec un système d'extinction à eau de type sprinklage.

Les spécificités techniques sont adaptées aux risques liés au stockage, plusieurs systèmes sont mis en œuvre suivant le risque associé. Le tableau ci-dessous synthétise les caractéristiques des différents systèmes

Position	Sous mezzanine	Sous pick tower	Rack	VNA	Sous plafond
Type de système	Traditionnel – CMDA –K160	Traditionnel – CMDA – K115	Aucun sprinkler en rack dans cette zone	ESFR – K200	ESFR – K404
Maillage horizontal	3,6 m	2,4 m		2,6 m	3,6 m
Hauteur de la tête	Sous le plancher de la mezzanine	Sous le plancher de chaque niveau de la pick tower		9 m au-dessus du sol	Sous plafond
RTI	50	50		50	50
Température d'activation	68	68		68	68

Tableau 6-1 : Synthèse du système de sprinkler dans le bâtiment [19]

6.7. DESENFUMAGE

6.7.1. Choix du système de désenfumage

Le bâtiment est désenfumé à partir de plusieurs systèmes :

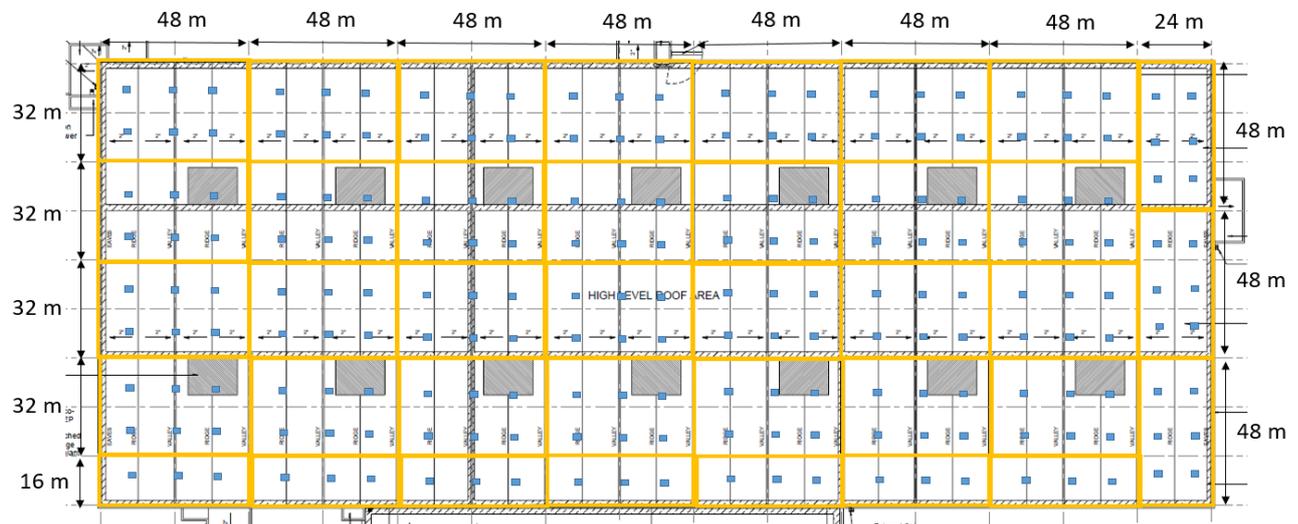
- Sous toiture
- Sous mezzanine

6.7.2. Désenfumage sous toiture

L'entrepôt est désenfumé à l'aide d'exutoires se trouvant en toiture du bâtiment. Ces exutoires représentent une surface utile de 2% de la surface au sol de l'entrepôt, soit 1 042 m².

Un cantonnement est réalisé à partir de la poutraison du bâtiment d'une hauteur de 1,5 m.

Le plan ci-dessous présente la position des exutoires (en bleu) et le cantonnement représenté par certaines des poutres principales (en jaune).



6.7.3. Désenfumage des pick towers

Pour permettre l'évacuation des fumées dans les pick towers vers les exutoires présents en toiture, des caillebotis sont répartis uniformément dans les allées principales. La surface de ces caillebotis est de 2 % de la surface des pick towers. A titre informatif, une comparaison du désenfumage avec 1% de caillebotis est présentée en ANNEXE B (1% correspondant au pourcentage initialement envisagé pour les caillebotis).

La figure ci-dessous présente la répartition des caillebotis (en violet) dans les pick towers.

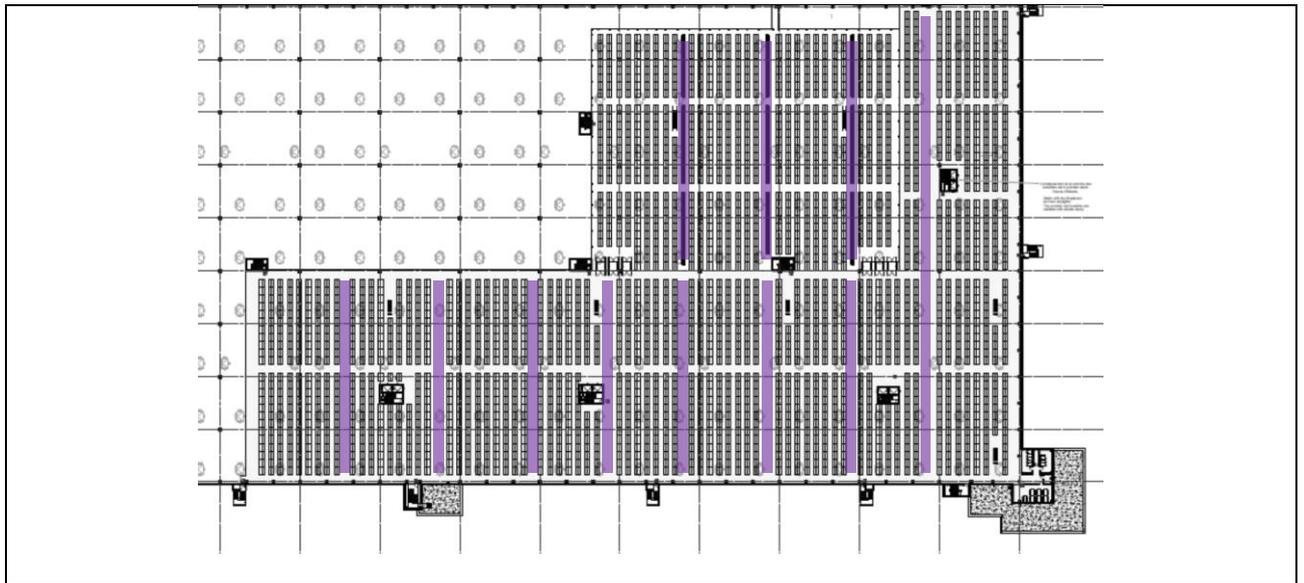


Figure 6-7 : Position des trémies dans les pick towers

6.7.4. Désenfumage sous la mezzanine

La mezzanine disposant d'un plancher plein, il est nécessaire de mettre en place un désenfumage spécifique sous celle-ci pour évacuer l'accumulation potentielle de fumées tout en limitant leur propagation au reste du bâtiment.

Deux configurations de désenfumage pour la mezzanine sont étudiées dans ce rapport :

- Désenfumage naturel par des exutoires se trouvant accolés aux cages d'escalier à raison de 2 x 4 m² de surface utile par bloc d'escalier soit 40 m² de surface utile au total.
- Désenfumage mécanique par des points d'extractions se trouvant accolés aux cages d'escalier, le débit d'extraction est de 81 000 m³/h par point d'extraction.

Dans les deux cas, les fumées sont extraites par des conduits verticaux qui courent depuis le plancher de la mezzanine jusqu'en toiture.

De plus :

- Des écrans de cantonnement sont présents en bordure de mezzanine, côté intérieur pour éviter la propagation des fumées vers les pick tower.
- La poutraison de la mezzanine peut canaliser les fumées ;
- La mezzanine n'est pas en contact avec le bardage en façade. Les vides entre poteaux sont néanmoins calfeutrés afin d'éviter la propagation de fumées depuis le dessous de la mezzanine vers ces espaces, ce qui conduirait à accélérer la propagation des fumées vers les pick towers.

Les figures ci-dessous présentent la répartition de ce désenfumage (en vert) et des poutres sous la mezzanine.

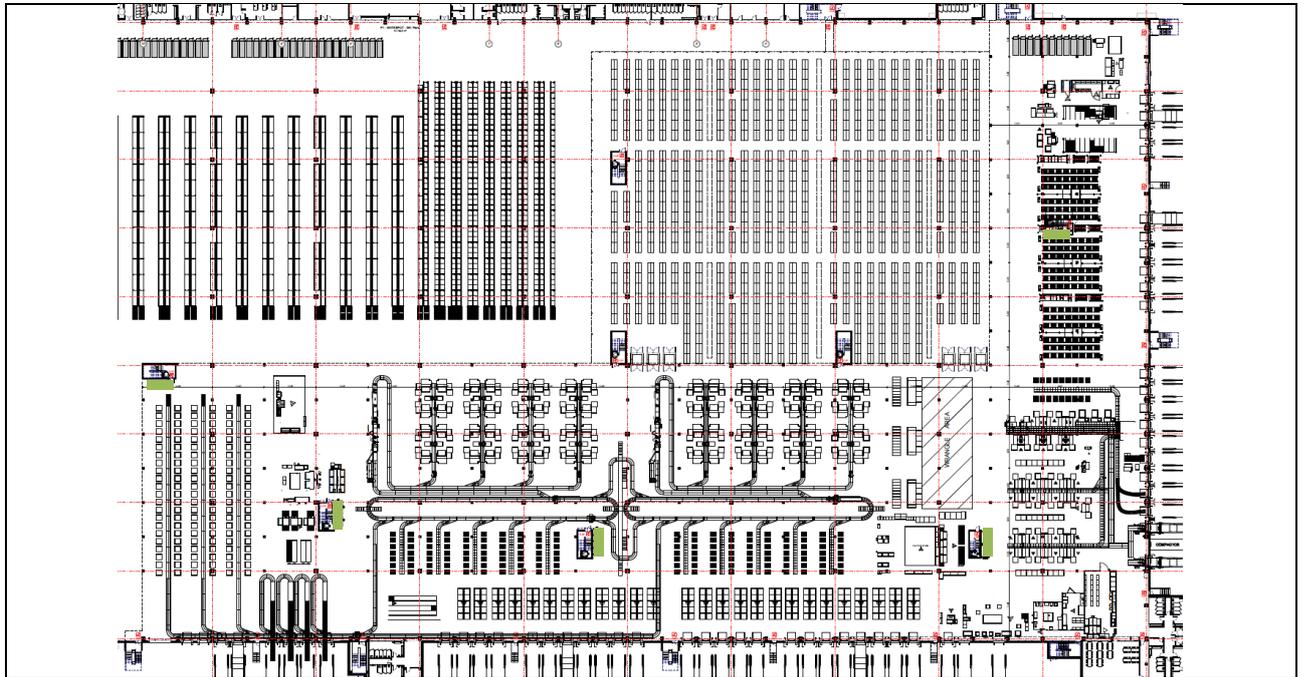


Figure 6-8 : Position du désenfumage sous mezzanine (rectangles verts)

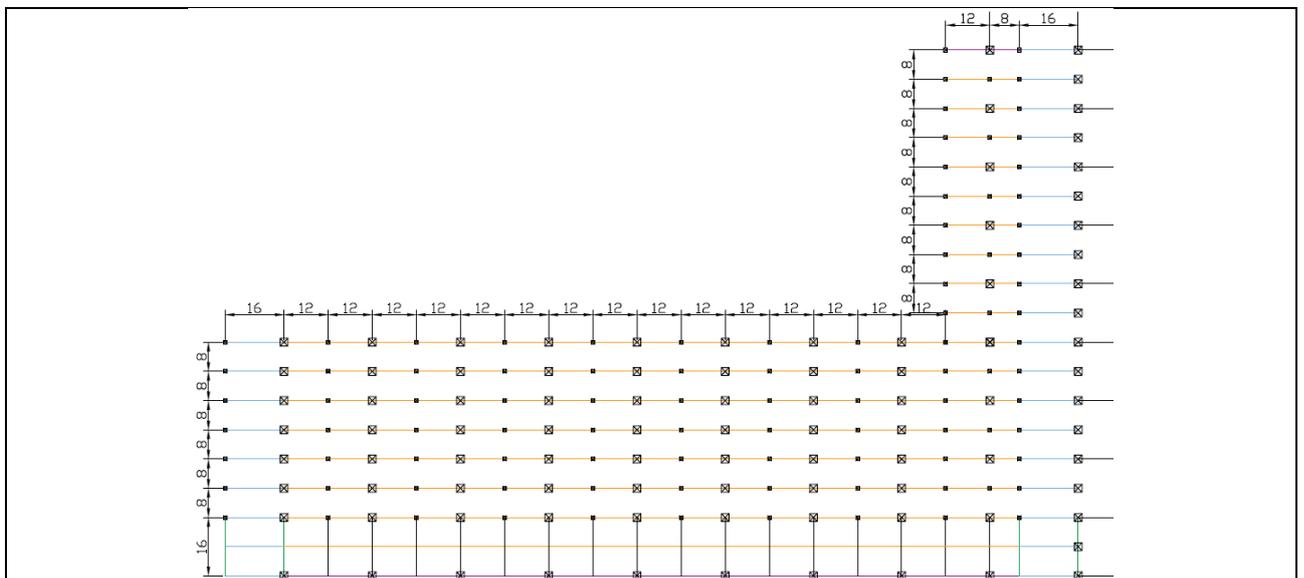


Figure 6-9 : Poutraison de la mezzanine[18]

6.7.5. Amenées d'air

Les amenées d'air sont réalisées par les portes de quai se trouvant réparties sur deux façades du bâtiment. Il est considéré qu'au moins 50% des portes de quai peuvent être utilisées pour réaliser l'apport d'air. La figure ci-dessous présente la répartition de ces amenées d'air (encadré en vert).

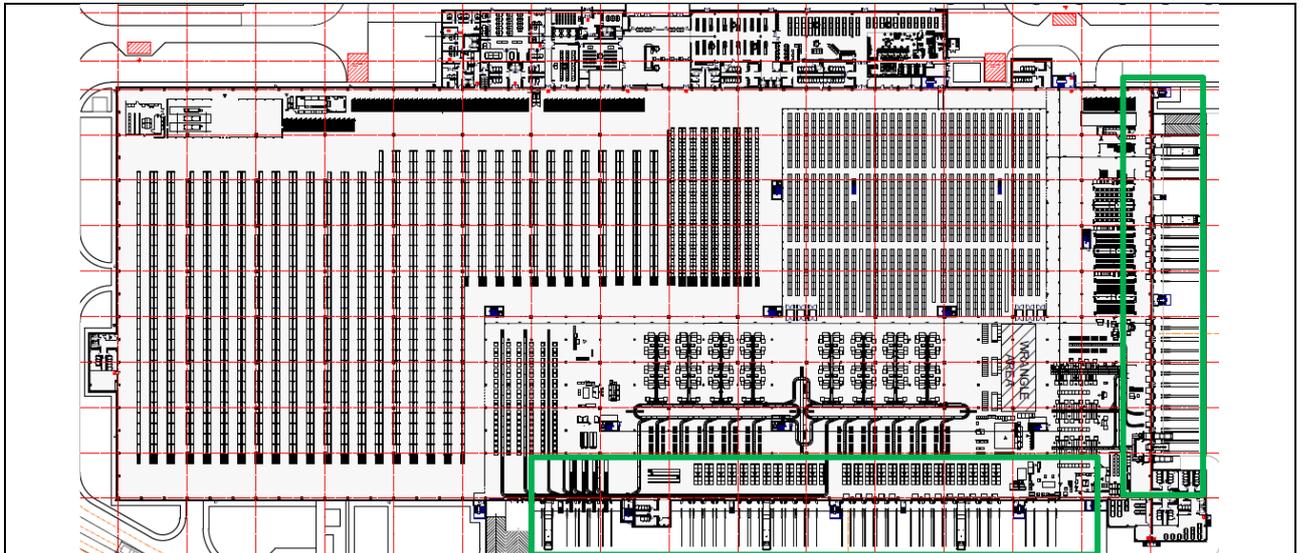


Figure 6-10 : Position des portes de quai servant d'amenées d'air

6.7.6. Stratégie de désenfumage

Suivant la position de l'incendie différentes stratégies de désenfumage seront adoptées. La stratégie de désenfumage suivante est proposée.

Si le feu démarre dans la zone de stockage rack ou VNA :

- **Désenfumage** : Activation des exutoires se trouvant au-dessus des racks/VNA 5 minutes après le départ de feu. Cette temporisation permet une activation du système de sprinklage préalablement au désenfumage. Le reste des exutoires en toiture est activé progressivement en fonction de la propagation des fumées dans le niveau par détection ou manuellement depuis le PC de sécurité.
- **Amenée d'air** : Ouverture des portes de chargement par action manuelle du personnel de sécurité après déclenchement de l'alarme.

Si le feu démarre sous la mezzanine :

- **Désenfumage** : Activation du désenfumage (mécanique ou naturel suivant la configuration) 5 minutes après le départ de feu. Cette temporisation permet encore une fois une activation du système de sprinklage préalablement au désenfumage. Les exutoires en toiture sont activés manuellement depuis le PC si les conditions d'enfumages le nécessitent.
- **Amenée d'air** : Ouverture des portes de chargement par action manuelle du personnel de sécurité après déclenchement de l'alarme.

Si le feu démarre dans les pick towers :

- **Désenfumage** : Activation du désenfumage naturel dans tous les cantons au-dessus des pick towers 5 minutes après le départ de feu. Cette temporisation permet encore une fois une activation du système de sprinklage préalablement au désenfumage. Le reste des exutoires en toiture sont activés progressivement en fonction de la propagation des fumées dans le niveau par détection ou manuellement depuis le PC de sécurité.
- **Amenée d'air** : Ouverture des portes de chargement par action manuelle du personnel de sécurité après déclenchement de l'alarme.

La figure ci-dessous présente les cantons à activer en fonction de la position du départ de feu

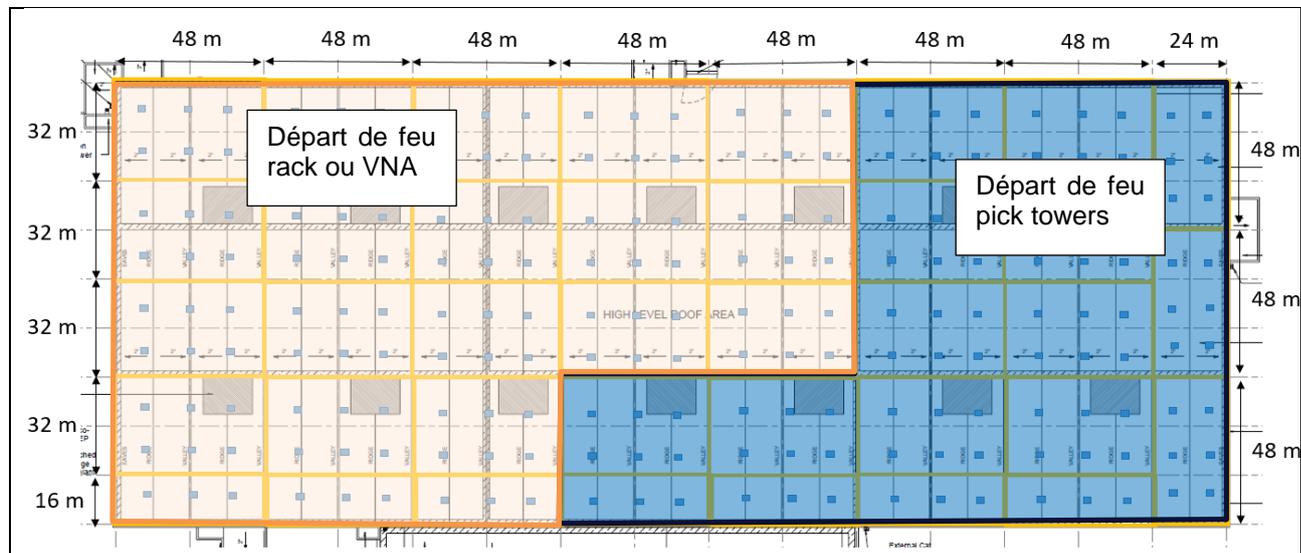


Figure 6-11 : Zone de désenfumage à activer en fonction du départ de feu

7. PRESENTATION DES SCENARIOS INCENDIE ETUDIES

Cette partie consiste à identifier les scénarios d'incendie les plus critiques vis à vis des différents objectifs investigués lors des phases 0 à 2 identifiées au § 3.1 Ces feux sont définis sur la base des potentiels calorifiques présents dans le bâtiment et des moyens de protection mis en place.

Le niveau sous mezzanine, étant une zone de process, il ne dispose pas d'une densité de combustible importante. Néanmoins, le désenfumage mis en œuvre nécessite la vérification des conditions d'évacuation. Un scénario sur une zone de process avec maîtrise du feu par système de sprinklage sera prospecté.

Le stockage en pick tower entraine une concentration importante de combustible dans le bâtiment, cinq scénarios dans les pick towers seront prospectés :

- Un scénario au RDC dans la pick tower de 5 niveaux avec maîtrise du feu par système de sprinklage ;
- Un scénario au RDC dans la pick tower de 5 niveaux sans maîtrise du feu par système de sprinklage ;
- Deux scénarios sur la mezzanine à deux positions différentes ;
- Un scénario sur la mezzanine sans maîtrise du feu par système de sprinklage.

En dehors des mezzanines et pick tower, du stockage traditionnel en rack et densifié en VNA peuvent également représenter une source de départ de feu. Il est proposé d'étudier deux scénarios au niveau des VNA qui se trouvent proches de mezzanines :

- Feu de VNA avec maîtrise du feu par système de sprinklage ;
- Feu de VNA sans maîtrise du feu par système de sprinklage.

7.1. CAS PARTICULIER DE LA PRISE EN COMPTE D'UN SYSTEME D'EXTINCTION AUTOMATIQUE GENERALISE

Quand on souhaite prendre en compte l'impact du système de sprinklage sur l'incendie, il est considéré habituellement que le feu est maîtrisé (si non éteint) dès lors que la 5^{ème} tête de sprinkler est activée (la référence [11] indique que des statistiques du Comité Européen des Assurances montrent que 75 % des feux sont contrôlés par l'activation d'au plus 5 têtes et des statistiques de Nouvelle Zélande montrent que 93 % des feux sont contrôlés par l'activation d'au plus 6 têtes). Ainsi, l'hypothèse que la propagation est arrêtée lorsque la 5^{ème} tête de sprinkler est activée sera utilisée. Cette hypothèse est conservative, dans la plupart des incendies, le feu est contrôlé avec moins de 5 têtes de sprinkler. Cette hypothèse sera prise en compte dans les scénarios et modélisations par une limitation de la puissance (état stationnaire) pouvant être développée au cours de l'incendie.

Afin de connaître le temps à partir duquel le feu est maîtrisé par les sprinklers et le débit calorifique correspondant, les corrélations d'Alpert sont utilisées, ainsi qu'un modèle prenant en compte le RTI (Response Time Index) des sprinklers. Les corrélations d'Alpert permettent d'évaluer les flux et températures obtenus au niveau du plafond d'un local en feu. Les formules utilisées sont présentées en ANNEXE A.

7.2. DESCRIPTION DES SCENARIOS

7.2.1. Scénario 1 : Feu de process au niveau P1 avec maitrise par le sprinkler

S'agissant d'une zone « process », le niveau P1 ne comprend pas de fortes densités de matériaux. Sous la mezzanine la hauteur est de 5,5 m, d'une manière sécuritaire on considèrera que le sprinkler se trouve à cette hauteur.

Pour ce scénario, une cinétique de développement « Rapide » sera utilisée. Celle-ci correspond à une puissance de 1 MW après 2 min 30 s d'incendie. Cette hypothèse constitue une approche sécuritaire au regard de l'environnement rencontré en zone « process ».

Pour ce scénario, il est considéré que le déclenchement du système de sprinkler permet de contrôler l'incendie. La puissance de l'incendie est donc déterminée à partir du temps d'activation du système de sprinkler. On considère une température d'activation du sprinkler de 68 °C et un maillage de 3,6 m x 3,6 m. La corrélation d'Alpert permet de calculer la température sous un plafond et de déterminer ainsi à quel temps la température d'activation de 68 °C est atteinte à la 5^{ème} tête de sprinkler. Cette formule a été utilisée pour déterminer que le sprinkler stoppe la propagation du feu après 371 secondes (en prenant en compte le RTI du sprinkler).

La puissance stationnaire de l'incendie pour ce scénario est donc de 6,1 MW. En ordre de grandeur, cette puissance est équivalente à la propagation d'un incendie pleinement développé dans une zone de bureau ou de process de 25 m².

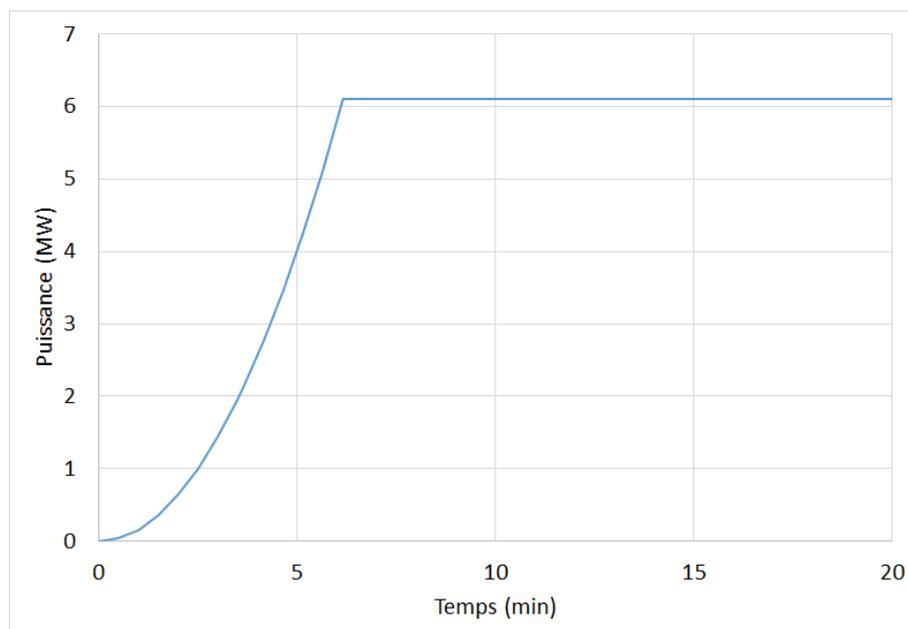


Figure 7-1 : Puissance de l'incendie pour le scénario 1 (maitrisé par le sprinkler)

7.2.2. Scénario 2 : Feu de stockage de type pick tower au 1^{er} étage avec maitrise par le sprinkler

Pour ce scénario on considère que l'incendie débute à un rayonnage de pick tower et se propage progressivement le long de celui-ci. Une cinétique de développement « Rapide » sera utilisée, représentative du combustible pouvant se trouver dans les entrepôts de type 1510.

Un système de sprinklage est installé dans chaque niveau de pick tower permettant ainsi de considérer qu'en cas de départ de feu, l'incendie est maitrisé par le sprinkler.

On considère une température d'activation du sprinkler de 68 °C et un maillage de 2,4 m x 2,4 m et une hauteur de 3 m (correspondant à la hauteur de pick tower au 1^{er} étage). A partir de la corrélation d'Alpert le temps de maitrise de l'incendie par le sprinkler a été estimé à 227 secondes (en prenant en compte le RTI du sprinkler).

La puissance stationnaire de l'incendie pour ce scénario est donc de 2,3 MW. En ordre de grandeur, cette puissance est équivalente à la propagation d'un incendie pleinement développé dans une zone de bureau ou de process de 9 m².

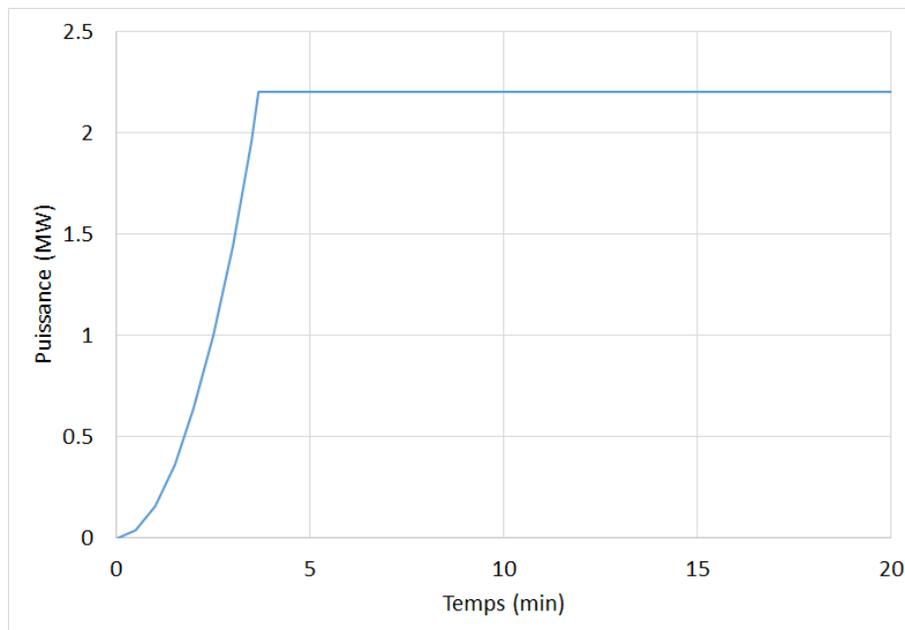


Figure 7-2 : Puissance de l'incendie pour le scénario 2 (maîtrisé par le sprinkler)

7.2.3. Scénarios 3 et 4 : Feu de stockage de type pick tower au 3^{ème} étage avec maîtrise par le sprinkler

Les étages supérieurs des pick towers (3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} étages), disposent d'un stockage semblable aux niveaux inférieurs (P1 et 1^{er} étage) avec une hauteur sous niveau plus faible (2,5 m). Il est proposé d'étudier un scénario dans ce niveau pour quantifier l'impact de cette différence.

La cinétique de développement est identique à celle proposée pour le scénario 2, à savoir « Rapide ».

On considère une température d'activation du sprinkler de 68 °C, un maillage de 3 m x 3 m et une hauteur de 2,5 m (correspondant à la hauteur de pick tower au 3^{ème} étage). A partir de la corrélation d'Alpert le temps de maîtrise de l'incendie par le sprinkler a été estimé à 200 secondes (en prenant en compte le RTI du sprinkler).

La puissance stationnaire de l'incendie pour ce scénario est donc de 1,9 MW. En ordre de grandeur, cette puissance est équivalente à la propagation d'un incendie pleinement développé dans une zone de bureau ou de process de 7,6 m².

Ce scénario sera étudié pour deux positions.

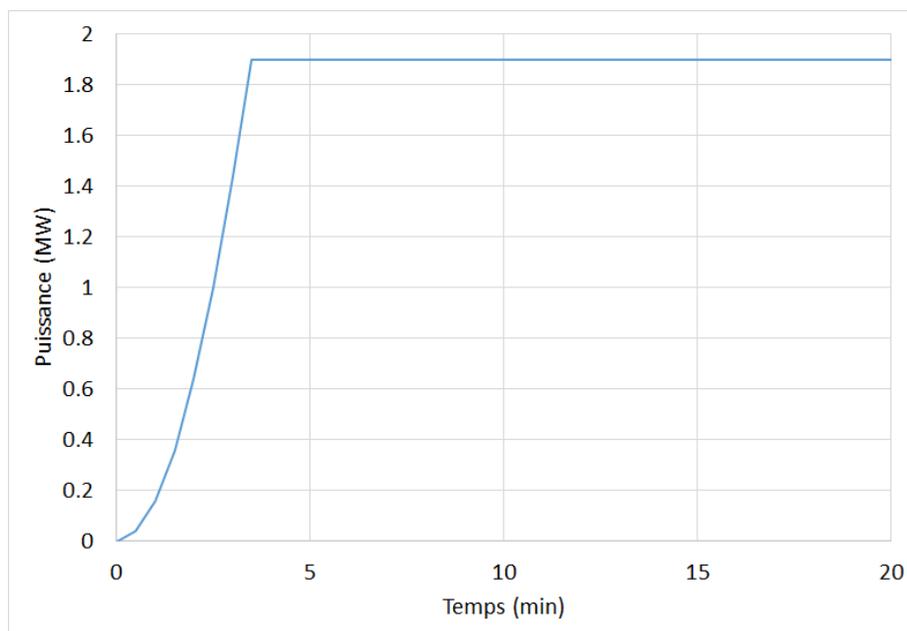


Figure 7-3 : Puissance de l'incendie pour les scénarios 3 et 4 (maîtrisé par le sprinkler)

7.2.4. Scénarios 5 et 6 : Feu de stockage de type pick tower non maîtrisé par le sprinkler

Ces scénarios consistent à reprendre le même développement de feu que pour les scénarios 2 et 4 mais sans limitation de leur développement par le système d'extinction automatique à eau de type sprinkler afin de conduire à une situation dégradée. Une limitation de la puissance de l'incendie liée à la modélisation pourra néanmoins être prise en compte en fonction des hypothèses liées aux extractions de fumées et aux amenées d'air en dépassant toutefois largement les débits calorifiques maîtrisés par le sprinkler.

Les positions de départ de feu sont identiques à celles proposées pour les scénarios 2 et 4.

7.2.5. Scénario 7 : Feu dans la VNA avec maîtrise par le sprinkler

Un feu dans un rack de grande hauteur a la capacité de se développer rapidement verticalement avant l'activation du sprinkler et le contrôle de l'incendie. Dans cette situation, une cinétique de développement de feu Ultra-Fast est utilisée, celle-ci induit une puissance de 1,0 MW après 75 secondes d'incendie.

Un système de sprinkler est installé dans les VNA à une hauteur de 9 m, il est considéré dans ce scénario que ce système de sprinkler permet de maîtriser la puissance du feu.

Pour déterminer à quelle puissance cet incendie est maîtrisé, un modèle numérique simplifié a été réalisé au niveau de la zone VNA (Cf. ANNEXE C). En prenant en compte une température d'activation de 68 °C, un maillage de 2,6 m x 2 m et une hauteur de 9 m, l'incendie est maîtrisé par le système de sprinkler après 270 secondes.

La puissance stationnaire de l'incendie pour ce scénario est donc de 13 MW.

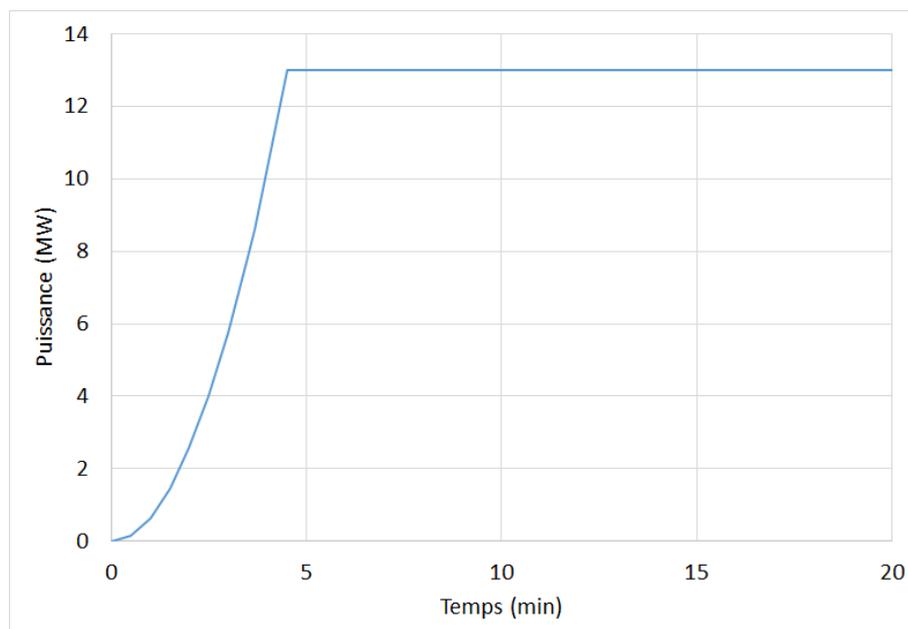


Figure 7-4 : Puissance de l'incendie pour le scénario 7 (maîtrisé par le sprinkler)

7.2.6. Scénario 8 : Feu dans la VNA sans maîtrise par le sprinkler

Ce scénario consiste à reprendre le même développement de feu que pour le scénario 7 mais sans limitation de son développement par le système d'extinction automatique à eau de type sprinkler afin de conduire à une situation dégradée. Une limitation de la puissance de l'incendie liée à la modélisation pourra néanmoins être prise en compte en fonction des hypothèses liées aux extractions de fumées et aux amenées d'air en dépassant toutefois largement les débits calorifiques maîtrisés par le sprinkler.

7.3. COMBUSTIBLE

Les combustibles utilisés sont représentatifs des produits pouvant se trouver dans les entrepôts de stockage. On considèrera donc un combustible hétérogène composé à 50 % de matériaux cellulosique (bois, carton...) et à 50 % de matériaux à base de polyuréthane (plastiques). Ce combustible produit une quantité importante de fumées et de gaz toxiques.

7.4. POSITION DES SCENARIOS

Les figures suivantes présentent les positions retenues pour les différents scénarios présentés dans les paragraphes précédents.

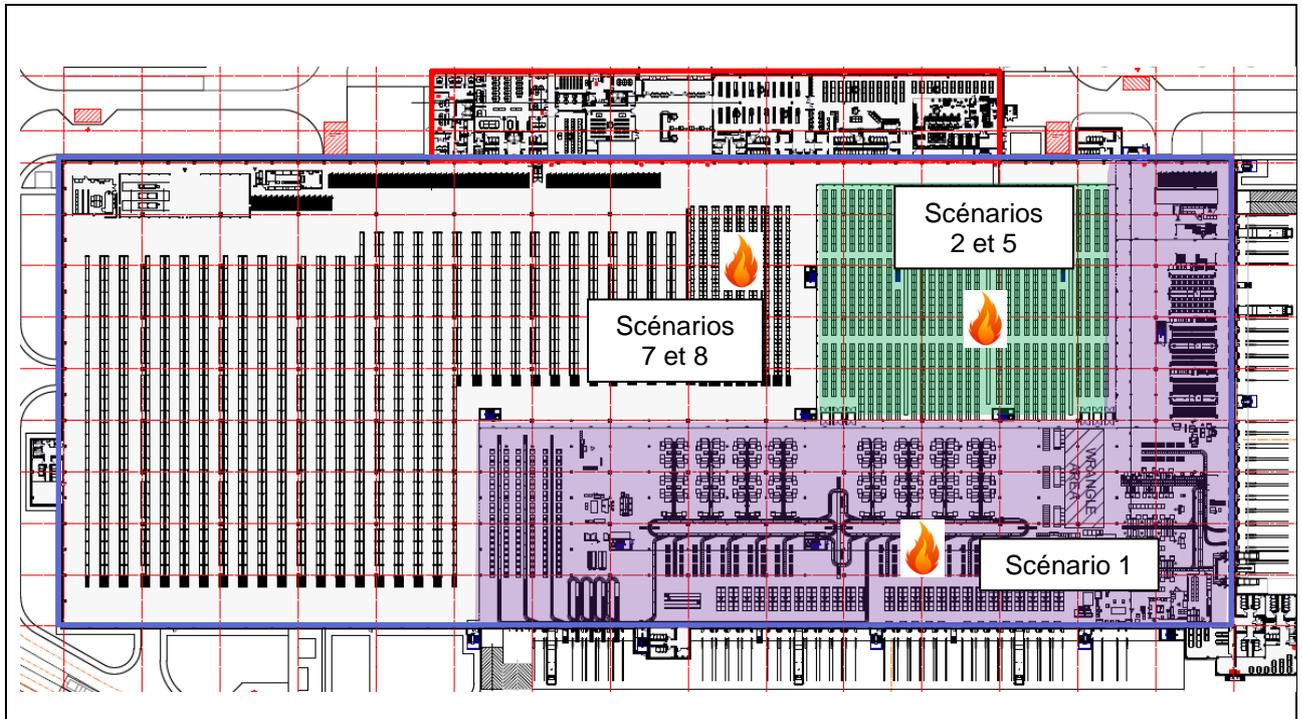


Figure 7-5 : Position des scénarios au niveau P1

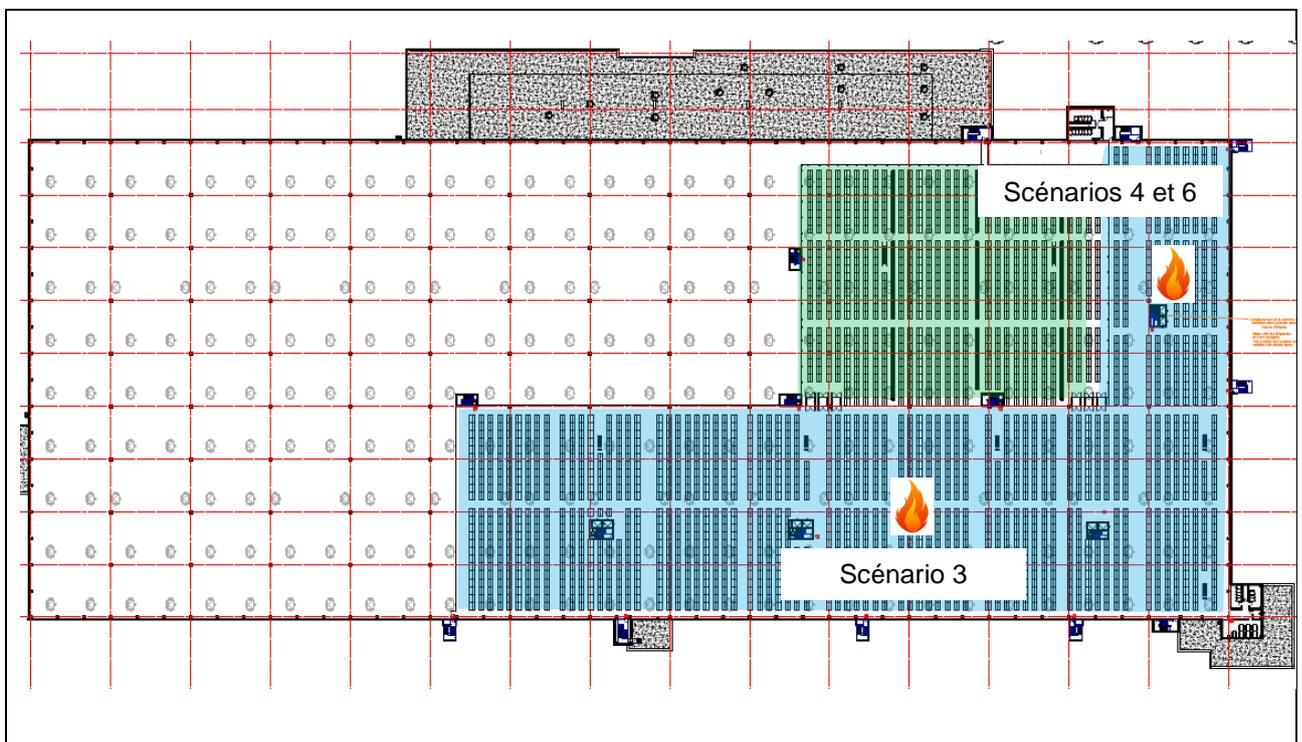


Figure 7-6 : Position des scénarios sur la mezzanine (3^{ème} étage)

7.5. SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS ETUDIÉS

Le tableau ci-dessous résume les propriétés des scénarios incendie proposés :

Scénario	Maîtrise par le système sprinkler	Cinétique	Puissance maximale de l'incendie (MW)	Position
1*	Oui	Rapide	6,1	Sous la mezzanine
2	Oui		2,3	P1 dans la pick tower de 5 niveaux
3	Oui		1,9	Sur la mezzanine dans la pick tower de 3 niveaux
4	Oui		1,9	Sur la mezzanine dans la pick tower de 3 niveaux
5	Non		Pas de limitation	P1 dans la pick tower de 5 niveaux
6	Non		Pas de limitation	Sur la mezzanine dans la pick tower de 3 niveaux
7	Oui	Très Rapide	13	Dans la VNA
8	Non		Pas de limitation	

Tableau 7-1 : Synthèse des scénarios étudiés

**Ce scénario est étudié avec deux configurations de désenfumage.*

Pour rappel, dans la suite du document, le référentiel temps est défini à partir d'un t0 correspondant au départ de feu.

8. ESTIMATION DU TEMPS D'EVACUATION

Dans cette partie, on s'attache à calculer les temps d'évacuation de façon analytique ainsi qu'à l'aide d'outils avancés afin de pouvoir proposer une approche robuste. Lorsque les deux approches sont mises en œuvre pour calculer les temps d'évacuation, les résultats donnant des temps d'évacuation les plus longs seront retenus par la suite pour les analyses afin de proposer une démarche sécuritaire.

Le comportement humain ou l'environnement du lieu de travail est pris en compte de manière indépendante dans chaque temps élémentaire décrit par la suite. Chaque durée est estimée de façon sécuritaire, ainsi, il n'est pas retenu de coefficient de pondération global sur le temps d'évacuation final.

Les temps d'évacuation calculés sont les temps nécessaires pour que les personnes franchissent un élément de compartimentage permettant aux personnes d'être en sécurité des effets de l'incendie. Pour les niveaux supérieurs, on considère que le personnel n'est en sécurité qu'une fois qu'il a atteint une issue du niveau RDC dans le cas où il emprunterait les escaliers encloués intérieurs.

8.1. CALCUL ANALYTIQUE

L'évaluation de la durée d'évacuation est déterminée sur la base d'une addition de durées élémentaires d'évacuation déterminées par une méthode simplifiée. Cette approche prend en compte une durée sécuritaire pour chaque durée élémentaire et permet d'obtenir le temps auquel la dernière personne quitte le bâtiment.

La durée nécessaire à l'évacuation des personnes présentes dans le bâtiment peut être décomposée en plusieurs temps élémentaires (dont les dénominations sont reprises du document [12]) :

- Le temps de détection et de mise en alerte (Δt alarme) : c'est le temps nécessaire à la détection de l'incendie et au déclenchement de l'alerte sonore. En moyenne, on considère **4 minutes** en prenant en compte une durée de 1 minute pour la détection et 3 minutes avant l'activation de l'alarme correspondant à la levée de doute. La valeur de 1 minute pour la détection est sécuritaire sachant que la détection est réalisée par un système de détection par aspiration et que son activation sera quasi immédiate du fait des quantités importantes de fumées produites en se basant sur les scénarios retenus dans le cadre de cette étude. **La temporisation de 3 minutes correspondant à la levée de doute pourra faire l'objet d'une adaptation en fonction des résultats de simulation.**
- Le temps de prise de conscience et de réaction (Δt pré-mouvement) : c'est le temps nécessaire aux occupants pour comprendre la situation, réagir et décider de se mettre en mouvement. Des formations spécifiques étant réalisées et des exercices réguliers d'évacuation du personnel étant effectués, on estime cette durée autour de **1 minute**. Des personnes à proximité du feu (contact visuel ou odeur de fumées) réagiront plus rapidement (**30 secondes**).
- Le temps de parcours (Δt mouvement) : c'est le temps nécessaire pour atteindre une issue de secours. Il est fonction des distances de parcours pour atteindre les différentes sorties. On se base sur une vitesse de déplacement des personnes de 1 m/s⁷, ce qui est une valeur usuelle généralement prise en compte par Efectis France.

Au niveau RDC, la distance à parcourir en considérant les cheminements d'évacuation disponibles est inférieure à 150 m au maximum pour atteindre une issue, soit un temps de parcours de 150 secondes.

Dans les niveaux supérieurs, on distingue :

- Le temps de parcours horizontal pour atteindre une issue (escaliers intérieurs ou extérieur), qui est de 60 secondes, la distance de parcours maximal étant de 60 m ;
- Le temps de parcours vertical pour les personnes empruntant un escalier intérieur, avec une vitesse de déplacement de 0,5 m/s ;
- Le temps de parcours horizontal au RDC pour atteindre une issue de secours.

⁷ Arrêté du 24 décembre 2007 portant approbation des règles de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les gares
NOR : IOCE0804299A



Figure 8-1 : Localisation des issues de secours et cheminement d'évacuation au P1

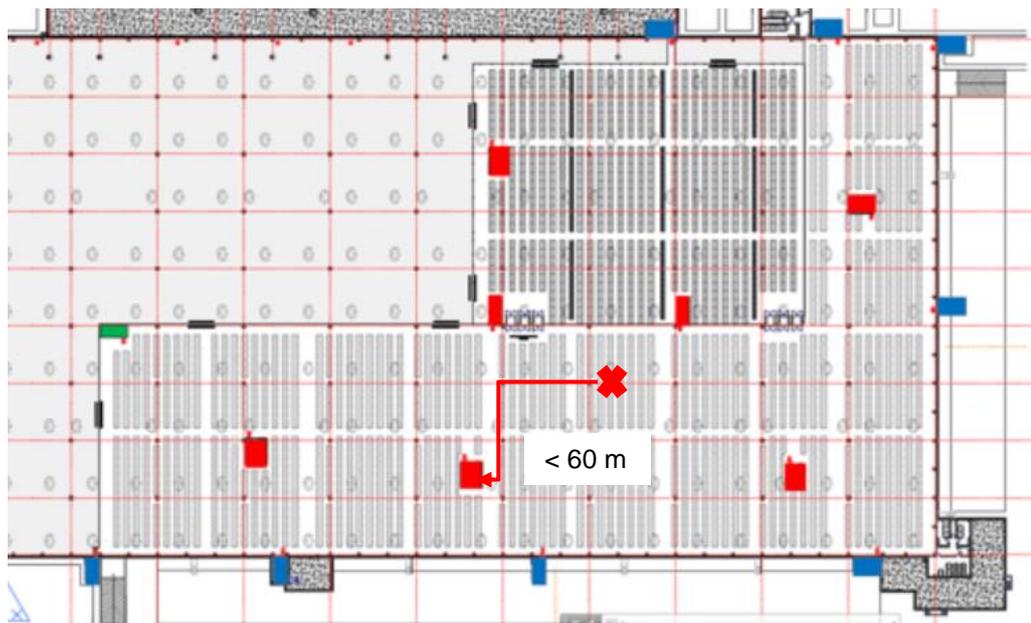


Figure 8-2 : Localisation des issues de secours et cheminement d'évacuation dans les étages supérieurs

Nota : des chariots utiles à la manutention seront présents dans les niveaux de pick towers, il conviendra de rédiger des procédures spécifiques de sorte à ce que les travailleurs puissent se déplacer dans les étages sans être bloqués par la présence de ces chariots en cas d'évacuation suite à détection et alarme.

- Le temps de sortie : c'est le temps nécessaire au passage des portes. Ce temps est fonction de l'effectif présent à chaque niveau et du nombre de sorties disponibles pour l'évacuation. On considère une valeur usuelle de 50 personnes/UP/min (soit 0,8 p/UP/sec).

Compte tenu des 30 UP disponibles dans les niveaux supérieurs pour un effectif de 60 personnes, le temps de sortie est négligeable.

Au niveau RDC, les 337 personnes disposent de 47 UP pour évacuer, ce qui représente un temps de passage de 10 secondes.

Les temps élémentaires pour chaque niveau sont synthétisés dans les tableaux ci-dessous. On distingue dans deux tableaux distincts les personnes proches du départ de feu qui auront un temps de réaction et de détection plus rapide que des personnes sans visibilité directe sur le départ de feu et qui attendraient la diffusion de l'alarme d'évacuation pour réagir.

Durées élémentaires					
Niveau	P1 1 ^{er} niveau PKT	2 ^{ème} niveau PKT	P2 3 ^{ème} niveau PKT	4 ^{ème} niveau PKT	5 ^{ème} niveau PKT
Détection et mise en alerte	60 s + 180 s				
Réaction	60 s				
Parcours en étage	/	60 s			
Sortie en étage	/	0 s			
Temps intermédiaire de mise à l'abri dans les niveaux	/	360 s (6 min)			
Parcours vertical (escaliers intérieurs)	/	30 s	60 s	90 s	120 s
Parcours au RDC	150 s	90 s			
Sortie	10 s	/*			
Total	460 s (7 min 40 s)	480 s (8 min)	510 s (8 min 30 s)	540 s (9 min)	570 s (9 min 30 s)

Tableau 8-1 : Synthèse de la durée d'évacuation dans les différents niveaux de départ de feu avec temporisation de 3 min

*Le temps de passage des issues au niveau RDC pour les personnes venant des niveaux supérieurs est considéré nul, leur évacuation à ce niveau étant différé par rapport au personnel situé au RDC au moment du départ de feu.

Ainsi, on constate que pour des personnes n'ayant pas de visibilité directe du départ de feu et attendant la diffusion de l'alarme sonore d'évacuation après une levée de doute, le temps d'évacuation est compris entre 7 min 40 s (pour les personnes du RDC) et 9 min 30 s (pour les personnes venant des niveaux supérieurs).

Si l'on considère en revanche que l'alarme est diffusée sans temporisation sur détection, on obtient les durées d'évacuation suivantes, comprises entre 4 min 40 s et 6 min 30 s (voir tableau ci-dessous).

Durées élémentaires					
Niveau	P1 1 ^{er} niveau PKT	2 ^{ème} niveau PKT	P2 3 ^{ème} niveau PKT	4 ^{ème} niveau PKT	5 ^{ème} niveau PKT
Détection et mise en alerte	60 s				
Réaction	60 s				
Parcours en étage	/	60 s			
Sortie en étage	/	0 s			
Temps intermédiaire de mise à l'abri dans les niveaux	/	180 s (6 min)			
Parcours vertical (escaliers intérieurs)	/	30 s	60 s	90 s	120 s
Parcours au RDC	150 s	90 s			
Sortie	10 s	/*			
Total	280 s (4 min 40 s)	300 s (5 min)	330 s (5 min 30 s)	360 s (6 min)	390 s (6 min 30 s)

Tableau 8-2 : Synthèse de la durée d'évacuation dans les différents niveaux de départ de feu sans temporisation

8.2. SIMULATIONS AVANCEES AVEC PATHFINDER

De façon à calculer de manière plus précise le temps d'évacuation en fonction de la position des personnes, un logiciel d'évacuation nommé Pathfinder [20] est utilisé, dans sa version 2018. Ce modèle représente le flux de personnes dans un bâtiment et permet de visualiser leur déplacement jusqu'aux issues pendant l'évacuation.

La géométrie du bâtiment (position des issues de secours, obstacles...) et la répartition des personnes à l'intérieur peuvent être modifiées dans le but d'être représentatif de la réelle occupation du bâtiment.

On propose de retenir des hypothèses similaires à celles décrites pour le calcul analytique en ce qui concerne le pré-mouvement du personnel. Ainsi, cette phase ne sera pas liée à l'utilisation du logiciel, qui a pour objectif dans ce cas précis de déterminer le temps de déplacement total en prenant en compte une position aléatoire du personnel dans les différentes zones de la cellule. L'utilisation du logiciel d'évacuation permettra principalement de prendre en compte l'interaction de l'évacuation de chacune des personnes, en limitant leur vitesse de déplacement ou en ralentissant leur passage aux issues, ce type de phénomène étant difficilement modélisable dans le cadre d'une approche analytique et simplifiée.

On présente des vues de la géométrie ci-dessous, qui prend en compte les obstacles au déplacement, ainsi que les escaliers et l'effectif décrit au § 6.3.

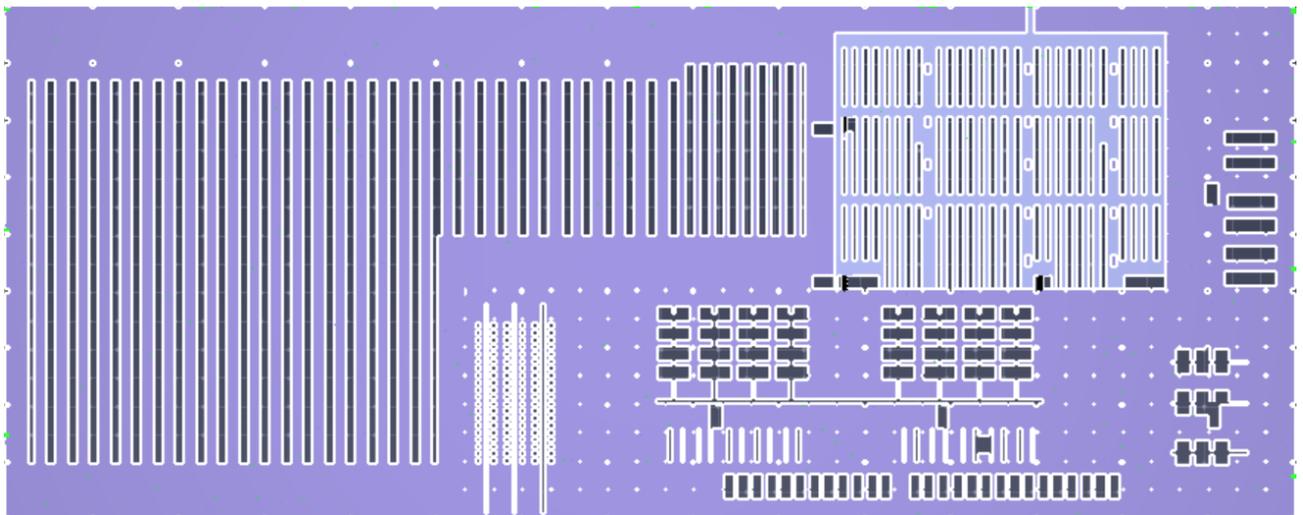


Figure 8-3 : Modélisation du niveau RDC

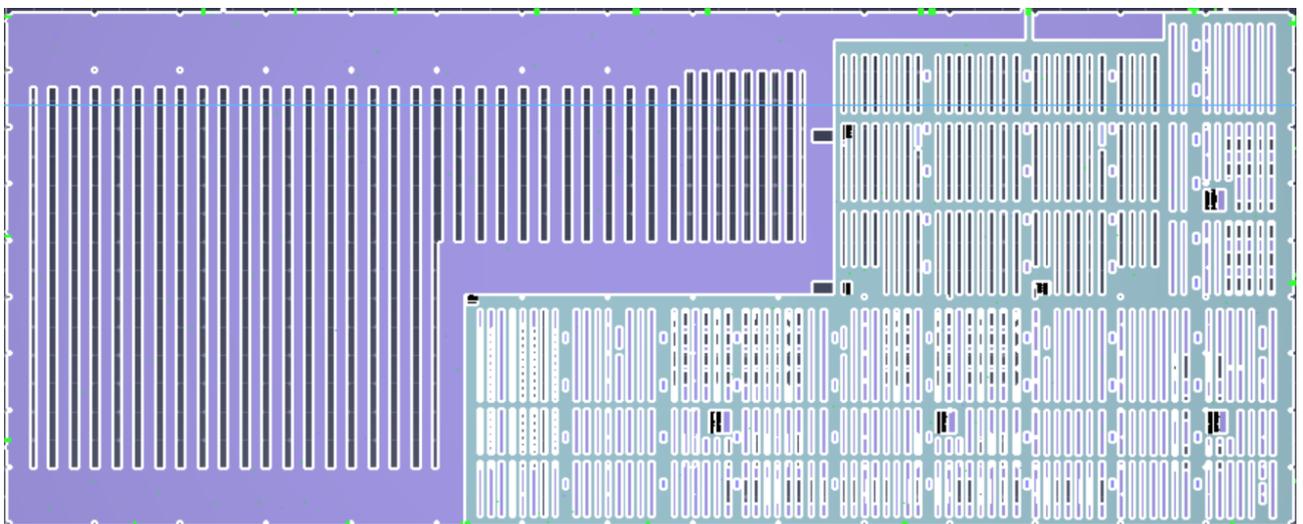


Figure 8-4 : Modélisation des niveaux supérieurs

Le logiciel indique un temps de parcours maximal de 196 secondes pour évacuer l'ensemble des 534 personnes présentes dans le bâtiment. La figure ci-dessous présente l'évolution du nombre de personnes dans le bâtiment au cours du temps.

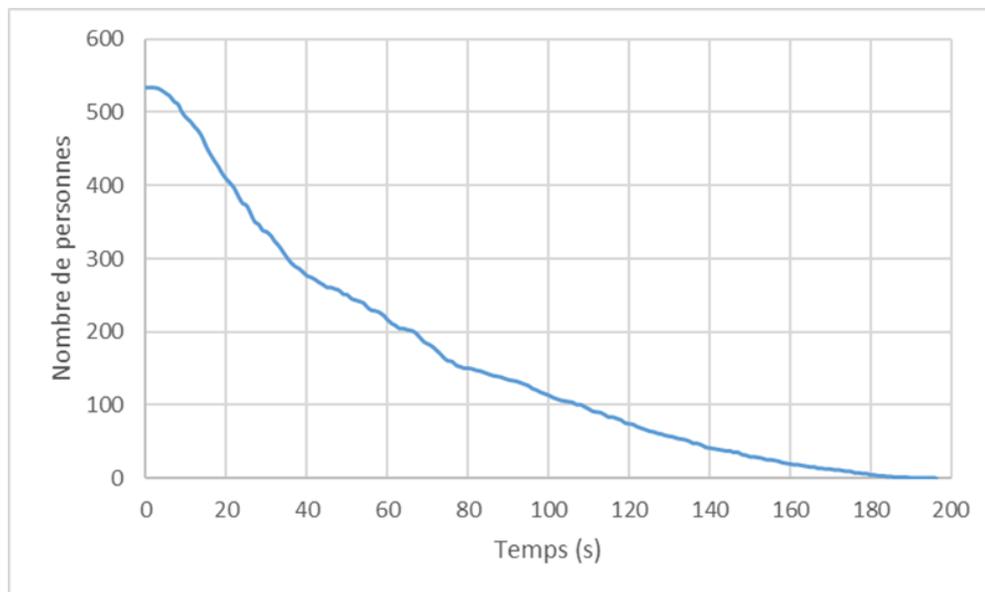


Figure 8-5 : Evolution du nombre de personnes dans le bâtiment au cours du temps

Par ailleurs, le logiciel indique le temps d'évacuation de chaque niveau, c'est-à-dire le temps à partir duquel plus aucune personne ne transite par le niveau. Pour des raisons de modélisation, le personnel empruntant les escaliers à cœur de mezzanine et pick towers repasse par les niveaux inférieurs, ainsi les temps donnés ci-dessous ne correspondent pas au temps d'évacuation des personnes propres au niveau au moment du départ de feu, mais des dernières personnes venant des niveaux supérieurs et transitant par les escaliers encloisonnés.

Le tableau ci-dessous présente les temps maximums observés parmi les 30 simulations effectuées.

	P1 1 ^{er} étage PKT	2 ^{ème} étage PKT	P2 3 ^{ème} étage PKT	4 ^{ème} étage PKT	5 ^{ème} étage PKT
Dernier passage au niveau	196 s	106 s	92 s	75 s	61 s

Tableau 8-3 : Dernier temps de passage aux étages (durée maximale)

Enfin, on présente dans le tableau ci-dessous les temps de parcours maximum pour atteindre une issue à chaque étage (données issues de la simulation se rapprochant des temps maximums obtenus sur les 30 simulations analysées).

	P1 1 ^{er} étage PKT	2 ^{ème} étage PKT	P2 3 ^{ème} étage PKT	4 ^{ème} étage PKT	5 ^{ème} étage PKT
Temps d'évacuation du niveau	196 s	64 s	47 s	46 s	61 s

Tableau 8-4 : Temps d'évacuation du niveau pour une simulation donnée

On constate ainsi que le temps de parcours dans les étages supérieurs est de l'ordre de la minute. Au niveau P1 en revanche, il faut compter presque 200 s pour que toutes les personnes aient évacué.

8.3. SYNTHÈSE

A l'aide du tableau suivant, on effectue la comparaison entre la méthode analytique et la méthode avancée. Comme expliqué précédemment, les temps de détection, mise en alerte et réaction sont considérés identiques pour les deux méthodes, on compare alors seulement le temps de déplacement total, comprenant le temps de parcours et de sortie.

	P1 1 ^{er} étage PKT	2 ^{ème} étage PKT	P2 3 ^{ème} étage PKT	4 ^{ème} étage PKT	5 ^{ème} étage PKT
Méthode analytique	270 s	150 s	120 s	90 s	60 s
Méthode avancée Pathfinder	196 s	106 s	92 s	75 s	61 s

Tableau 8-5 : Dernier temps de passage aux étages - comparatif

Enfin, on présente dans le tableau ci-dessous les temps de parcours maximum pour atteindre une issue à chaque étage (données issues de la simulation se rapprochant des temps maximums obtenus sur les 30 simulations analysées).

	P1 1 ^{er} étage PKT	2 ^{ème} étage PKT	P2 3 ^{ème} étage PKT	4 ^{ème} étage PKT	5 ^{ème} étage PKT
Méthode analytique	270 s	60 s	60 s	60 s	60 s
Méthode avancée Pathfinder	196 s	64 s	47 s	46 s	61 s

Tableau 8-6 : Temps de parcours du niveau - comparatif

On constate que la durée maximale est obtenue avec la méthode analytique, ce sera donc la durée retenue pour l'analyse par la suite dans ce rapport.

9. MODELISATION DE L'INCENDIE

9.1. CODE DE CALCUL UTILISE

Compte tenu de la volumétrie, on utilise le modèle de champ tridimensionnel FDS dans sa version 6.7.0 [10] développé par le National Institute of Standards and Technology (NIST) et utilisé par Efectis France depuis de nombreuses années. Il intègre un modèle de combustion par suivi de la fraction de mélange et un modèle à grandes échelles (LES) pour la description des écoulements turbulents. Il permet de prédire le déplacement des fumées en prenant en compte la nature des combustibles, celle des parois, les effets aérauliques réels (ventilations, exutoires, ...) et des géométries complexes.

Ce code de calcul en dynamique des fluides fournit, en fonction du temps et en tous points, les principaux paramètres suivants :

- Les conditions de visibilité (associée à la présence de suies) ;
- La température des gaz (pour les sollicitations thermiques et les conditions d'évacuation) ;
- La teneur en espèces toxiques.

9.2. GEOMETRIE

Le modèle Fire Dynamics Simulator (FDS) mis en place pour effectuer les simulations est basé sur un maillage cartésien qui a été optimisé du fait de la grande taille de la cellule. Pour représenter au mieux la géométrie du bâtiment et les phénomènes aérauliques, deux tailles de maillages ont été utilisés :

- Maillage de 0,5 x 0,5 x 0,5 m dans les zones de rack et VNA ;
- Maillage de 0,5 x 0,5 x 0,25 m dans les zones avec mezzanines et pick tower.

Le nombre total de mailles est ainsi de 10 millions.

Pour que le maillage représente correctement les différents phénomènes physiques liés à l'incendie, il est nécessaire de vérifier les équations suivantes [10] :

$$4 < \frac{D^*}{\Delta} < 16$$

Où le diamètre caractéristique du foyer D^* est fourni par la relation suivante :

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} C_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5}$$

\dot{Q} : Débit calorifique total (kW)

$\rho_{\infty} = 1,2 \text{ kg/m}^3$: masse volumique de l'air à température ambiante

$C_p = 1,012 \text{ kJ/kgK}$: capacité thermique à pression constante du gaz

$T_{\infty} = 293,3 \text{ K}$: Température ambiante

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$: accélération de la gravité

Et Δ est la taille du maillage choisi

En prenant en compte la plus petite puissance de feu développée dans les différents scénarios (1,9 MW), le coefficient D^*/Δ est de 4,9 ce qui est dans le domaine de validité proposé dans la littérature [10].

Du fait du maillage, certaines adaptations de la géométrie ont été réalisées. La modélisation prend en compte la forme générale du bâtiment ainsi que tous les éléments de structure pouvant représenter des obstacles significatifs aux écoulements (poutres, poteaux...).

De même, la position générale du stockage (rack et rayonnages dans les pick towers) a été représentée de manière simplifiée.

La poutraison a été représentée dans la modélisation comme visible sur les figures ci-dessous.

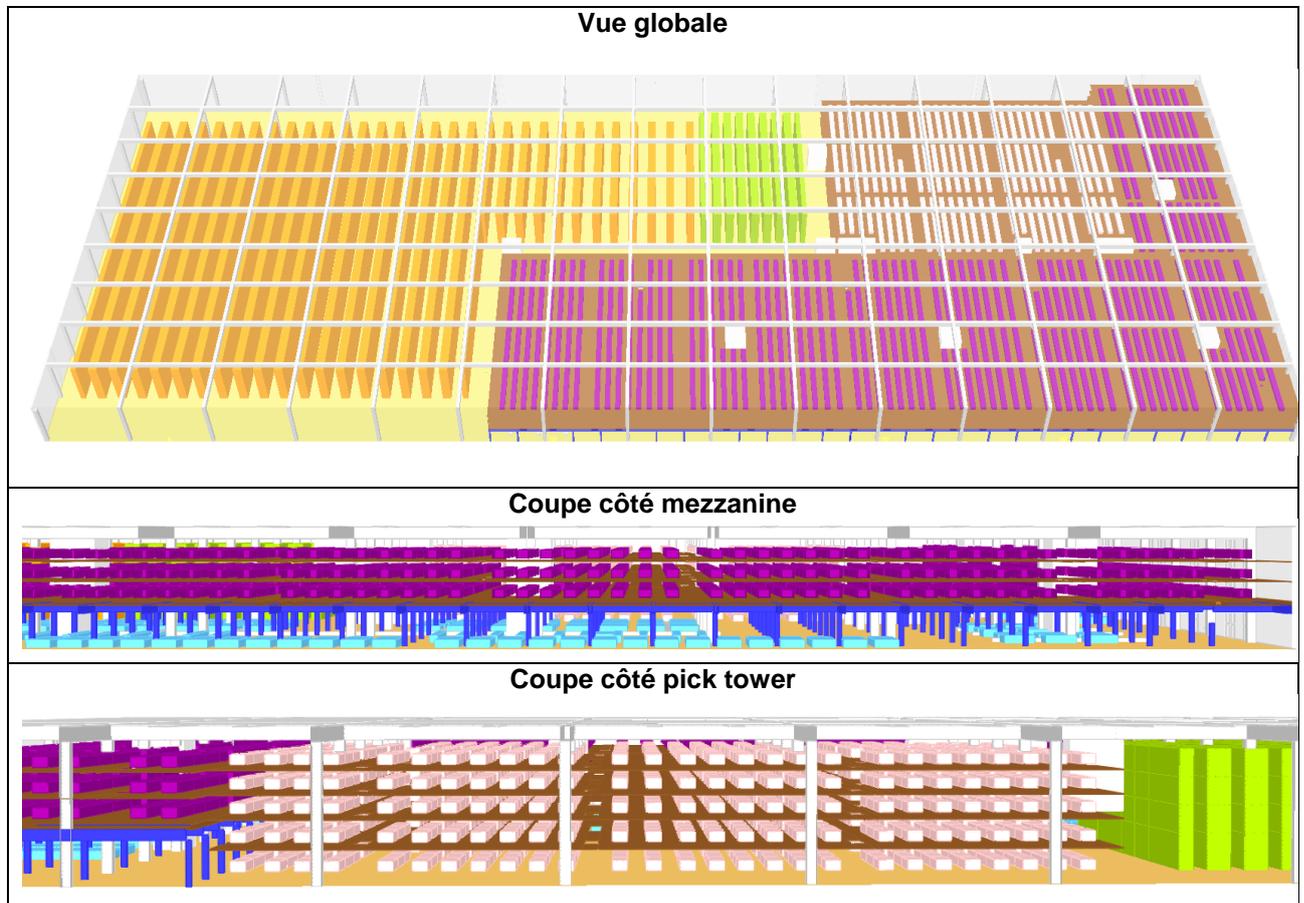


Figure 9-1 : Vue 3D de la modélisation

Remarque : le code de calcul utilisé comme tout code de calcul ne permet pas de modéliser des chutes d'objets en flamme depuis le haut du stockage, ce risque n'étant pas propre au projet mais pouvant se poser pour toutes les configurations d'entrepôts de stockage avec racks et ou mezzanine. Dans tous les cas, dans le cadre des études, on retient des scénarios majorants dont la plupart prennent naissance en rez-de-chaussée pour se développer vers les étages supérieurs ou vers toute la hauteur des racks. Par ailleurs, ; la mezzanine, telle qu'elle est conçue avec un plancher coupe-feu 60 minutes (REI60) ne permettra pas à des objets en flamme retombant depuis le haut du stockage des pick towers de propager le feu dans la zone sous mezzanine ou de perturber l'évacuation du personnel dans cette zone.

9.3. AMENÉES D'AIR ET SYSTEME DE DESENFUMAGE

Le désenfumage présenté au § 6.7 est pris en compte dans la modélisation, les exutoires sont répartis uniformément en toiture ou sous mezzanine suivant le scénario.

Pour les amenées d'air, les ouvertures sont réalisées comme indiqué au § 6.7 sur les façades du bâtiment.

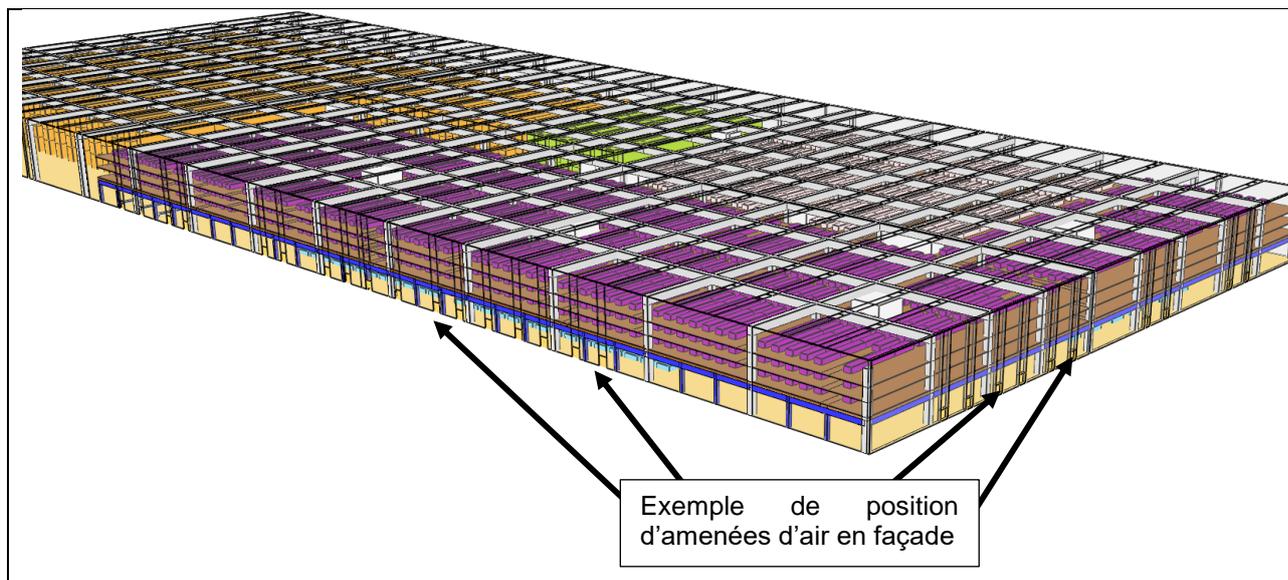


Figure 9-2 : Vue des amenées d'air réparties sur deux façades

La mise en service du désenfumage a lieu à 5 minutes pour le canton au-dessus du départ de feu et de manière successive dans les cantons adjacents avec un délai de 10 secondes. Ce délai est mis en œuvre pour une problématique de convergence numérique.

Remarque :

- Pour tous les scénarios investigués avec prise en compte du contrôle du développement de feu par le système de sprinklage, la prise compte ou non d'amenées d'air ne modifiera en rien les simulations et analyses compte tenu des puissances de feu faibles développées et des grands volumétries associées
- Pour tous les scénarios investigués sans prise en compte du contrôle du développement de feu par le système de sprinklage, les amenées d'air sont modélisées afin de ne pas limiter le développement du feu par manque d'oxygène avec l'outil de calcul, ce qui serait peu représentatif de la réalité car cette typologie d'entrepôt offre une porosité courante et dans un premier temps, cette porosité permettra au feu de se développer en allant chercher de l'air vers les façades si les amenées d'air définies ne sont pas ouvertes. Dans tous les cas, lorsque le feu prendra des proportions importantes, la dégradation partielle des façades et toiture permettra également d'alimenter le feu en oxygène.

9.4. MODELISATION DES FOYERS

La puissance de l'incendie est une donnée d'entrée de la modélisation, elle est prise en compte de manière à suivre les courbes présentées au § 7.

Pour les différents scénarios, les foyers sont représentés comme un bloc avec une puissance surfacique de 250 kW/m². Cette puissance surfacique est représentative d'un combustible mixte comprenant des matériaux cellulosiques et plastiques.

Pour le scénario ne prenant pas en compte l'activation du système de sprinkler, la propagation de l'incendie entre rayonnage ou rack sera réalisée au cours de la simulation sous la condition que le combustible voisin reçoit un flux supérieur à 12 kW/m² [16]. Le développement de ces foyers secondaires suivra la même cinétique que le foyer initial.

Pour faciliter la résolution numérique en cas de feu fortement développé, la modélisation ne représentera pas les 50 cm inférieurs des rayonnages pour permettre à l'air frais de passer en dessous de celles-ci et alimenter le foyer en oxygène. Cette hypothèse est sécuritaire car elle permet de développer une puissance incendie importante.

L'activation du sprinkler ne sera pas modélisée dans les simulations, seul son effet sur la limitation de la puissance totale de l'incendie est pris en compte.

Le combustible utilisé pour les différents scénarios, composé à parts égales de polyuréthane et de bois, a les caractéristiques suivantes :

- Composition : $C_{4,9}H_{6,7}N_{0,5}O_{2,3}$;
- Réaction stœchiométrique : $C_{4,9}H_{6,7}N_{0,5}O_{2,3} + 5,425 O_2 \longrightarrow 4,9 CO_2 + 3,35 H_2O + 0,25 N_2$;
- Taux de production massique de suies : 5,5 % ;
- Taux de production massique de CO : 2,1 % ;
- Chaleur de combustion prise en compte dans les simulations : 20 MJ/kg.

Cette hypothèse, bien que pouvant être différente de celle prise dans les autres éléments du dossier, permet de représenter un combustible fumigène enveloppe (et donc dimensionnant) du type de stockage présent dans l'entrepôt (et notamment des rubriques 1510, 2262 et 2663), que ce soit en termes de production de fumées ou de suies. Ceci est sécuritaire vis-à-vis des objectifs recherchés dans l'étude d'ingénierie du désenfumage.

Ce combustible est également du même type que celui proposé dans le guide de désenfumage du LCPP [12] avec une aggravation du pouvoir fumigène dans le cadre du combustible retenu pour cette étude. Par ailleurs, précisons que le pouvoir fumigène du caoutchouc et celui du polyuréthane sont relativement proches.

Concernant la fraction d'énergie rayonnée par la flamme, c'est celle utilisée par défaut dans FDS qui est conservée soit 0,35.

10. RESULTATS DE MODELISATION

Les simulations sont réalisées pour chacun des scénarios définis précédemment. Leurs analyses permettent de déterminer à chaque instant la visibilité, les températures et la concentration en gaz toxiques (CO) atteinte dans le volume. Ces critères seront principalement analysés à une hauteur de 2 m qui correspond, de manière sécuritaire, à la hauteur d'homme.

Ce chapitre présente les résultats de simulations et les temps d'atteinte des différents critères. Dans le cadre de ces analyses, les temps indiqués ont pour t_0 le départ du feu.

A noter que les résultats ne prennent pas en compte la ruine potentielle des pick towers dont la stabilité au feu est limitée car d'une part, ce point fait l'objet d'une note de principe structurel [21] et d'autre part les études de mode de ruine seront réalisées dans une phase ultérieure du projet et se focaliseront également sur la compatibilité entre l'évacuation du personnel et le temps de ruine des éléments structurels dont les pick towers.

10.1. SCENARIO 1 – FEU DE PROCESS SOUS LA MEZZANINE AVEC MAITRISE PAR LE SPRINKLER

10.1.1. Rappel du scénario étudié

Ce scénario prend en compte un feu dans la zone de process sous la mezzanine avec un désenfumage naturel sous la mezzanine.

Les figures ci-dessous rappellent la courbe de montée en puissance et la localisation du scénario dans la cellule. Il est considéré que le système de sprinkler permet de maîtriser le développement du feu.

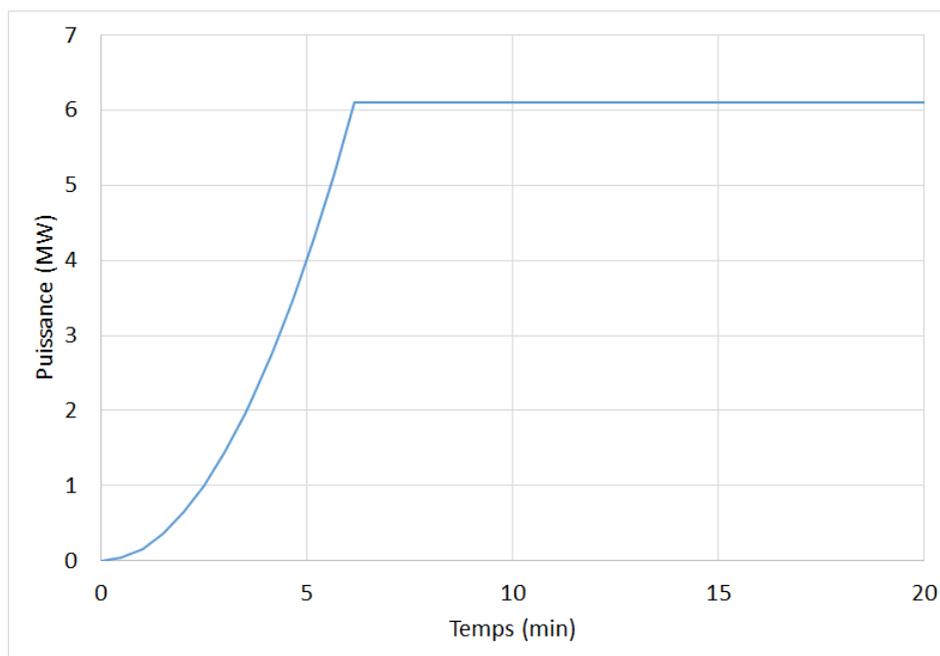


Figure 10-1 : Puissance de l'incendie pour le scénario 1

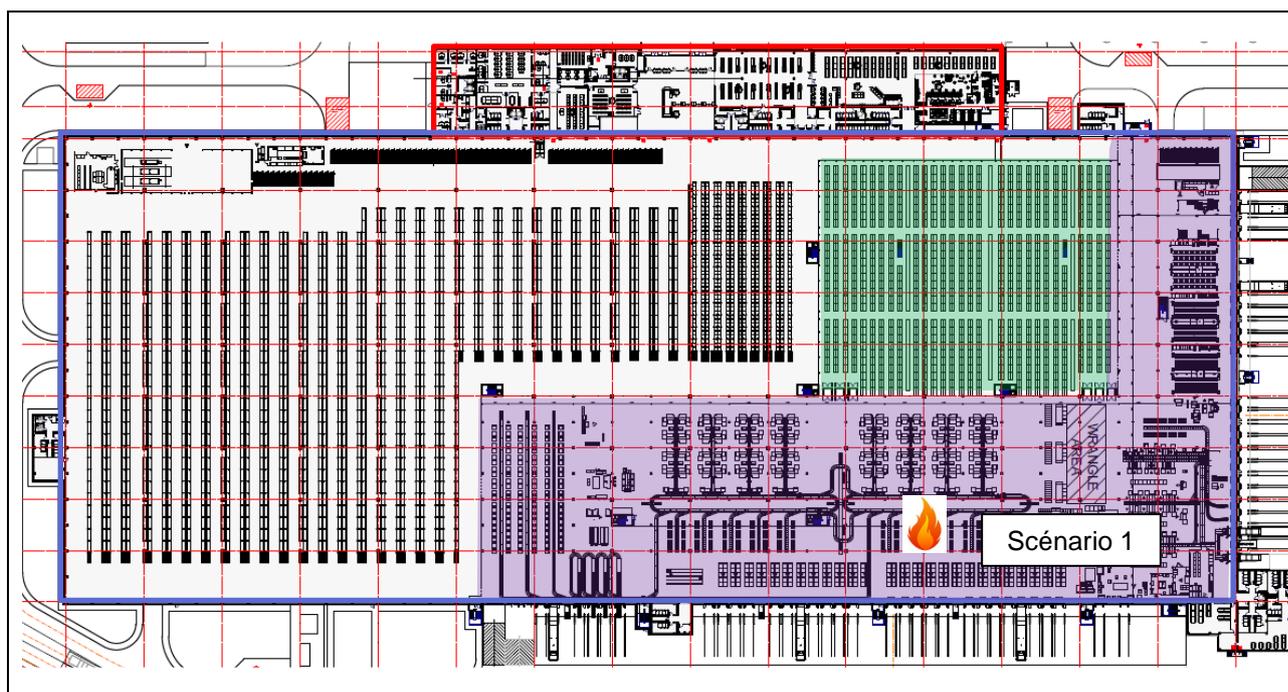


Figure 10-2 : Position du scénario 1 au RDC

10.1.2. Scénario 1 : Feu de process sous la mezzanine avec un désenfumage naturel

10.1.2.1. Coefficient d'extinction

Les figures ci-dessous présentent une coupe du critère de visibilité dans l'axe du foyer. Les fumées restent localisées sous le plafond de la mezzanine et ne retombent pas au niveau P1. Les personnes peuvent donc circuler et rejoindre les sorties de secours.

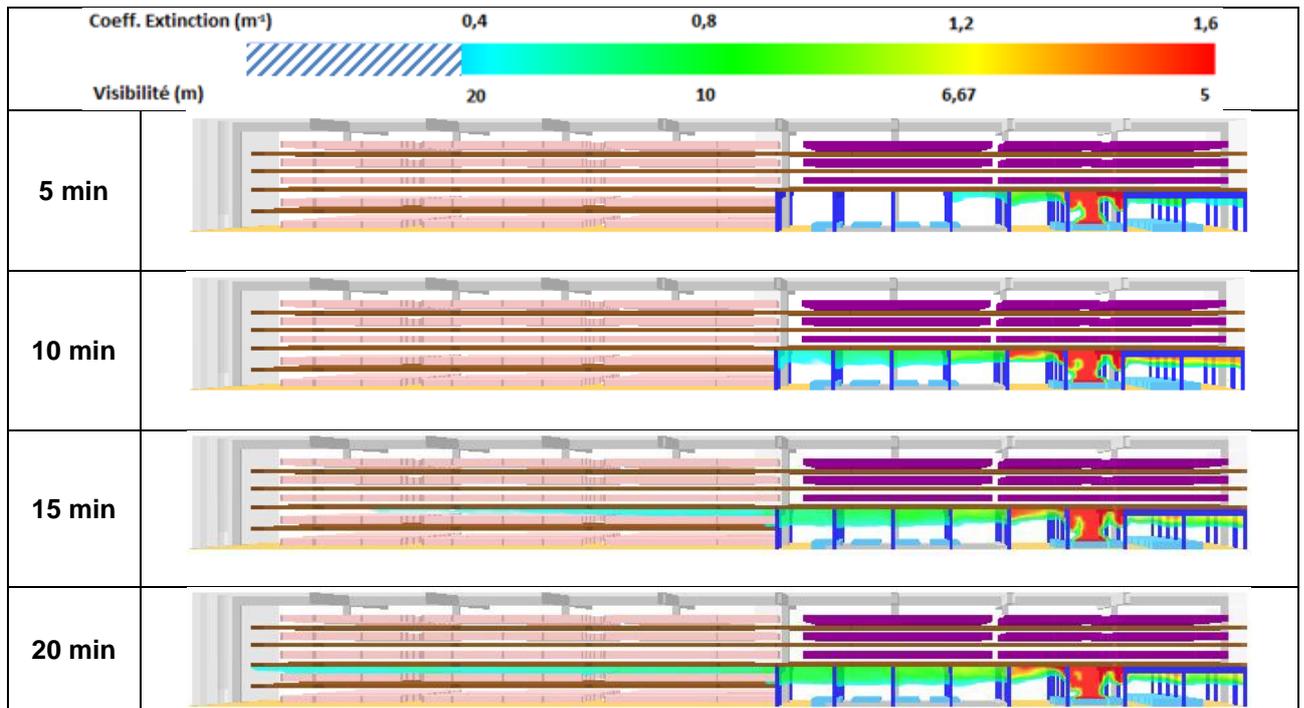
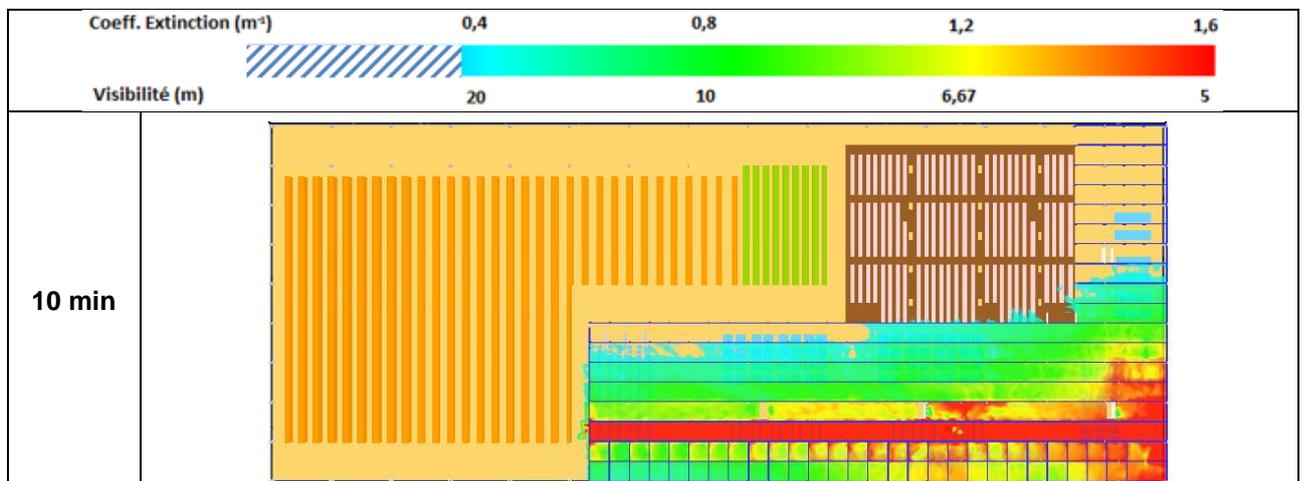


Figure 10-3 : Coupe du critère de visibilité pour le scénario 1

La figure ci-dessous présente le critère de visibilité à hauteur d'homme dans le 2^{ème} étage de la pick tower (+3,00 m). On constate que les fumées produites par le feu sous la mezzanine ne se propagent pas de façon significative dans la pick tower 10 minutes après le départ de feu (elles arrivent en rive de mezzanine et commencent à déborder vers la pick tower et vers la zone des racks). La pick tower commence à être impactée par les fumées à partir de 13 minutes.

Etant donné les temps d'évacuation, les personnes peuvent évacuer celle-ci dans de bonnes conditions. Pour les services de secours, la visibilité reste acceptable pendant plus de 20 minutes, l'état stationnaire du feu et de l'enfumage étant atteints à cet instant pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler.



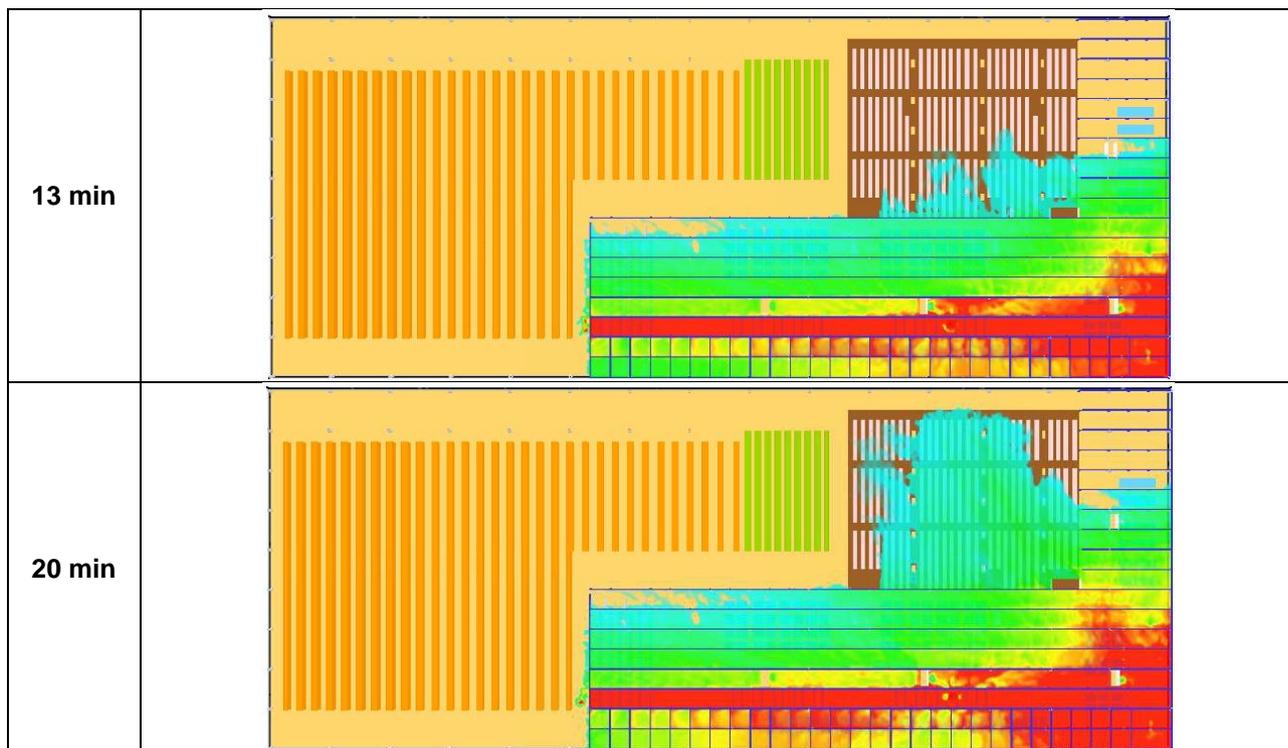


Figure 10-4 : Critère de visibilité dans le 2^{ème} étage de la pick tower

10.1.2.2. Température

La figure ci-dessous présente une coupe verticale de la température après 10 et 20 minutes d'incendie. Le critère de 40 °C pour les personnes n'est pas atteint à hauteur d'homme. Les fumées chaudes restent localisées sous le plafond de la mezzanine.

Les conditions de température sont ainsi compatibles avec l'évacuation du public et l'intervention des secours.

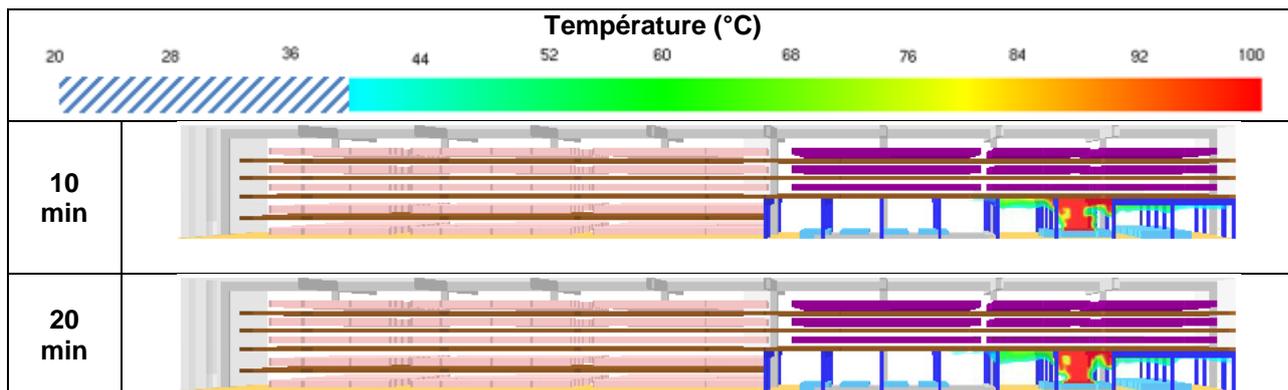


Figure 10-5 : Critère de température pour le scénario 1

10.1.2.3. Concentration en CO

La figure ci-dessous présente une coupe de concentration en monoxyde de carbone après 20 minutes d'incendie. Le seuil de 150 ppm pour les personnes n'est pas atteint en dehors du panache de fumées.

Les concentrations en CO atteintes sont donc compatibles avec l'évacuation du personnel et l'intervention des secours.

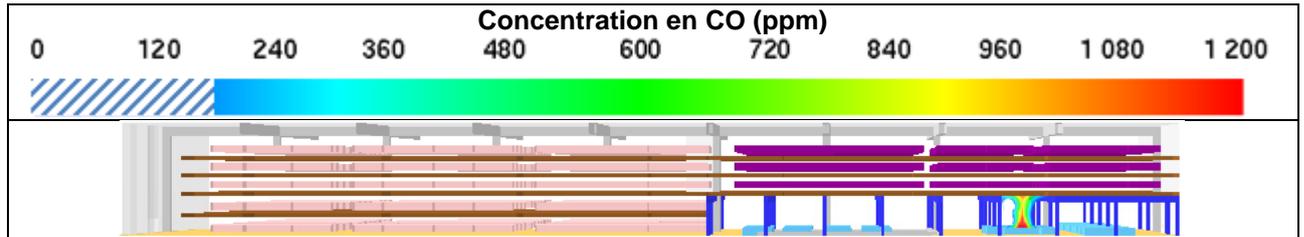


Figure 10-6 : Critère de concentration en CO à 20 minutes pour le scénario 1

10.1.2.4. Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des temps d'atteinte des critères de tenabilité. Aucun critère n'est atteint au niveau du sol, les personnes se trouvant au P1 et dans les différents étages de pick tower peuvent évacuer sans être gênées par les fumées.

Pour le 2^{ème} étage de pick tower, seule la visibilité est réduite et ce après la fin de l'évacuation.

	Visibilité	Température	Concentration en CO
Niveau P1 et 1^{er} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min
2^{ème} étage	13 min localement 19 min sur tout le niveau	> 20 min	> 20 min
3^{ème} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min
4^{ème} étage			
5^{ème} étage			

Tableau 10-1 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les personnes

Pour les services de secours aucun critère n'est atteint pendant 20 minutes de feu.

Pour rappel, pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler, les résultats à 20 minutes représentent l'état stationnaire du feu et de l'enfumage.

10.1.3. Scénario 1bis : Feu de process sous la mezzanine avec un désenfumage mécanique

Ce scénario prend en compte un feu dans la zone de process sous la mezzanine avec un désenfumage mécanique sous la mezzanine. La figure ci-dessous rappelle la localisation du scénario dans la cellule.

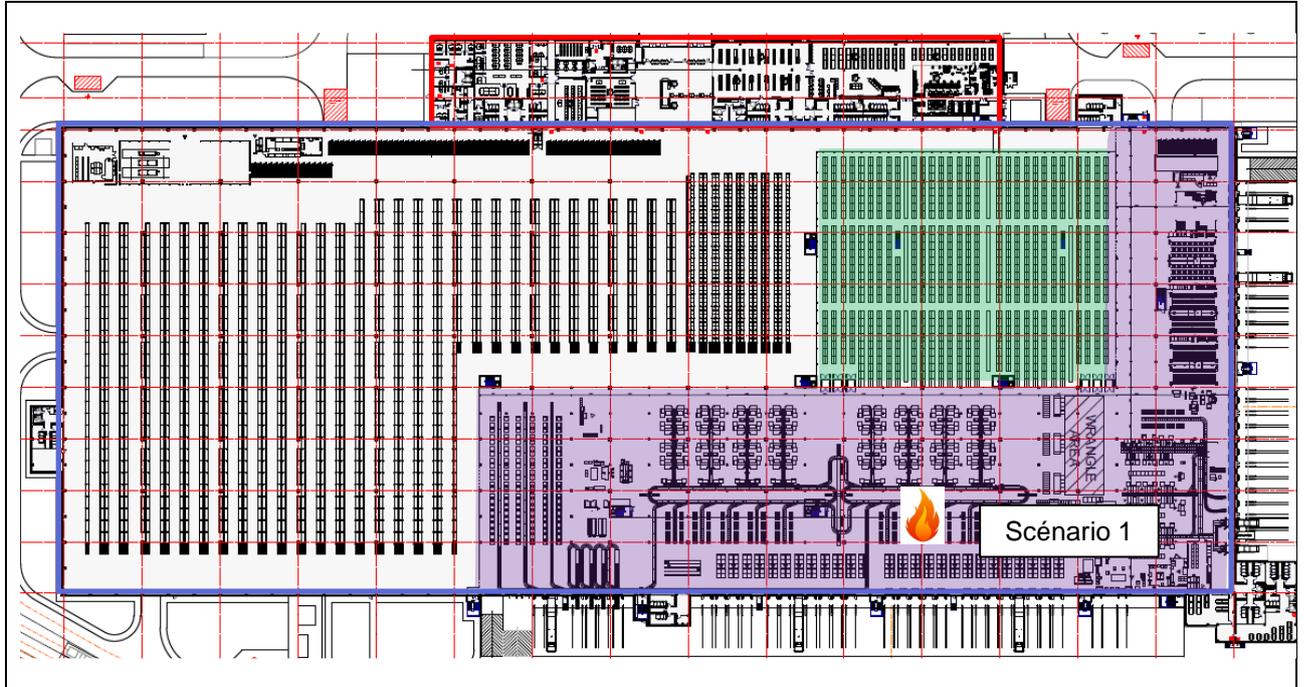


Figure 10-7 : Position du scénario 1bis au RDC

10.1.3.1. Coefficient d'extinction

Les figures ci-dessous présentent une coupe du critère de visibilité dans l'axe du foyer. Les fumées restent localisées sous le plafond de la mezzanine et ne retombent pas au niveau P1. Les personnes peuvent donc circuler et rejoindre les sorties de secours. Les résultats obtenus sont proches de ceux obtenus pour la configuration avec un désenfumage naturel.

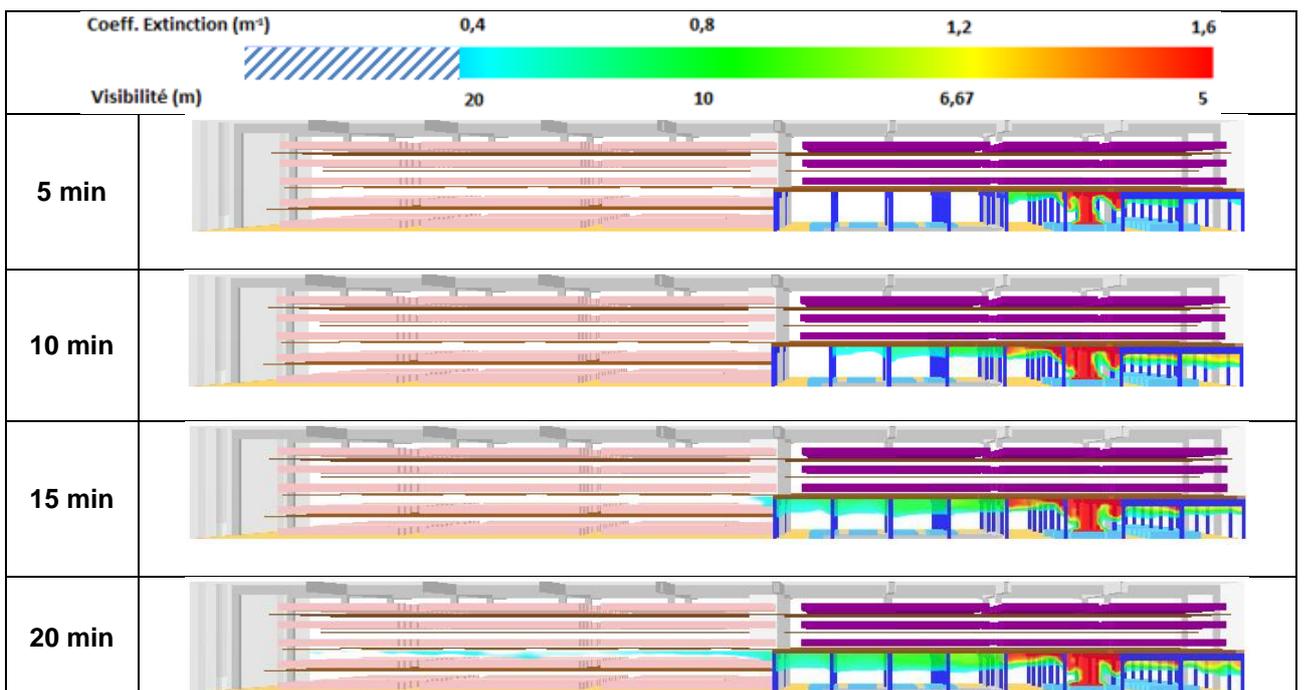


Figure 10-8 : Coupe du critère de visibilité pour le scénario 1bis

La figure ci-dessous présente le critère de visibilité à hauteur d'homme dans le 2^{ème} étage de la pick tower (+3,00 m). On constate que les fumées produites par le feu sous la mezzanine ne se propagent pas dans la pick tower 20 minutes après le départ de feu (elles arrivent en rive de mezzanine et commencent à déborder vers la zone des racks). Les personnes peuvent évacuer celle-ci dans de bonnes conditions.

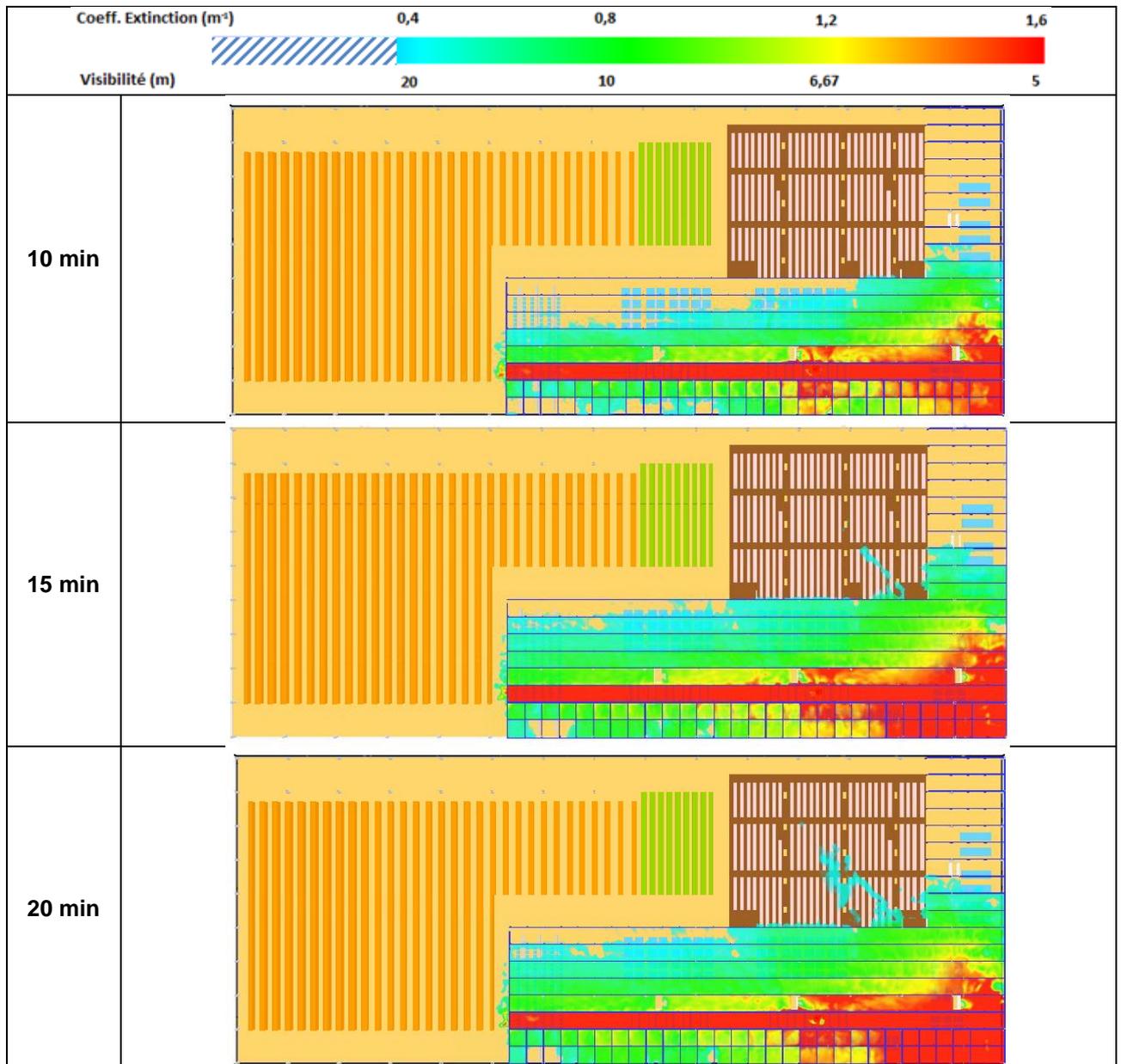


Figure 10-9 : Critère de visibilité dans le 2^{ème} étage de la pick tower

10.1.3.2. Température

La figure ci-dessous présente une coupe verticale de la température après 10 et 20 minutes d'incendie. Le critère de 40 °C pour les personnes n'est pas atteint à hauteur d'homme. Les fumées chaudes restent localisées sous le plafond de la mezzanine.

Les conditions de température sont ainsi compatibles avec l'évacuation du public et l'intervention des secours.

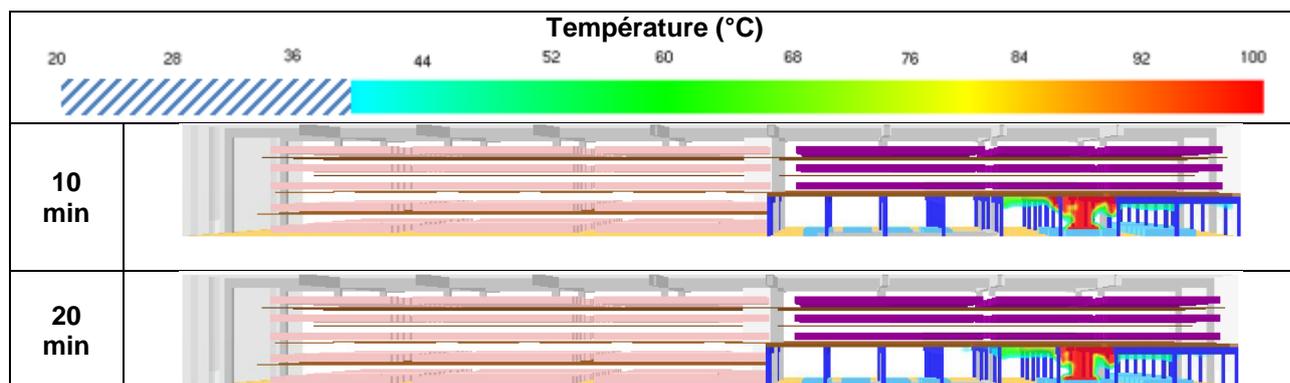


Figure 10-10 : Critère de température pour le scénario 1bis

10.1.3.3. Concentration en CO

La figure ci-dessous présente une coupe de concentration en monoxyde de carbone après 20 minutes d'incendie. Le seuil de 150 ppm pour les personnes n'est pas atteint en dehors du panache de fumées.

Les concentrations en CO atteintes sont donc compatibles avec l'évacuation du personnel et l'intervention des secours.

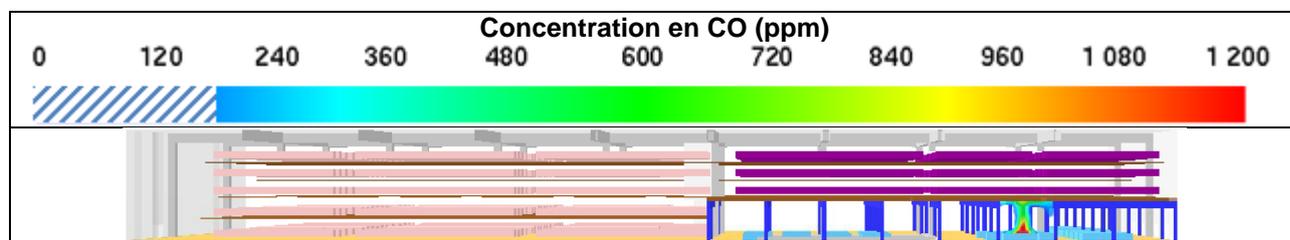


Figure 10-11 : Critère de concentration en CO à 20 minutes pour le scénario 1bis

10.1.3.4. Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des temps d'atteinte des critères de tenabilité. Aucun critère n'est atteint au niveau du sol, les personnes peuvent évacuer pendant 20 minutes sans être gênées par les fumées, ce qui est compatible avec le temps d'évacuation estimé.

	Visibilité	Température	Concentration en CO	Flux thermique
Tous niveaux	> 20 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min

Tableau 10-2 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les personnes

Pour les services de secours aucun critère n'est atteint pendant 20 minutes de feu.

Pour rappel, pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler, les résultats à 20 minutes représentent l'état stationnaire du feu et de l'enfumage.

10.1.4. Synthèse

Les résultats montrent que les conditions de tenabilité pour le personnel sont satisfaisantes quel que soit le système de désenfumage sous la mezzanine (naturel ou mécanique). Les deux systèmes permettent une efficacité similaire sur les 10 premières minutes d'incendie. Il est toutefois à noter que le désenfumage mécanique permet de limiter la propagation des fumées en dehors de la mezzanine lorsque les fumées se refroidissent.

Chacun d'entre eux offre des avantages et inconvénients :

- Un désenfumage naturel sous mezzanine permettra d'avoir un désenfumage naturel sur l'ensemble du compartiment, ce qui simplifie la gestion de l'ouverture des équipements de désenfumage quelle que soit la zone de départ de feu. Cependant pour des feux de faibles puissances, l'effet « cheminée » offert par les conduits verticaux sera limité et des fumées froides pourront envahir les espaces.
- Un désenfumage mécanique sous mezzanine permettra d'évacuer des fumées même si elles sont « froides ». Cependant, il conviendra de gérer intelligemment le désenfumage mis en œuvre sur détection ainsi qu'en intervention car dans ce cas de figure le désenfumage mécanique sous mezzanine devra cohabiter avec le désenfumage naturel sous toiture et ce, dans un même compartiment.

10.2. SCENARIO 2 – FEU AU 1^{ER} ETAGE DANS LA PICK TOWER DE 5 NIVEAUX AVEC MAITRISE PAR LE SYSTEME DE SPRINKLER

10.2.1. Rappel du scénario étudié

Ce scénario prend en compte un feu au 1^{er} étage dans la pick tower de 5 niveaux. Il est considéré que le système de sprinkler permet de maîtriser le développement du feu.

Les figures ci-dessous rappellent la courbe de montée en puissance et la localisation du scénario dans la cellule

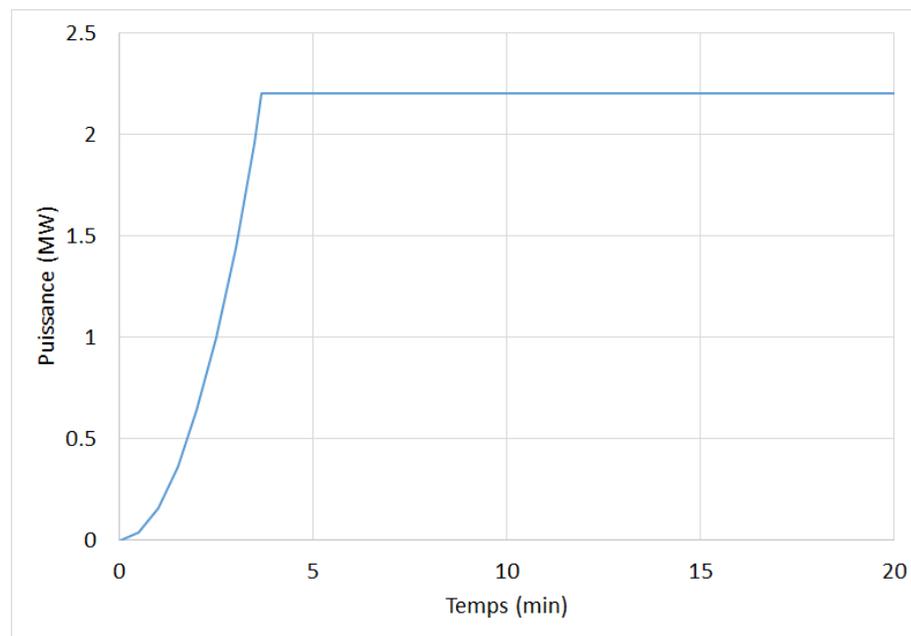


Figure 10-12 : Evolution de la puissance de l'incendie pour le scénario 2

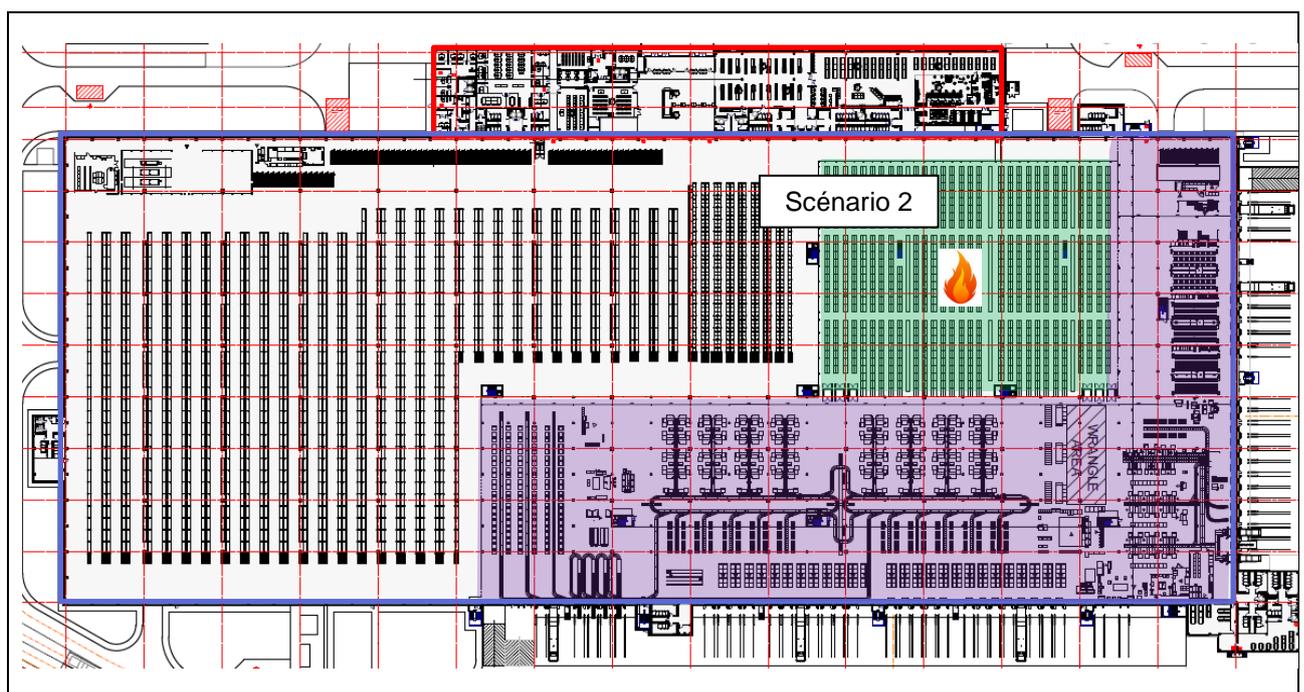


Figure 10-13 : Position du scénario 2

10.2.2. Coefficient d'extinction

Les figures ci-dessous présentent des coupes de visibilité dans l'axe du foyer. La visibilité reste acceptable pendant au moins 20 minutes dans les niveaux où le feu n'a pas lieu, néanmoins, dans le niveau sinistré le seuil de 20 m est partiellement atteint avant 10 minutes.

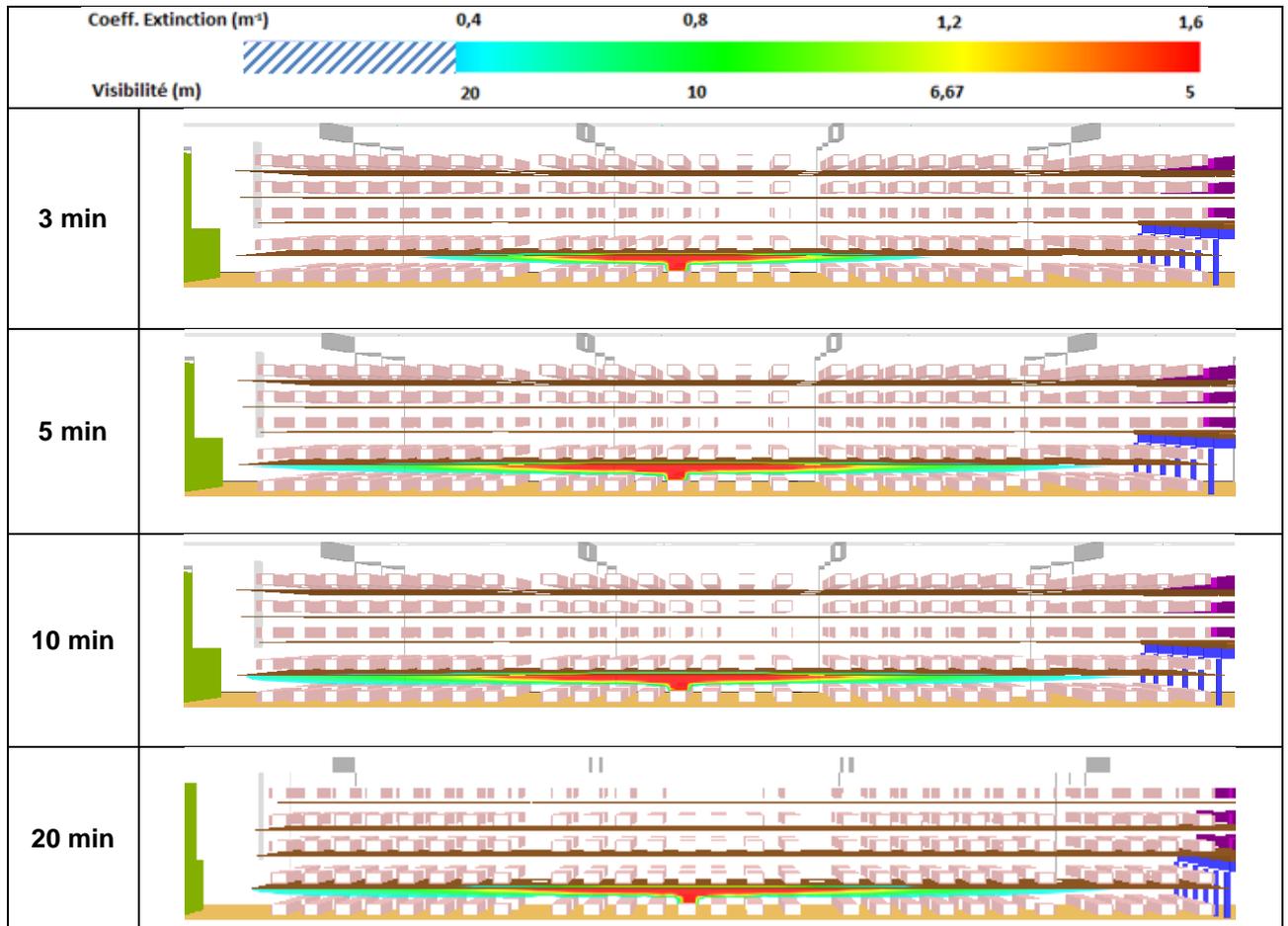


Figure 10-14 : Coupe du critère de visibilité pour le scénario 2

Les figures ci-dessous présentent la visibilité à hauteur d'homme sur le niveau le plus critique (1^{er} étage de pick tower, niveau où le feu débute). La visibilité est réduite dans les rayonnages autour du départ de feu en moins de 5 minutes, sur une surface d'environ 20 x 20 m. Les personnes dans cette zone ont une perception directe du départ de feu (flammes ou fumées), leur temps de pré mouvement sera fortement réduit. Ce temps est donc compatible avec leur évacuation.

Le reste du niveau est praticable pendant plus de 20 minutes, les personnes se trouvant au P1 et dans les niveaux supérieurs peuvent évacuer dans de bonnes conditions.

Pour les services de secours, le critère de visibilité n'est pas dépassé pendant les 20 premières minutes de l'incendie, l'état stationnaire du feu et de l'enfumage étant atteints à cet instant pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler.

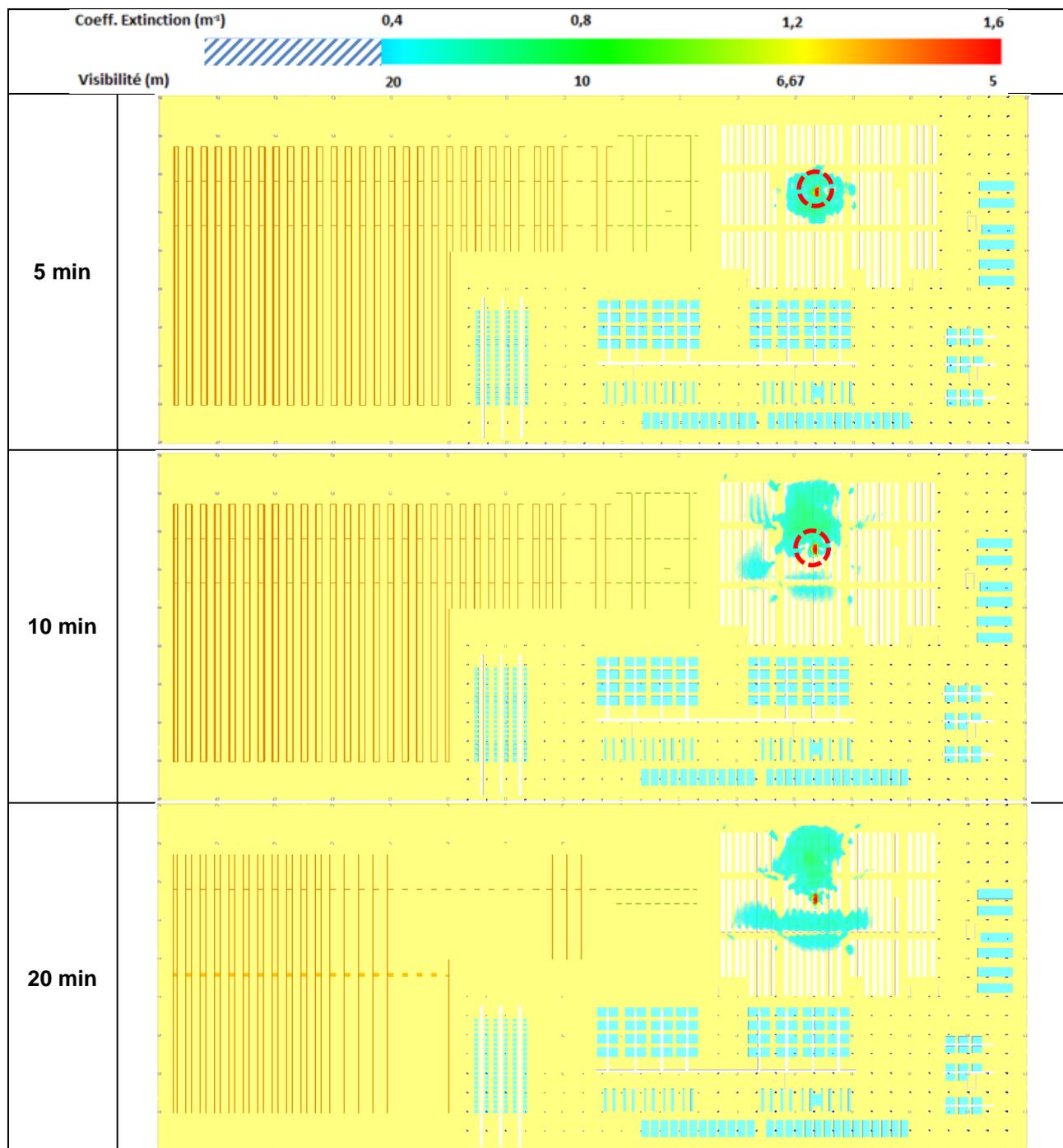
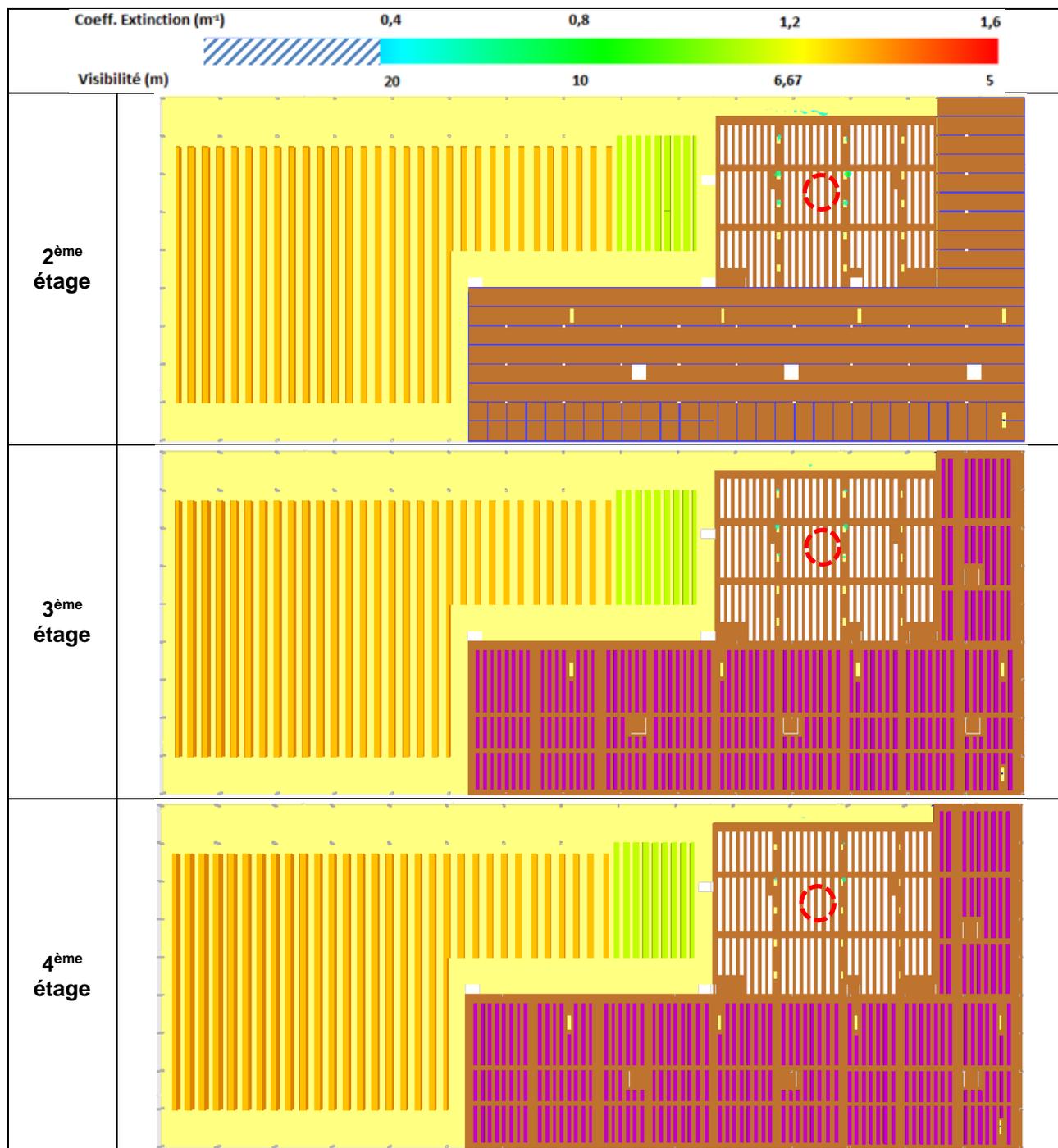


Figure 10-15 : Evolution du critère de visibilité sur la mezzanine pour le scénario 2

Les figures ci-dessous présentent le critère de visibilité à hauteur d'homme pour les niveaux supérieurs à 20 minutes, la position du feu au P1 est indiquée par un cercle rouge. Les fumées restent limitées à la zone des trémies, toutes les circulations sont praticables.



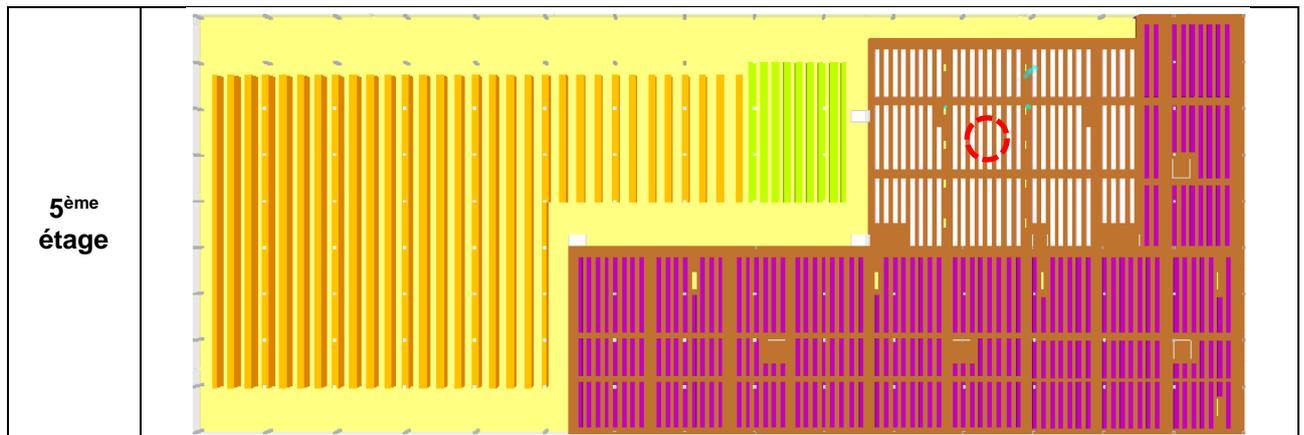


Figure 10-16 : Critère de visibilité dans les niveaux supérieur à 20 minutes

10.2.3. Température

Les figures ci-dessous présentent une coupe de température dans l'axe du foyer. En dehors de la zone à proximité du départ de feu les températures restent inférieures à 40 °C.

Les conditions de températures sont donc compatibles avec l'évacuation du personnel et l'intervention des secours.

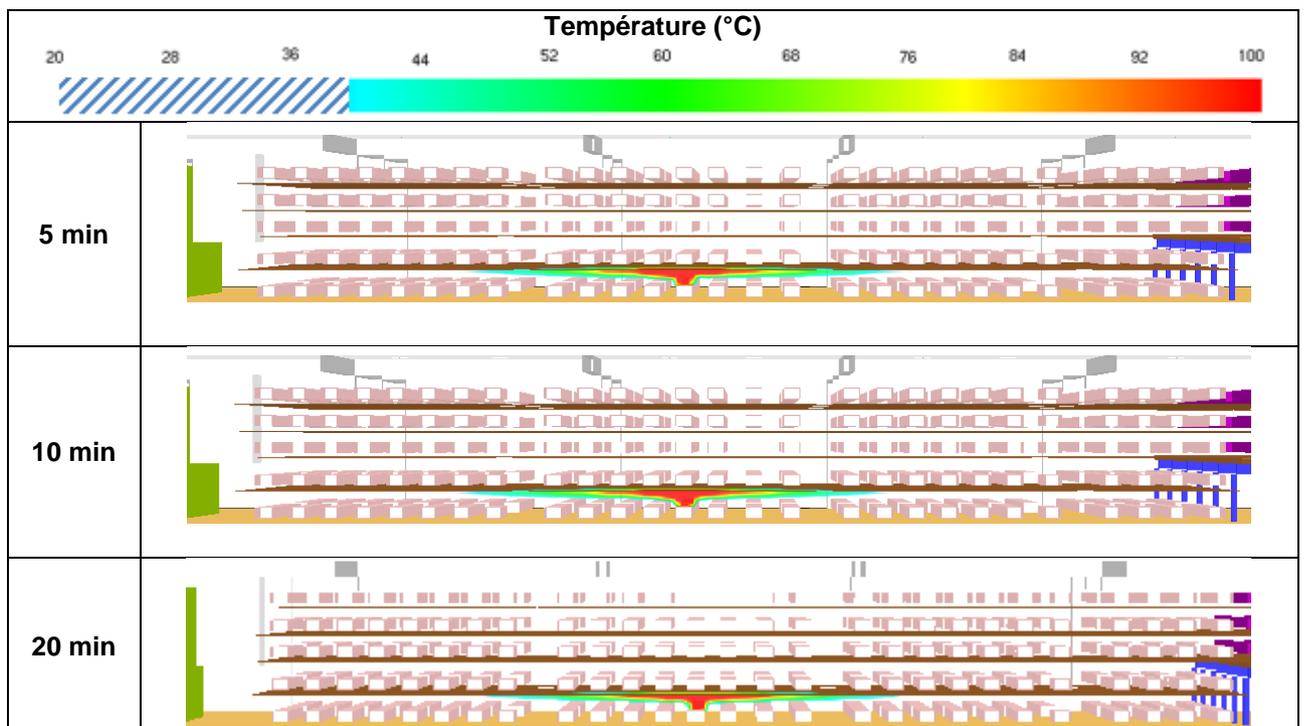


Figure 10-17 : Coupe du critère de température pour le scénario 2

10.2.4. Concentration en CO

La figure ci-dessous présente le critère de concentration en monoxyde de carbone à 20 minutes. Le critère de 150 ppm pour les personnes n'est pas atteint en dehors du panache de fumées, la concentration en CO est inférieure à 60 ppm au maximum.

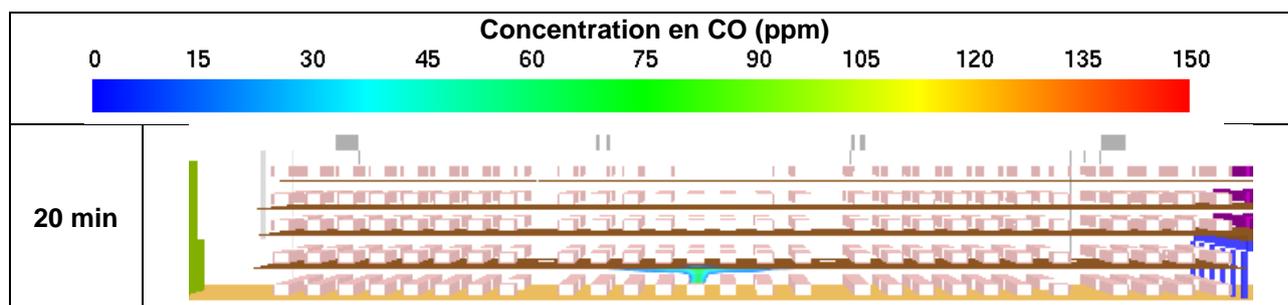


Figure 10-18 : Coupe du critère de concentration en CO pour le scénario 2

10.2.5. Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des temps d'atteinte des critères de tenabilité. En dehors de la zone de l'entrepôt où le feu débute, les critères de tenabilité restent acceptables dans tous les niveaux de circulation sur les 20 premières minutes. Les personnes évacuant des niveaux supérieurs peuvent donc rejoindre le niveau P1 libre de fumées.

	Visibilité	Température	Concentration en CO	Flux thermique
Niveau P1 et 1^{er} étage	5 min sur une surface de 20 m x 20 m autour du foyer > 20 min pour le reste du niveau	5 min autour du foyer > 20 min pour le reste du niveau	> 20 min	5 min autour du foyer > 20 min pour le reste du niveau
2^{ème} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min
3^{ème} étage				
4^{ème} étage				
5^{ème} étage				

Tableau 10-3 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les personnes

Pour les services de secours aucun critère n'est atteint pendant 20 minutes.

Pour rappel, pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler, les résultats à 20 minutes représentent l'état stationnaire du feu et de l'enfumage.

10.3. SCENARIO 3 – FEU EN PICK TOWER SUR LE PLANCHER DE LA MEZZANINE AVEC MAITRISE PAR LE SYSTEME DE SPRINKLER – LOCALISATION 1

10.3.1. Rappel du scénario étudié

Ce scénario prend en compte un feu dans la pick tower sur la mezzanine. Il est considéré que le système de sprinkler permet de maîtriser le développement du feu.

Les figures ci-dessous rappellent la courbe de montée en puissance et la localisation du scénario dans la cellule

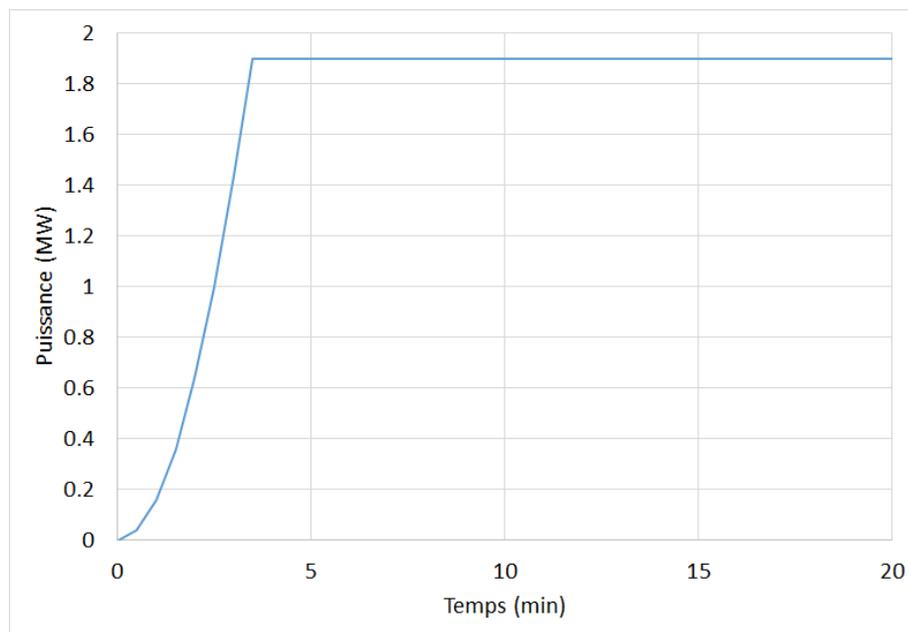


Figure 10-19 : Puissance de l'incendie pour le scénario 3

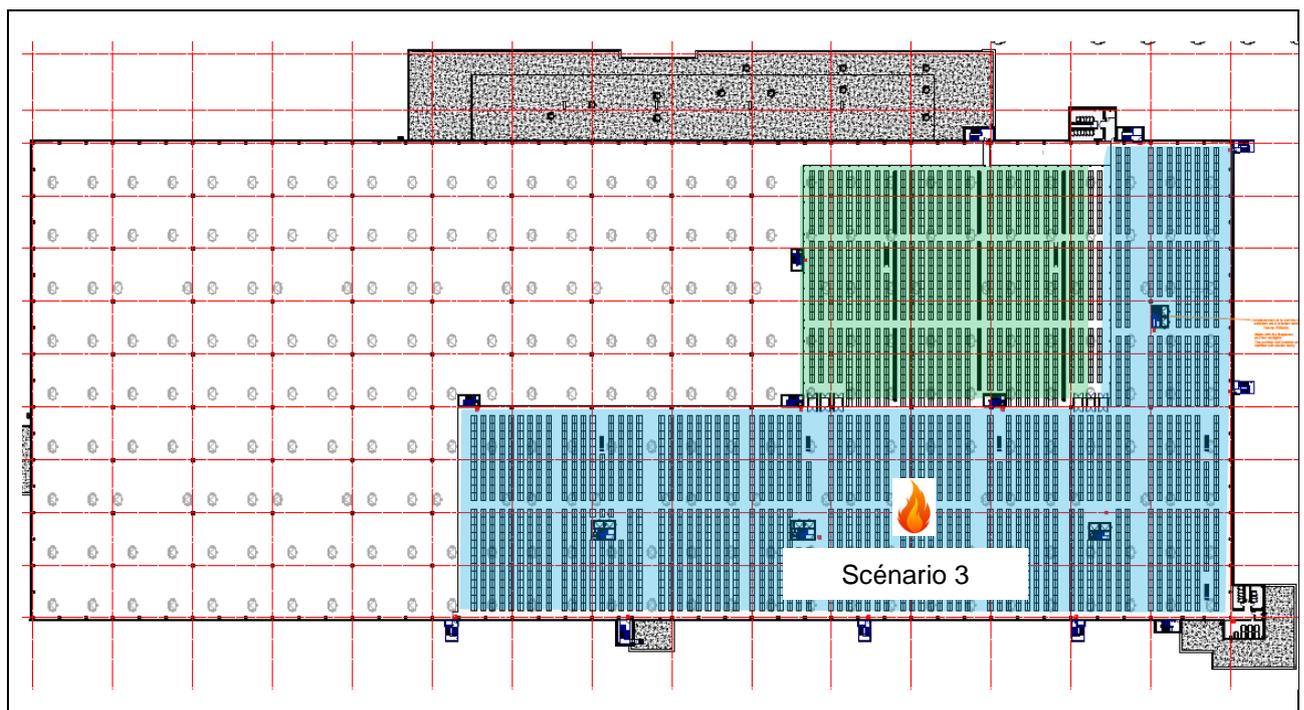


Figure 10-20 : Position du scénario 3 dans la pick tower sur la mezzanine

10.3.2. Coefficient d'extinction

Les figures ci-dessous présentent des coupes de visibilité dans l'axe du foyer. La porosité dans les pick towers permet d'évacuer une partie des fumées vers le haut de la cellule et les exutoires en toiture. La visibilité reste acceptable pendant au moins 20 minutes dans les niveaux où le feu n'a pas lieu, néanmoins, dans le niveau sinistré le critère de 20 m est partiellement atteint avant 20 minutes.

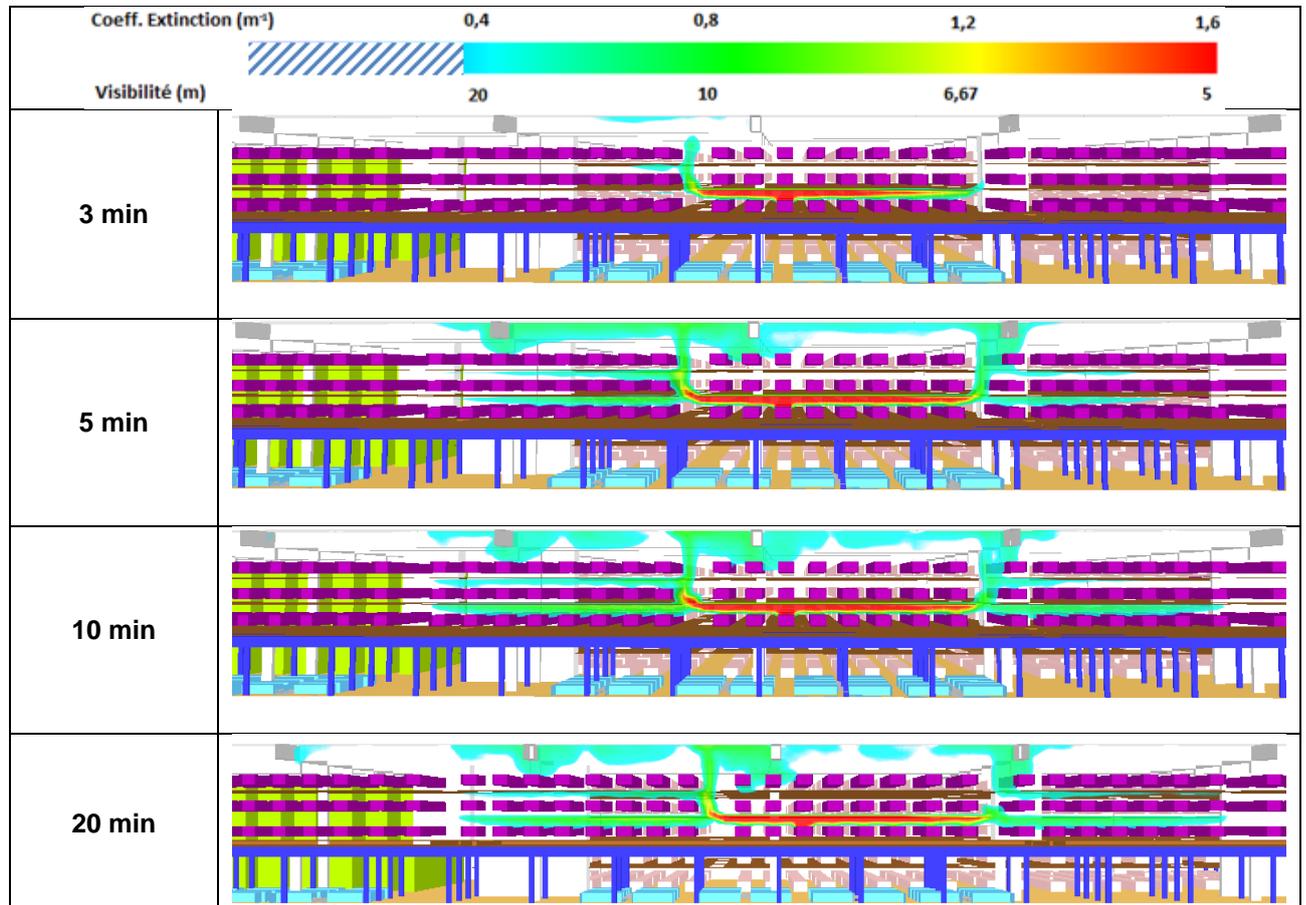


Figure 10-21 : Coupe du critère de visibilité pour le scénario 3

Les figures ci-dessous présentent la visibilité à hauteur d'homme sur le niveau le plus critique (3^{ème} étage, niveau où le feu débute). Du fait de la faible hauteur de la pick tower (2,5 m), la visibilité est réduite rapidement au proche du foyer. En effet, les fumées redescendent à hauteur d'homme et viennent obscurcir le milieu. A 5 minutes, une zone d'environ 50 m x 50 m est impactée par les fumées. Les personnes dans cette zone ont une perception directe du départ de feu (flammes ou fumées), leur temps de pré mouvement sera fortement réduit. **En prenant en compte l'absence de temporisation sur le déclenchement de l'alarme, les personnes peuvent évacuer avant que les conditions de visibilité soient dégradées.**

De plus, après cet instant un état stationnaire est observé, un équilibre s'établit entre les fumées générées par l'incendie et les fumées évacuées par les trémies dans les pick towers. Les fumées restent localisées dans la même zone entre 5 et 20 minutes ce qui permet aux personnes au loin du départ de feu d'évacuer vers les escaliers encoignés, l'état stationnaire du feu et de l'enfumage étant atteints à 20 minutes pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler..

Pour les services de secours, en dehors d'une zone de 5 m autour du foyer, le critère de visibilité n'est pas atteint pendant les 20 premières minutes de l'incendie.

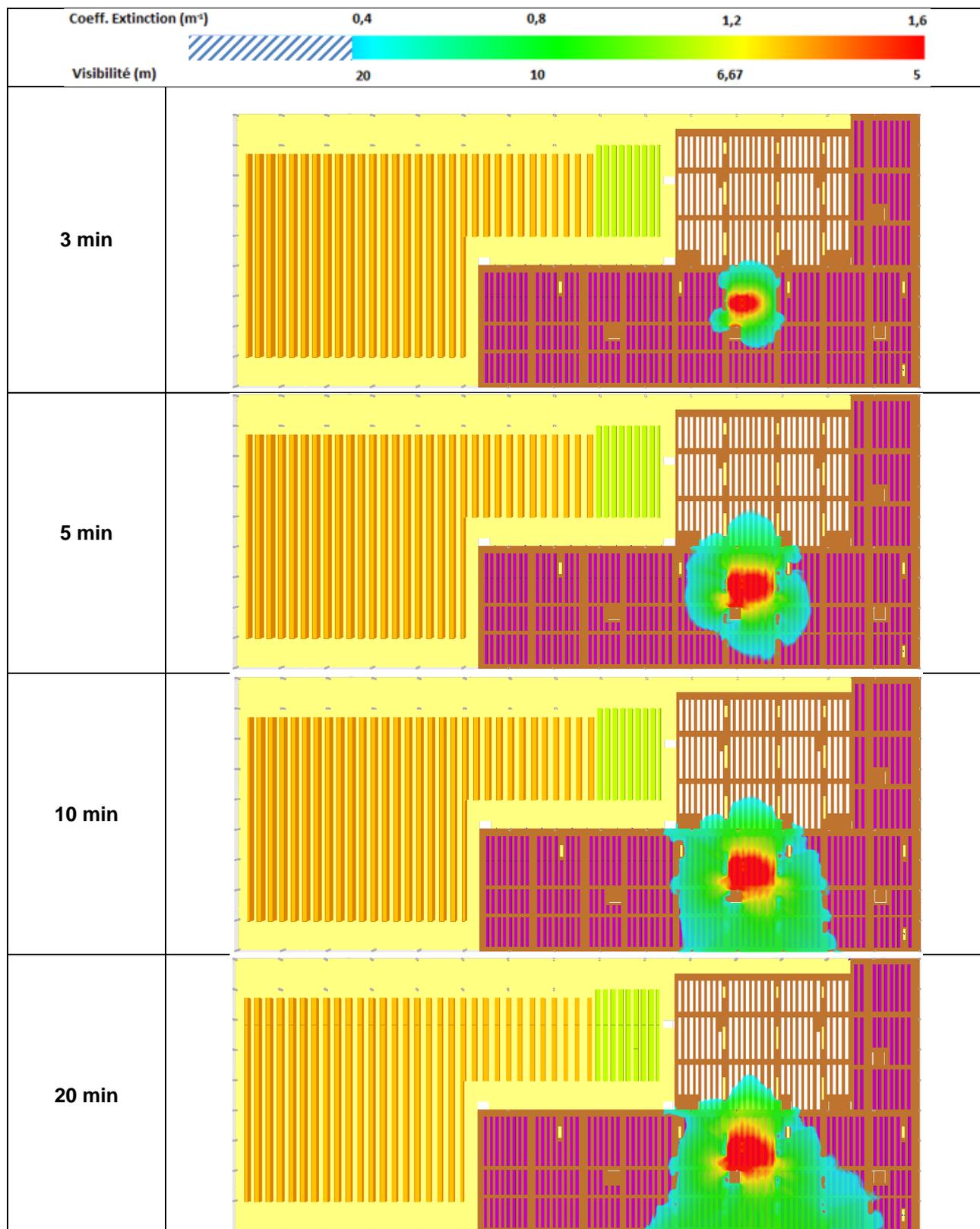


Figure 10-22 : Evolution du critère de visibilité sur la mezzanine pour le scénario 3

Les figures ci-dessous présentent la visibilité aux 4^{ème} et 5^{ème} étages à 10 et 20 minutes d'incendie. Les fumées ne se propagent pas en grande quantité dans les niveaux supérieurs, seule les circulations au-dessus des trémies sont très localement enfumées. Les personnes peuvent évacuer ces niveaux dans de bonnes conditions.

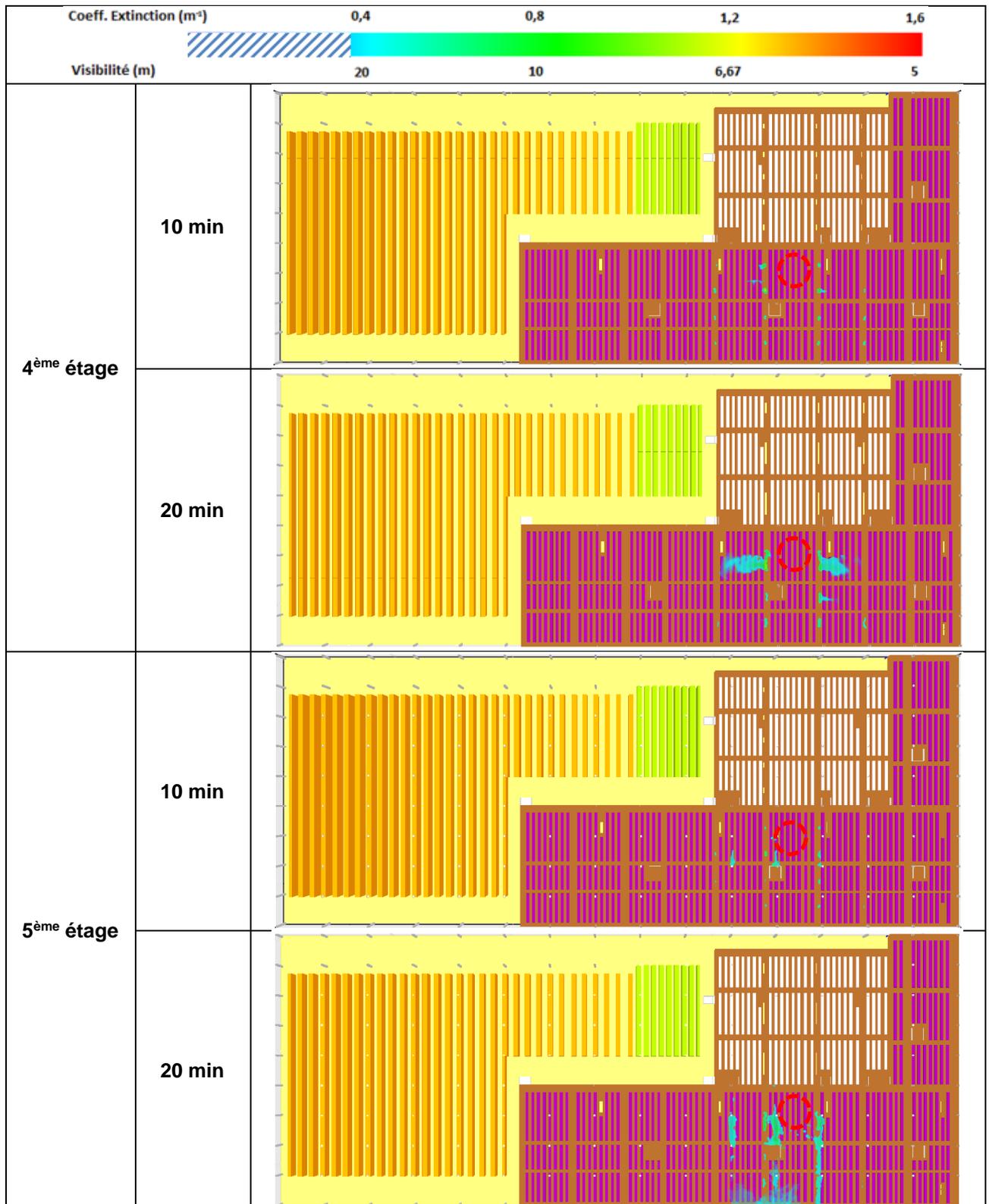


Figure 10-23 : Critère de visibilité sur les 4^{ème} et 5^{ème} étages

10.3.3. Température

Les figures ci-dessous présentent une coupe de température dans l'axe du foyer. En dehors de la zone à proximité du départ de feu les températures restent inférieures à 40 °C.

Les conditions de températures sont donc compatibles avec l'évacuation du personnel et l'intervention des secours.

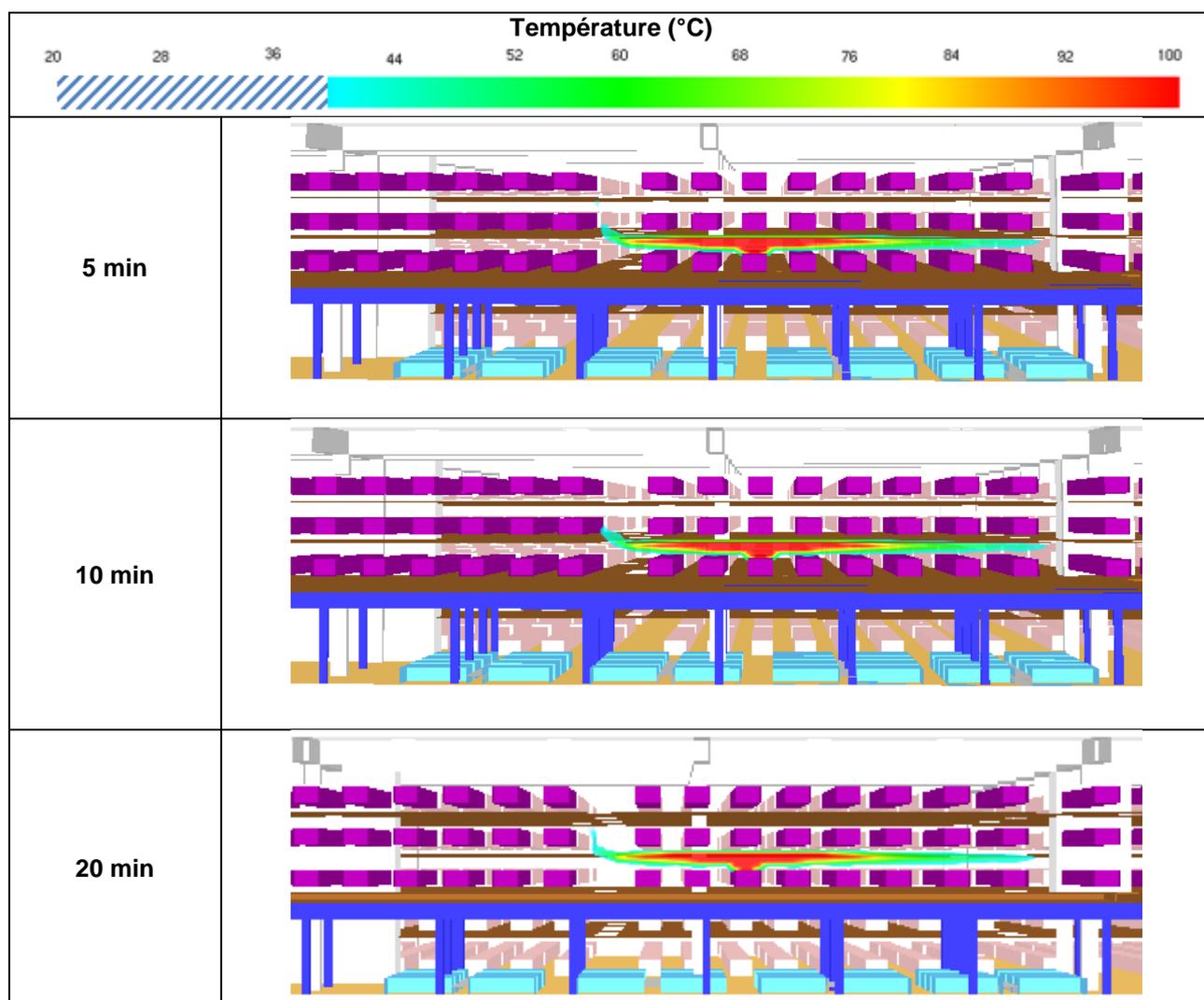


Figure 10-24 : Coupe du critère de température pour le scénario 3

10.3.4. Concentration en CO

La figure ci-dessous présente le critère de concentration en monoxyde de carbone à 20 minutes. Le critère de 150 ppm pour les personnes n'est pas atteint en dehors du panache de fumées, la concentration en CO est inférieure à 60 ppm au maximum.

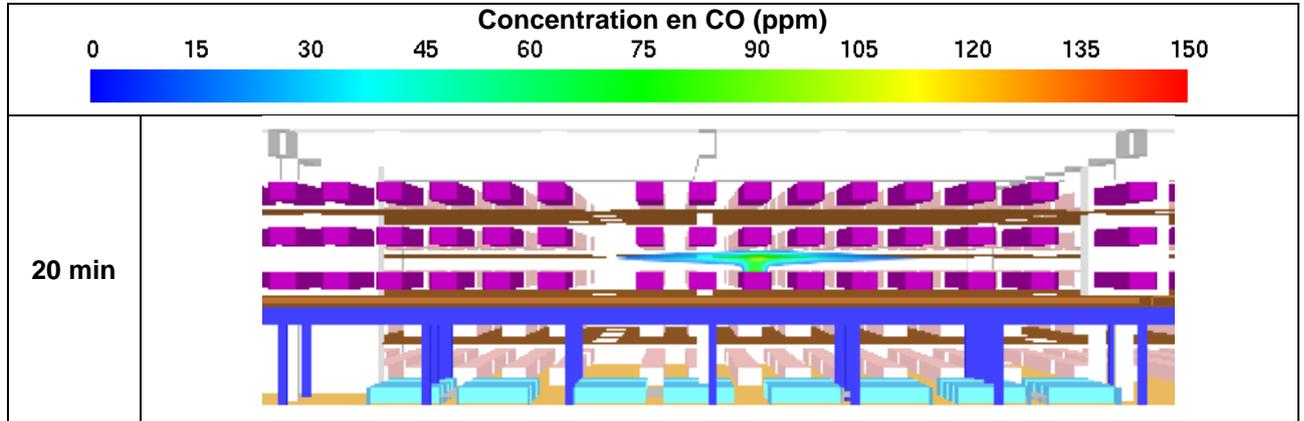


Figure 10-25 : Coupe du critère de concentration en CO pour le scénario 3

10.3.5. Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des temps d'atteinte des critères de tenabilité. En dehors de la zone de l'entrepôt où le feu débute, les critères de tenabilité restent acceptables dans tous les niveaux de circulation sur les 20 premières minutes. Les personnes évacuant des niveaux supérieurs peuvent donc rejoindre le niveau P1 libre de fumées.

	Visibilité	Température	Concentration en CO	Flux thermique
Niveau P1 et 1^{er} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min
2^{ème} étage				
3^{ème} étage	5 min sur une surface de 50 m x 50 m autour du foyer > 20 min pour le reste du niveau	5 min autour du foyer > 20 min pour le reste du niveau	> 20 min	5 min autour du foyer > 20 min pour le reste du niveau
4^{ème} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min
5^{ème} étage				

Tableau 10-4 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les personnes

Pour les services de secours aucun critère de tenabilité n'est dépassé en dehors de la zone du foyer.

Pour rappel, pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler, les résultats à 20 minutes représentent l'état stationnaire du feu et de l'enfumage.

10.4. SCENARIO 4 – FEU EN PICK TOWER SUR LE PLANCHER DE LA MEZZANINE AVEC MAITRISE PAR LE SPRINKLER– LOCALISATION 2

10.4.1. Rappel du scénario étudié

Ce scénario prend en compte un feu dans la pick tower sur la mezzanine. Il est considéré que le système de sprinkler permet de maîtriser le développement du feu.

Les figures ci-dessous rappellent la courbe de montée en puissance et la localisation du scénario dans la cellule

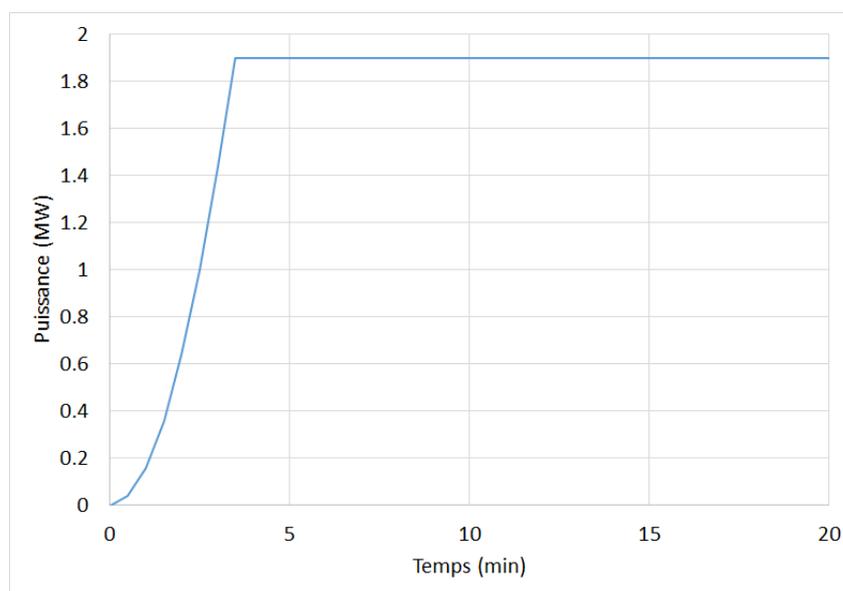


Figure 10-26 : Puissance de l'incendie pour le scénario 4

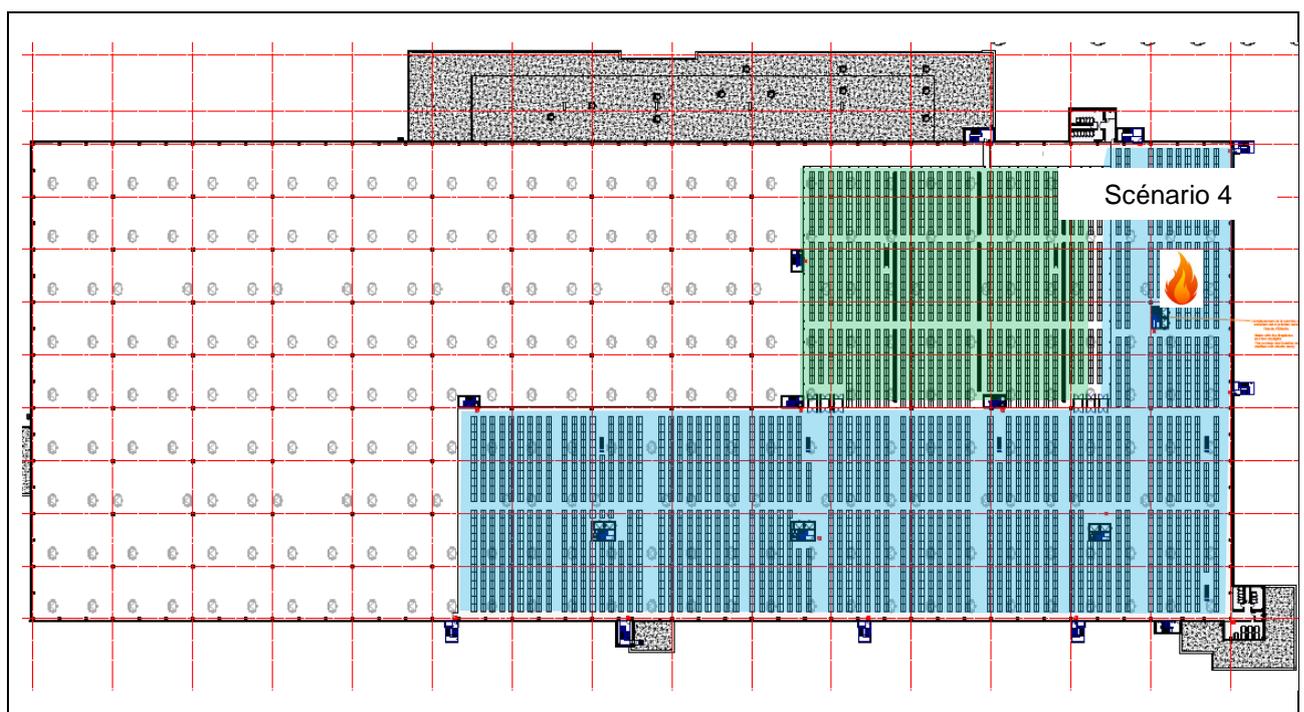


Figure 10-27 : Position du scénario 4 dans la pick tower sur la mezzanine

10.4.2. Coefficient d'extinction

Les figures ci-dessous présentent des coupes de visibilité dans l'axe du foyer. La porosité dans les pick tower permet d'évacuer une partie des fumées vers le haut de la cellule et les exutoires en toiture. Comme pour le scénario précédent, seul le niveau où le feu débute est impacté par les fumées denses, les niveaux supérieurs restent accessibles pendant au moins 20 minutes.

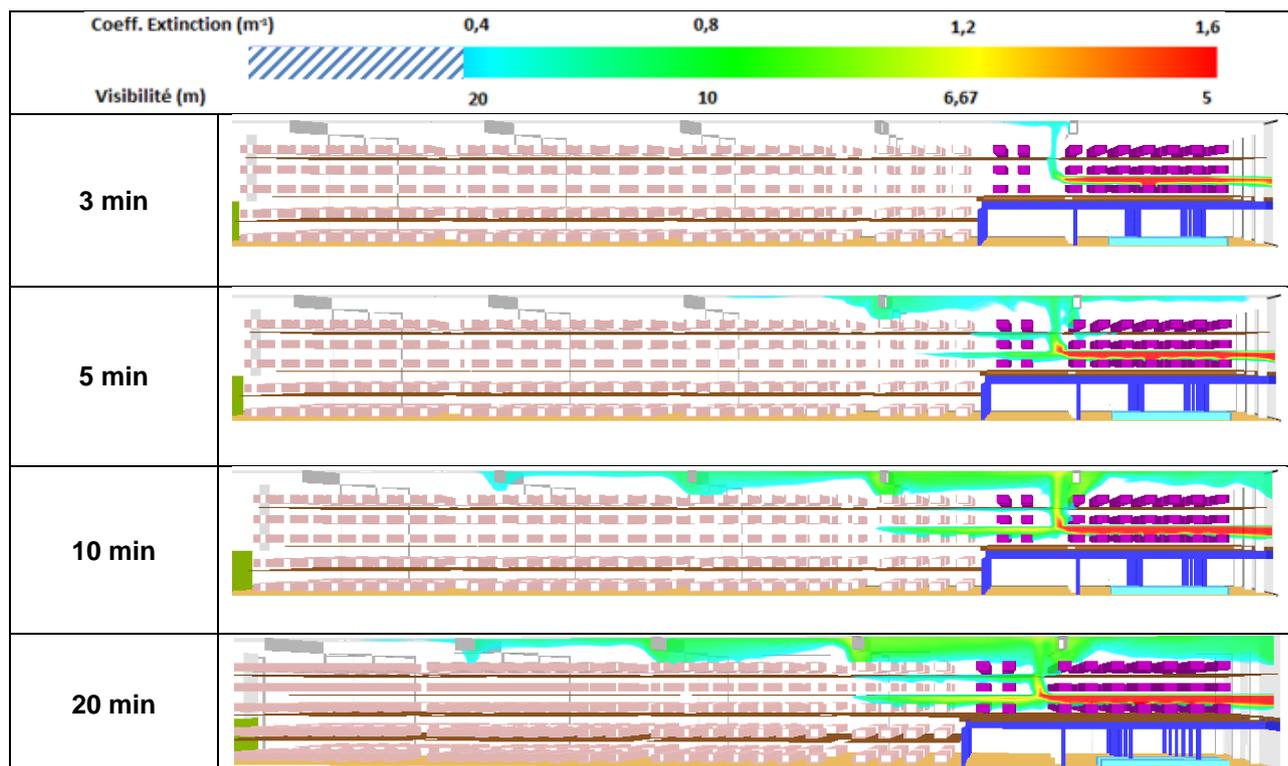


Figure 10-28 : Coupe du critère de visibilité pour le scénario 4

Les figures ci-dessous présentent la visibilité à hauteur d'homme sur le niveau le plus critique (3^{ème} étage, niveau où le feu débute). Du fait de la faible hauteur de la pick tower (2,5 m), la visibilité est réduite rapidement au proche du foyer. De plus, étant proche d'une des façades du bâtiment, les fumées ne peuvent se propager horizontalement que selon trois directions ce qui favorise l'accumulation locale de fumées. A 5 minutes, une zone d'environ 50 m x 30 m est impactée par les fumées. Les personnes dans cette zone ont une perception directe du départ de feu (flammes ou fumées), leur temps de pré mouvement sera fortement réduit. **En prenant en compte l'absence de temporisation sur le déclenchement de l'alarme, le temps d'évacuation est compatible avec la dégradation de la visibilité.**

Il est à noter qu'à partir de 5 minutes la progression des fumées dans le 3^{ème} étage ralenti fortement, la zone impactée entre 5 et 20 minutes n'est que légèrement augmentée, l'état stationnaire du feu et de l'enfumage étant atteints à 20 minutes pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler. Cela provient de la bonne évacuation des fumées par la porosité dans les pick tower qui permet de rediriger les fumées vers la toiture du bâtiment.

Pour les services de secours, une accumulation des fumées dans le coin du niveau entraîne une réduction de la visibilité dès 10 minutes. La surface impactée n'augmente pas pendant le reste de l'incendie, ils peuvent intervenir avec des conditions de visibilité acceptables sur le reste du niveau.

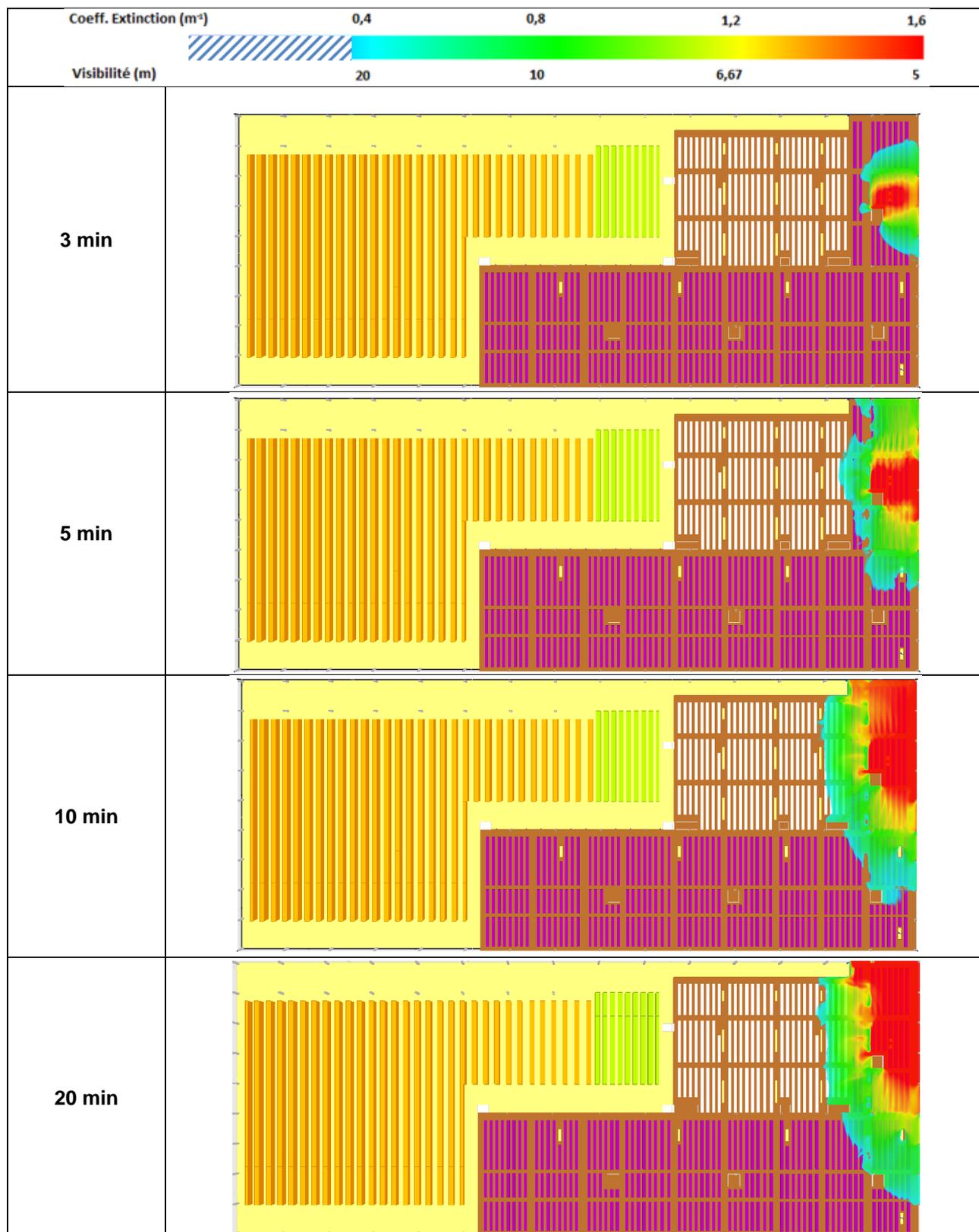


Figure 10-29 : Evolution du critère de visibilité sur la mezzanine pour le scénario 4

Les figures ci-dessous présentent le critère de visibilité dans le 4^{ème} et 5^{ème} étages des pick tower à 10 et 20 minutes. Le critère de visibilité n'est atteint que localement au-dessus des trémies dans les pick towers. Les personnes peuvent évacuer ces étages dans de bonnes conditions.

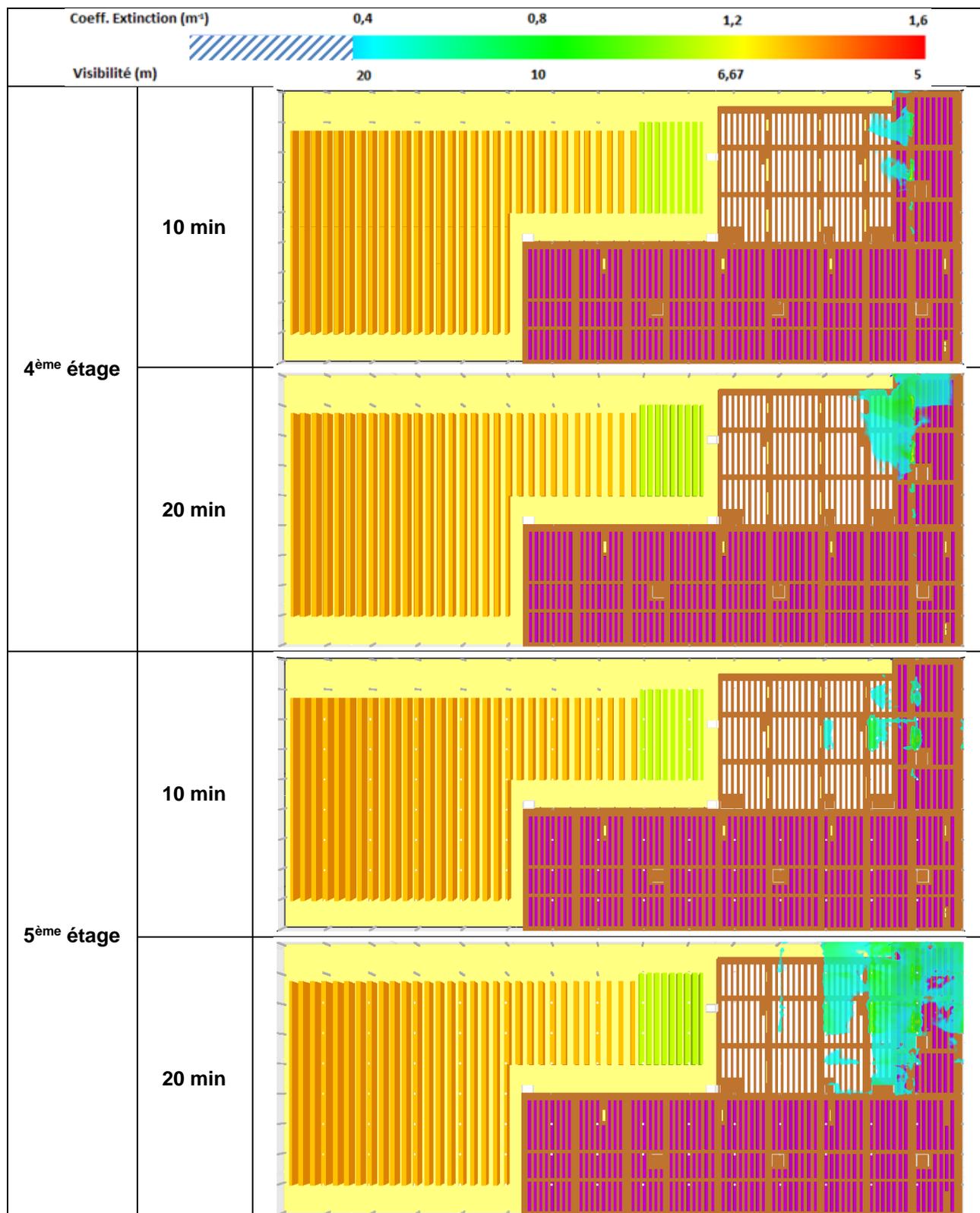


Figure 10-30 : Critère de visibilité au 4^{ème} et 5^{ème} étages pour le scénario 4

10.4.3. Température

Les figures ci-dessous présentent une coupe de température dans l'axe du foyer. En dehors de la zone à proximité du départ de feu les températures restent inférieures à 40 °C.

Les conditions de températures sont donc compatibles avec l'évacuation du personnel et l'intervention des secours.

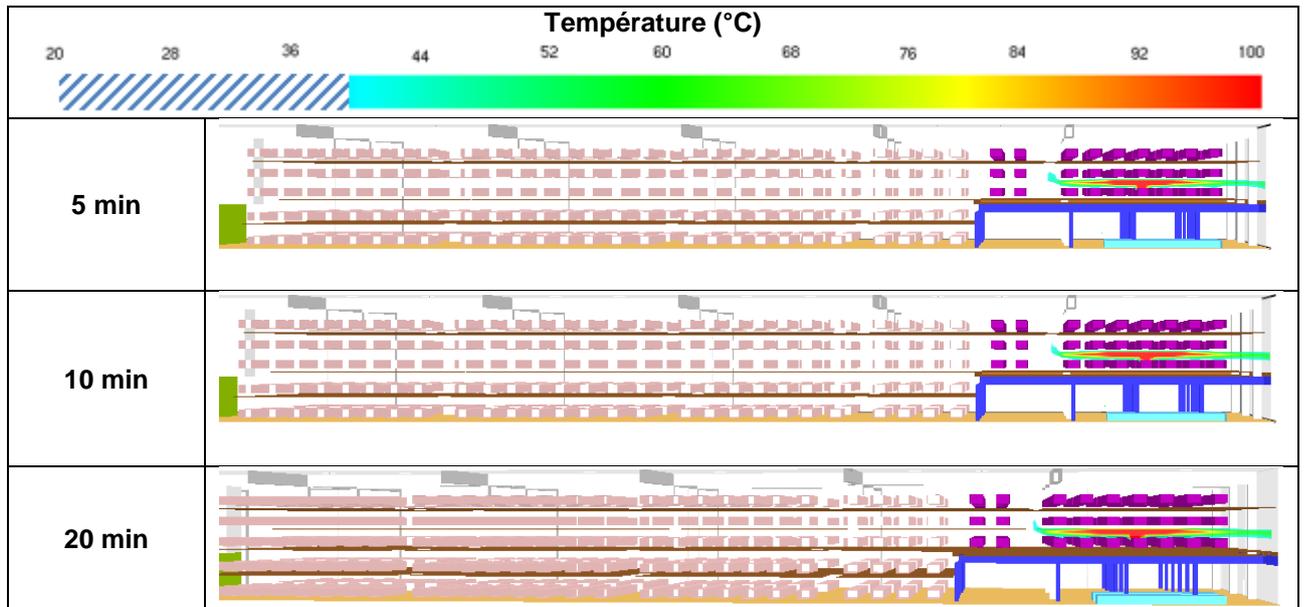


Figure 10-31 : Coupe du critère de température pour le scénario 4

Au 3^{ème} étage, le critère de température n'est atteint qu'à proximité direct du départ de feu pendant les 20 premières minutes de l'incendie.

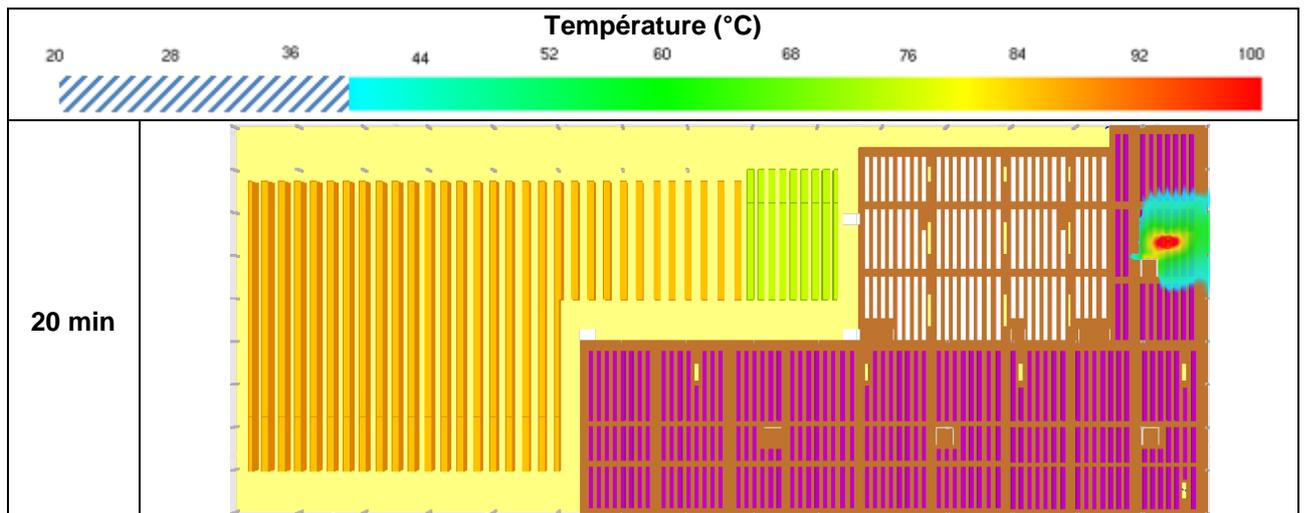


Figure 10-32 : Critère de température au 3^{ème} étage à 20 minutes pour le scénario 4

10.4.4. Concentration en CO

La figure ci-dessous présente le critère de concentration en monoxyde de carbone à 20 minutes. Le critère de 150 ppm pour les personnes n'est pas atteint en dehors du panache de fumées, la concentration en CO est inférieure à 60 ppm au maximum.

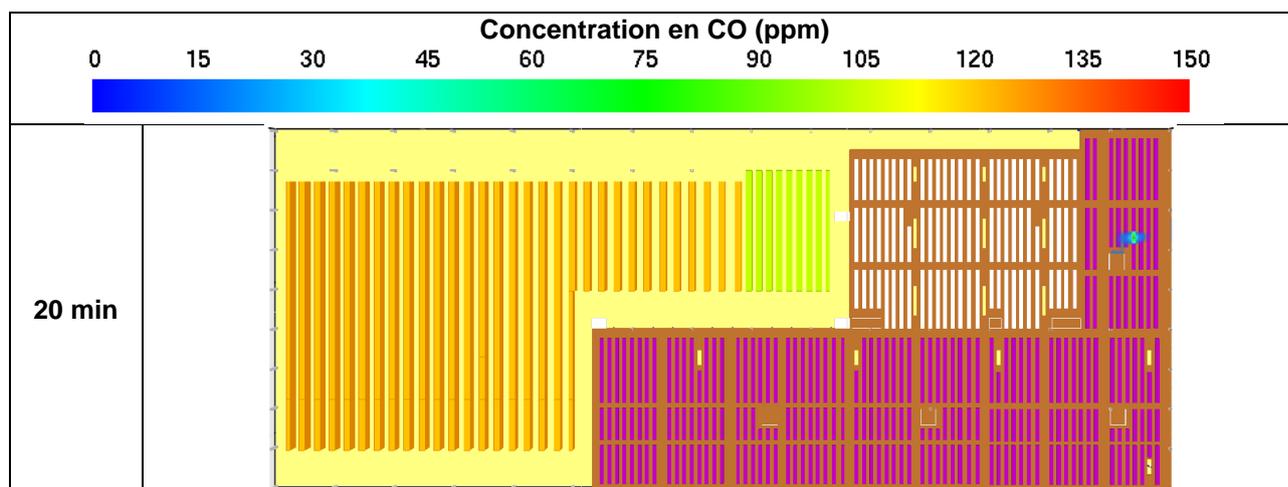


Figure 10-33 : Critère de concentration en CO au 3^{ème} étage à 20 minutes pour le scénario 4

10.4.5. Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des temps d'atteinte des critères de tenabilité. En dehors de la pick tower du 3^{ème} étage où le feu débute, le reste de l'entrepôt reste praticable pendant plus de 20 minutes. Les personnes évacuant des niveaux supérieurs peuvent donc rejoindre un niveau P1 libre de fumées. Dans la zone du départ de feu, dans la mesure où les personnes sont alertées rapidement par le système d'alarme, le temps de dégradation des conditions de tenabilité est compatible avec l'évacuation.

	Visibilité	Température	Concentration en CO	Flux thermique
Niveau P1 et 1^{er} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min
2^{ème} étage				
3^{ème} étage	5 min sur une surface de 50 m x 30 m autour du foyer > 20 min pour le reste du niveau	5 min autour du foyer > 20 min pour le reste du niveau	> 20 min	5 min autour du foyer > 20 min pour le reste du niveau
4^{ème} étage	15 min au proche des trémies	> 20 min	> 20 min	> 20 min
5^{ème} étage	> 20 min pour le reste du niveau			

Tableau 10-5 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les personnes

Le tableau ci-dessous présente le temps d'atteinte des critères de tenabilité pour les services de secours. Seule la visibilité est dégradée au 3^{ème} étage dans la zone du départ de feu. Les services de secours peuvent intervenir dans de bonnes conditions dans le reste de l'entrepôt.

	Visibilité	Température	Flux thermique
Niveau P1 et 1 ^{er} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min
2 ^{ème} étage			
3 ^{ème} étage	10 min dans la zone où le feu débute > 20 min pour le reste du niveau	> 20 min	> 20 min
4 ^{ème} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min
5 ^{ème} étage			

Tableau 10-6 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les services de secours

Pour rappel, pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler, les résultats à 20 minutes représentent l'état stationnaire du feu et de l'enfumage.

10.5. SCENARIO 5 – FEU AU 1^{ER} ETAGE DE LA PICK TOWER DE 5 NIVEAUX SANS MAITRISE PAR LE SPRINKLER

10.5.1. Rappel du scénario étudié

Ce scénario prend en compte un feu au 1^{er} étage de la pick tower de 5 niveaux sans maîtrise de l'incendie par le système de sprinklage.

La figure ci-dessous rappelle la localisation du scénario dans la cellule.

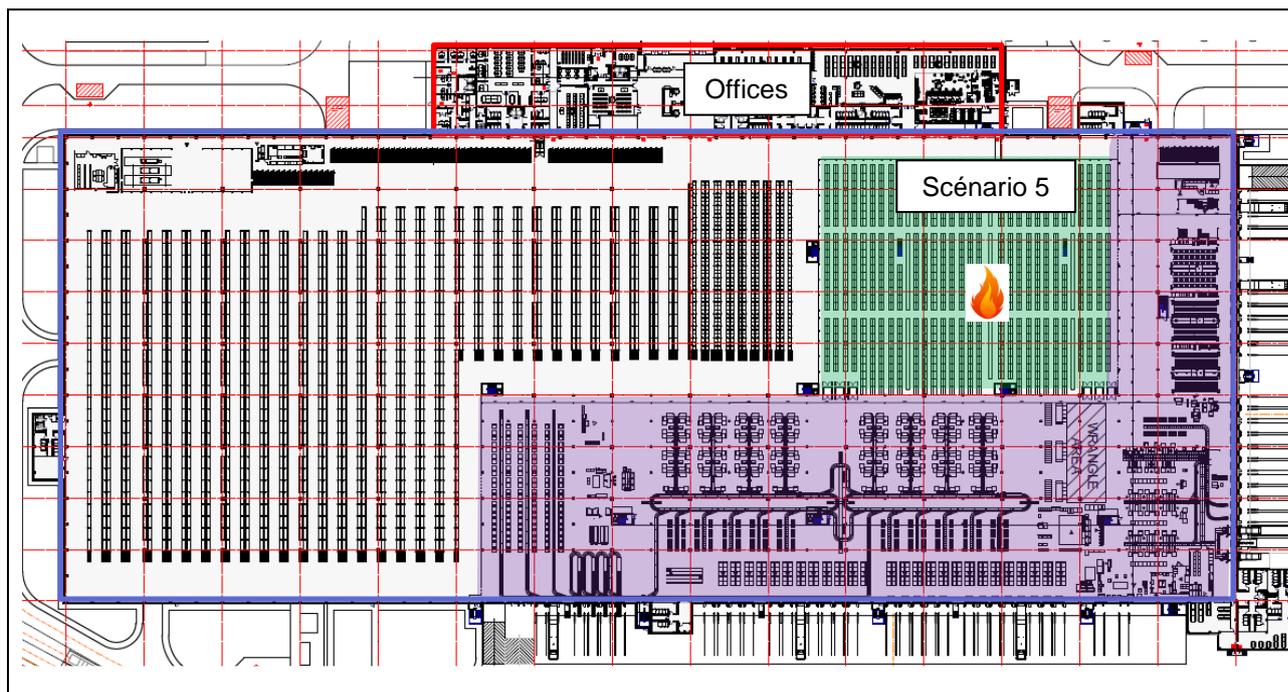


Figure 10-34 : Position de départ du scénario 5

La figure ci-dessous présente l'évolution de la puissance mesurée pour le scénario. Une accélération de la cinétique de l'incendie est observée à partir de 8 minutes, le feu se propage aux rayonnages entourant le rayonnage brûlant initialement ce qui augmente la quantité d'énergie dégagée par l'incendie. Par la suite, le feu se propage de proche en proche aux différents rayonnages.

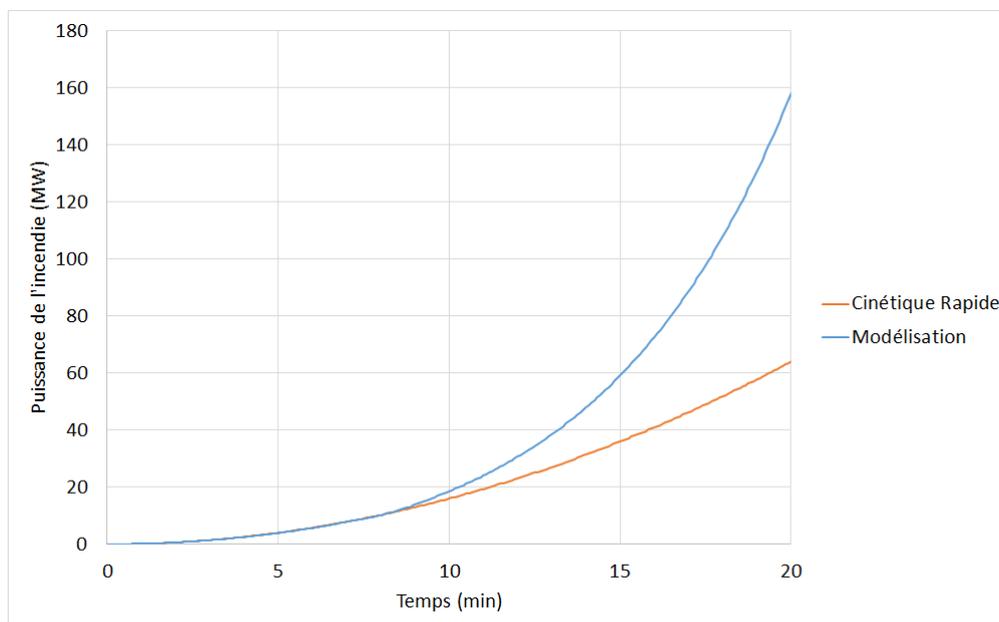


Figure 10-35 : Evolution de la puissance de l'incendie non maîtrisé par le sprinklage

10.5.2. Coefficient d'extinction

Les figures ci-dessous présentent une coupe du critère de visibilité dans l'axe du foyer. On constate que pendant les 5 premières minutes, les fumées denses sont limitées au RDC, niveau où le feu débute. Après ce temps, la propagation des fumées par les trémies dans la pick tower entraîne une accumulation progressive des fumées sur les niveaux supérieurs allant jusqu'à un enfumage important de toute la pick tower de 5 étages.

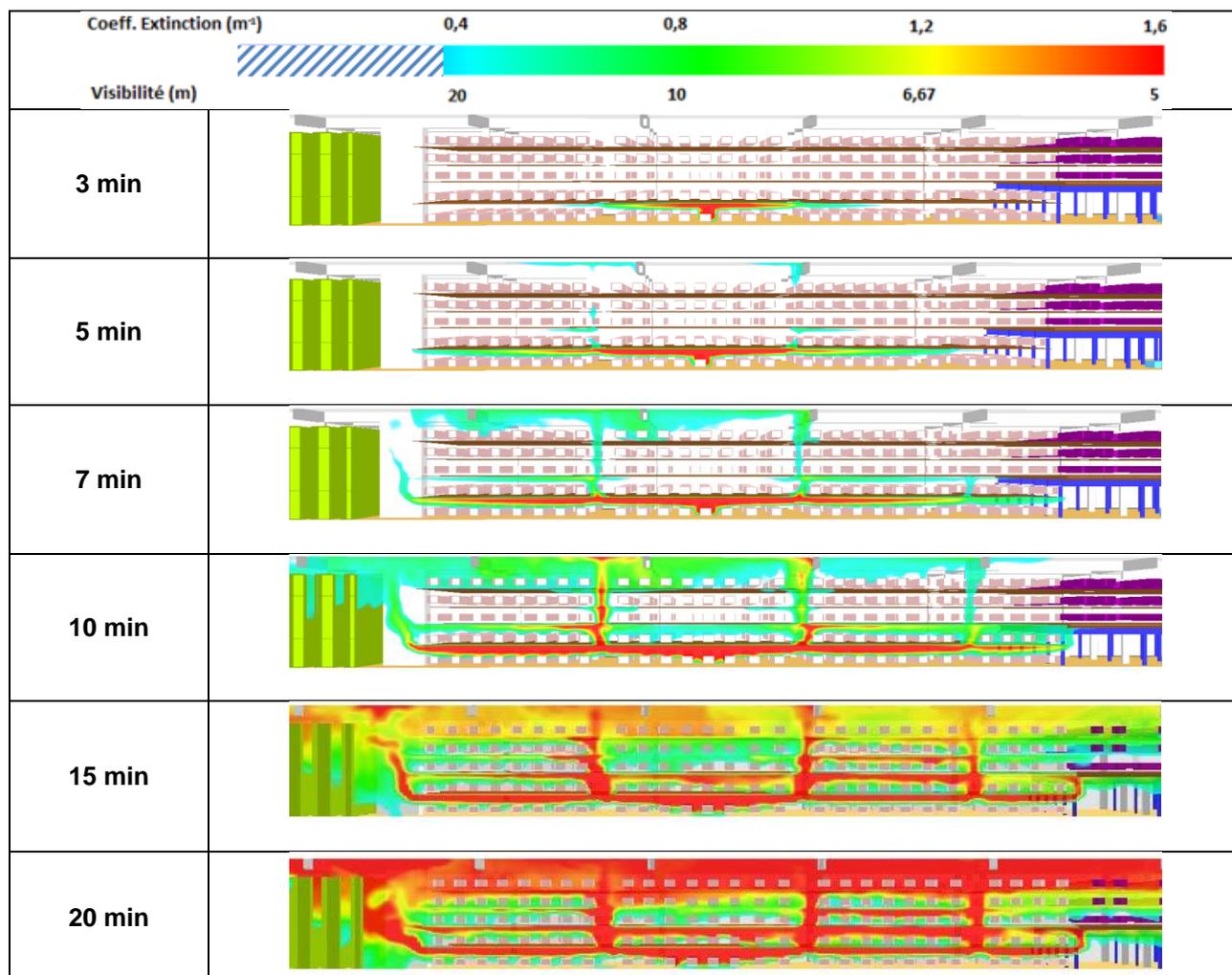
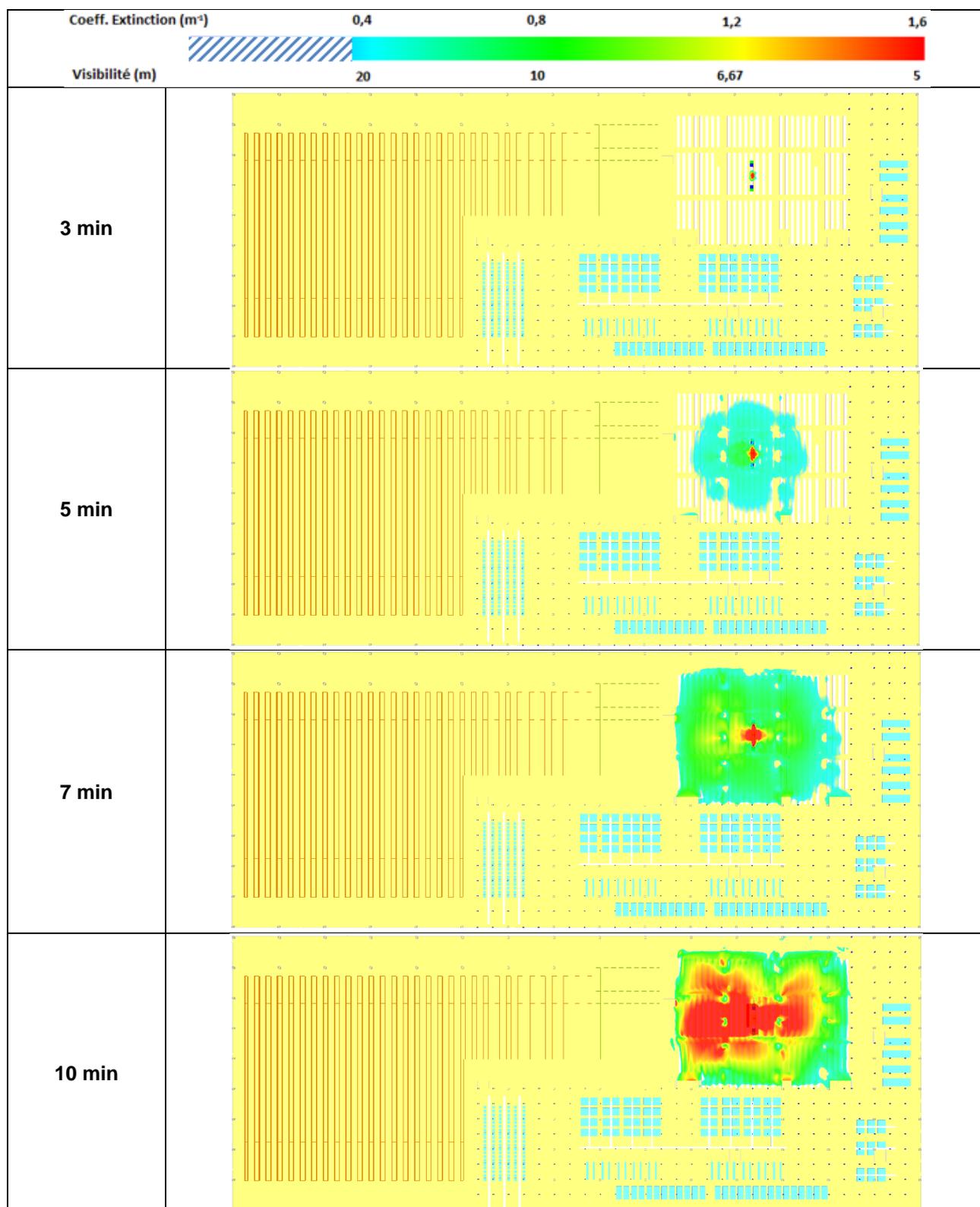


Figure 10-36 : Evolution du critère de visibilité dans l'axe du foyer pour le scénario 5

Les figures ci-dessous présentent au 1^{er} étage le critère de visibilité à hauteur d'homme.

Dans une zone proche du foyer (environ 40 x 40 m), la visibilité est réduite dès 5 minutes pour les personnes se trouvant au 1^{er} étage. Etant donné les temps d'évacuations calculés au § 8, ce temps est compatible avec l'évacuation des personnes dans la mesure où il n'y a pas de temporisation sur le déclenchement de l'alarme sonore.

En dehors de la pick tower de 5 niveaux, les conditions de visibilité restent acceptables au niveau du sol dans tout le reste de l'entrepôt. Les personnes peuvent circuler sur ce niveau pour rejoindre les sorties de secours.



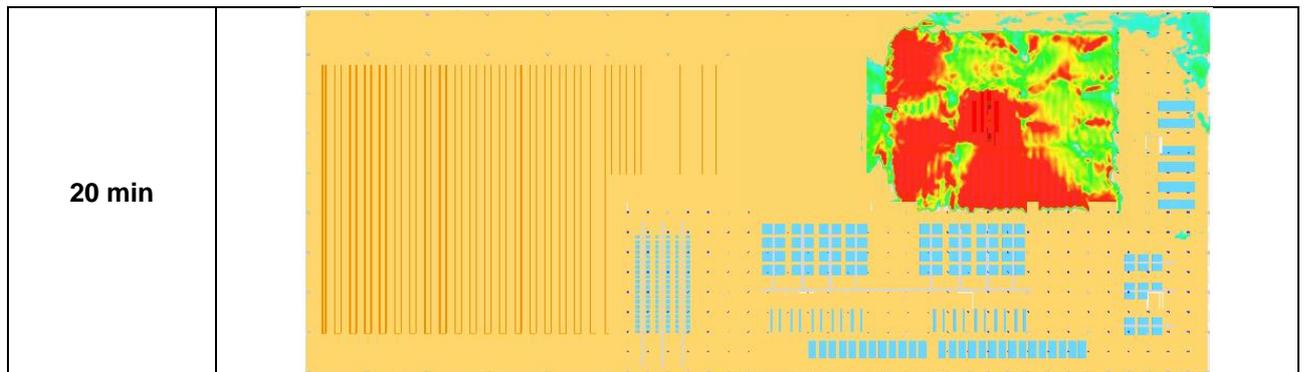
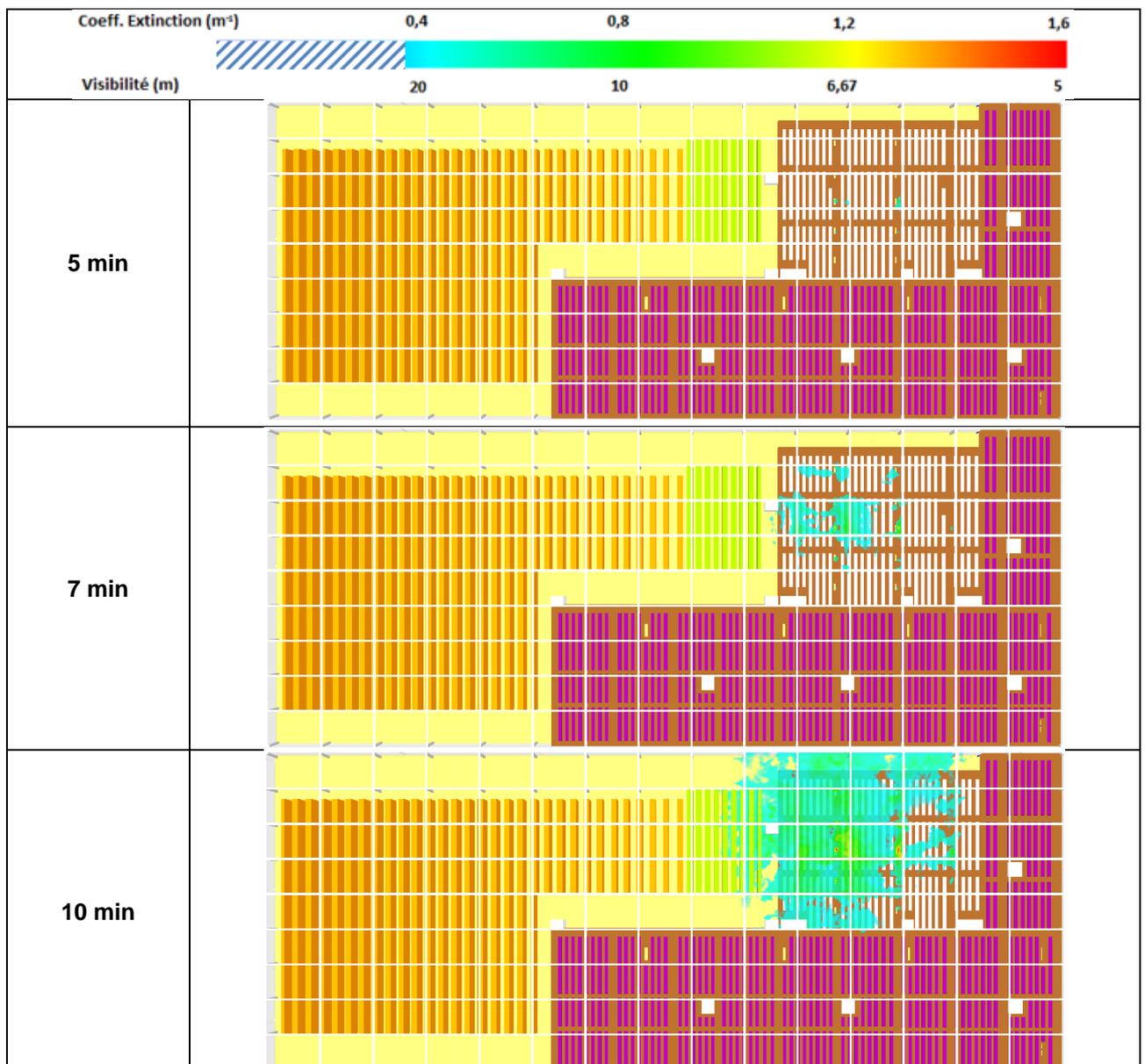


Figure 10-37 : Evolution du critère de visibilité à hauteur d'homme pour le scénario 5

Les figures ci-dessous présentent l'évolution de la visibilité sur le dernier niveau de pick tower. Les fumées ne commencent à se densifier qu'après plus de 7 minutes de feu. A cet instant les personnes ont quitté le niveau. Les dispositifs de désenfumage permettent donc d'évacuer suffisamment de fumées pour conserver des conditions acceptables pendant l'évacuation des personnes. Par la suite, les fumées s'accumulent sous la toiture, les fumées impactent à 20 minutes une majorité du dernier étage des pick tower.



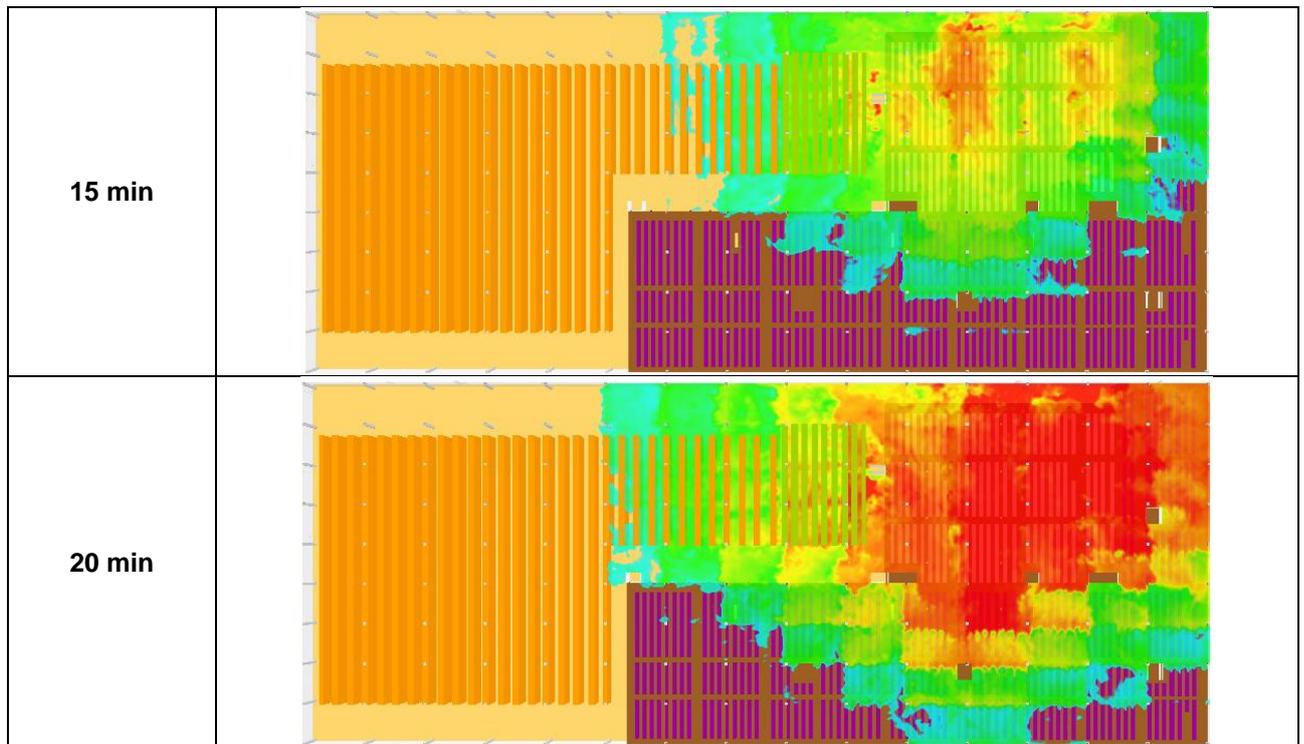
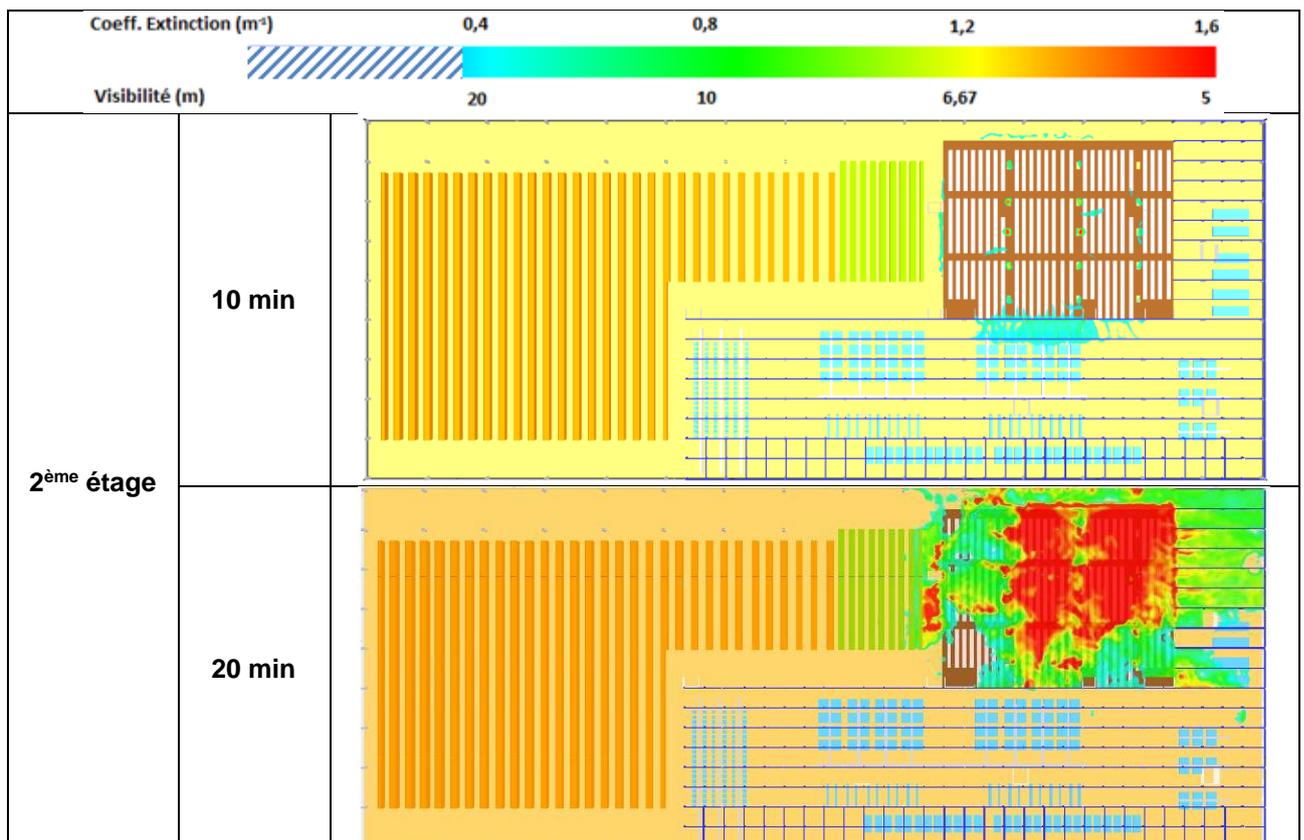


Figure 10-38 : Evolution du critère de visibilité à hauteur d'homme au 5^{ème} étage pour le scénario 5

Les figures ci-dessous présentent la visibilité pour les 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} étages à 10 et 20 minutes. Les conditions restent acceptables à 10 minutes pour l'évacuation des personnes, la visibilité est très localement réduite au droit des trémies. Par la suite, avec la croissance de l'incendie, les fumées se répandent également dans les niveaux supérieurs. A 20 minutes la visibilité dans toute la pick tower de 5 niveaux est réduite à moins de 5 m.



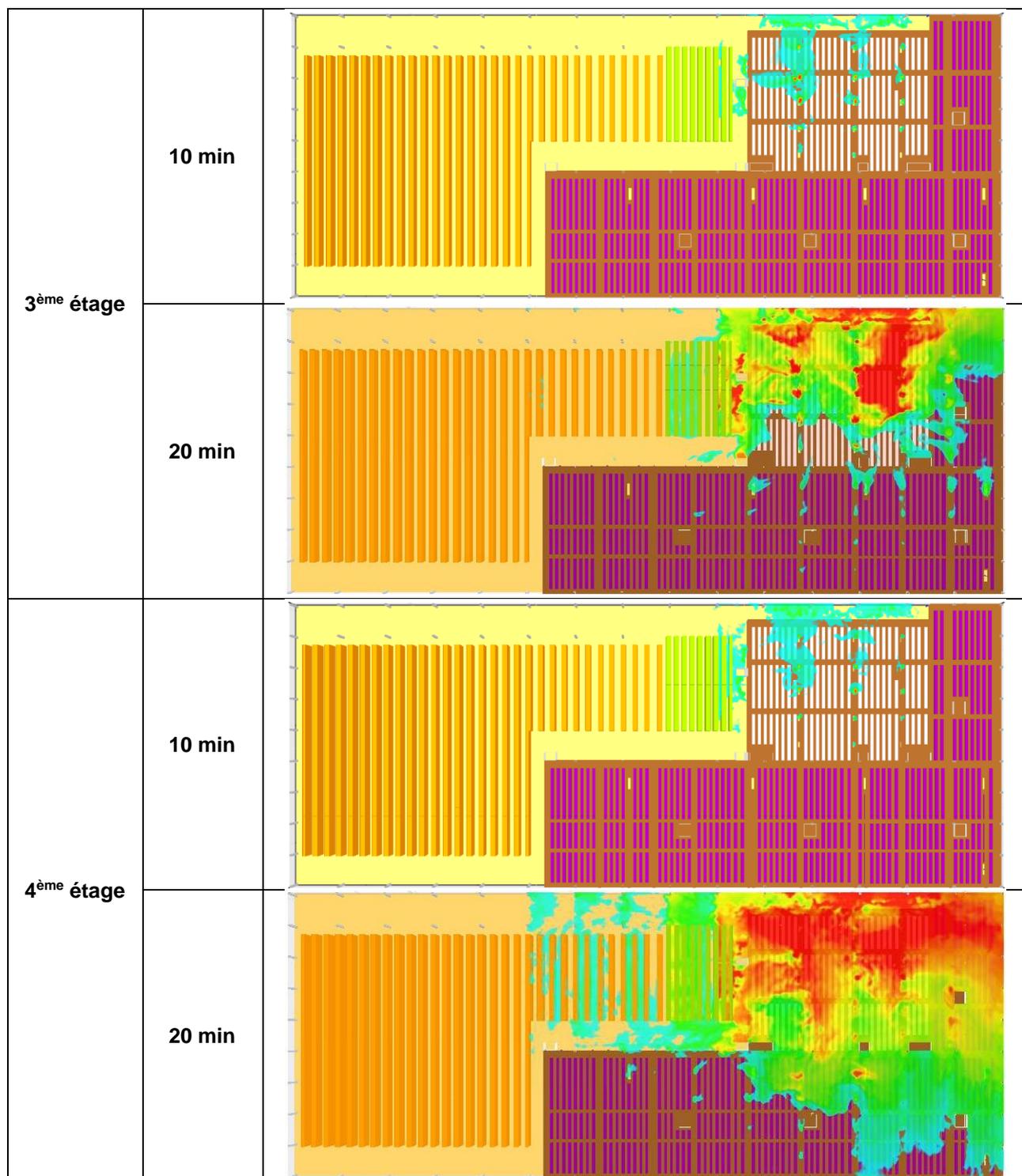


Figure 10-39 : Critère de visibilité à 10 et 20 minutes sur les 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} étages

10.5.3. Température

Les figures ci-dessous présentent la température dans l'axe du foyer. En dehors du niveau en feu et des trémies, les températures dans le reste de l'entrepôt sont inférieures à 40 °C pendant plus de 20 minutes.

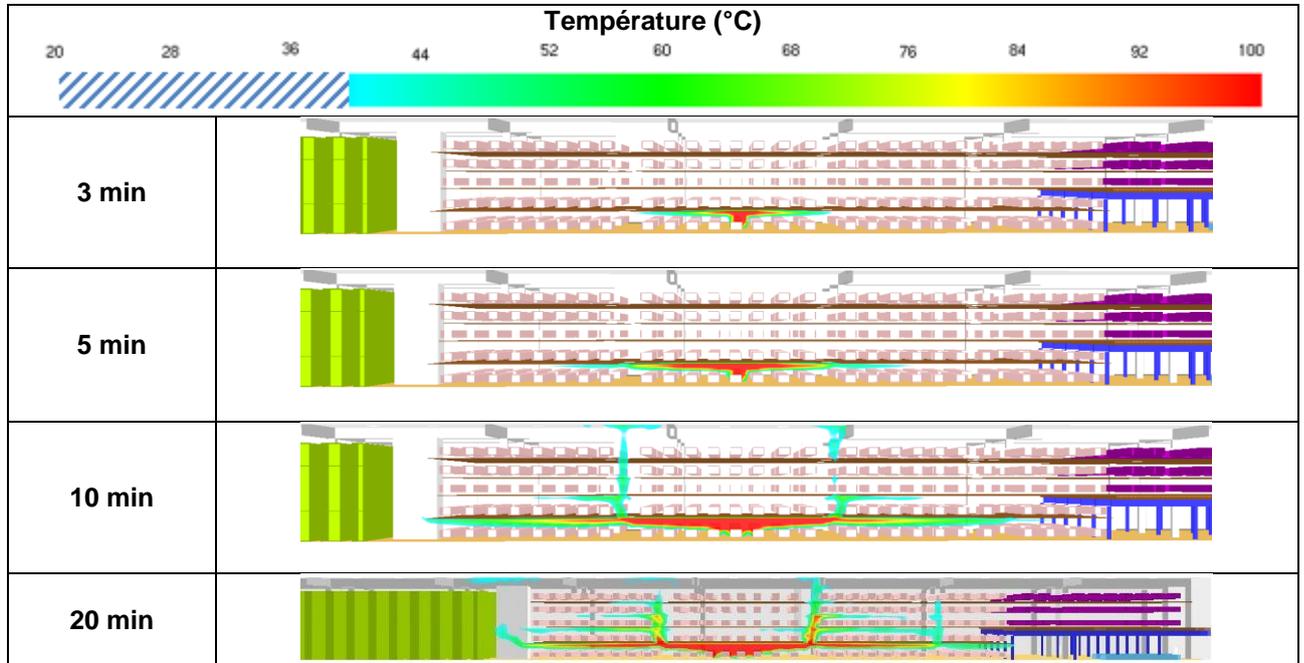
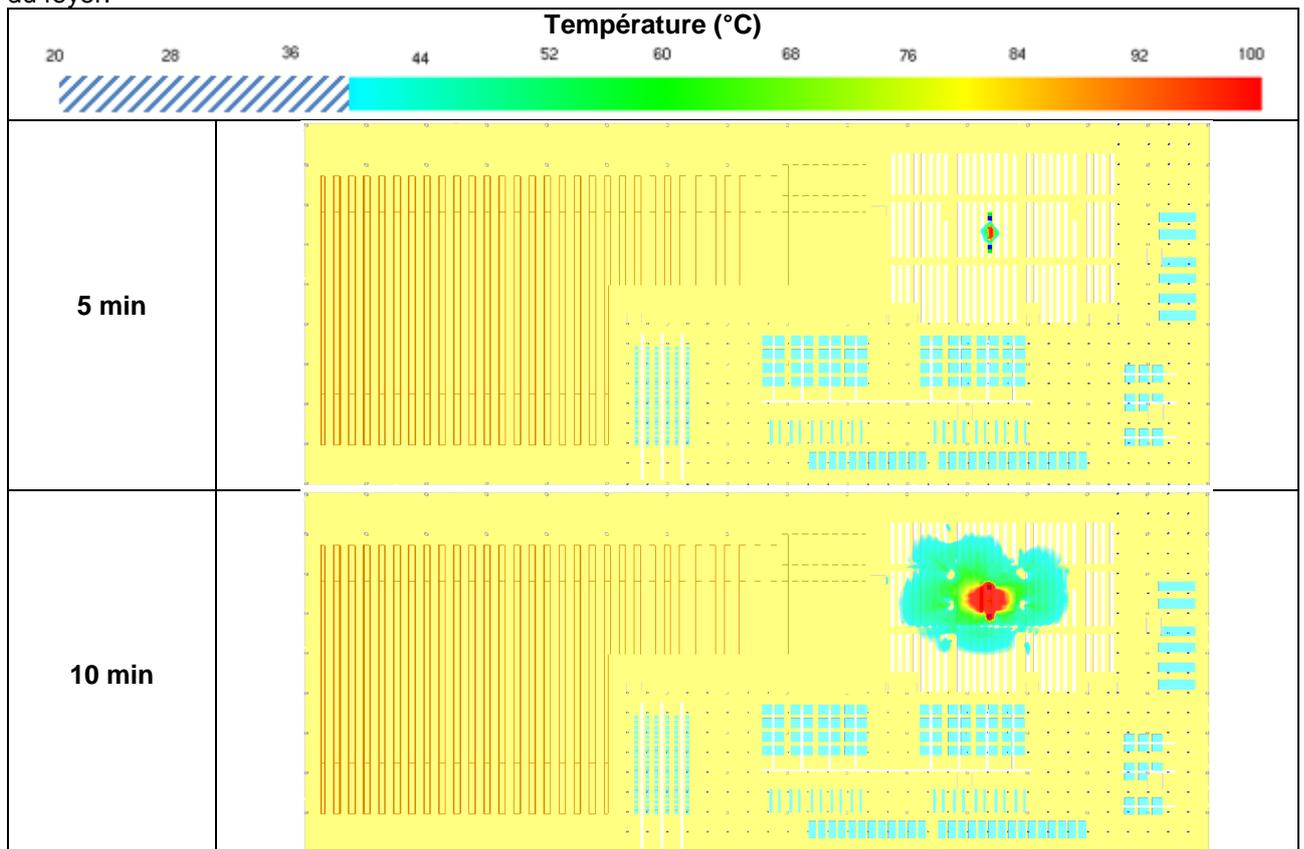


Figure 10-40 : Critère de température dans l'axe du foyer pour le scénario 5

Les figures ci-dessous présentent la température à hauteur d'homme au 1^{er} étage. Pendant les 20 premières minutes de l'incendie, seule la zone au proche du foyer est impactée, le critère reste acceptable dès lors que l'on se trouve à plus de 20 m du foyer. Cette zone impactée augmente progressivement avec la croissance du foyer.



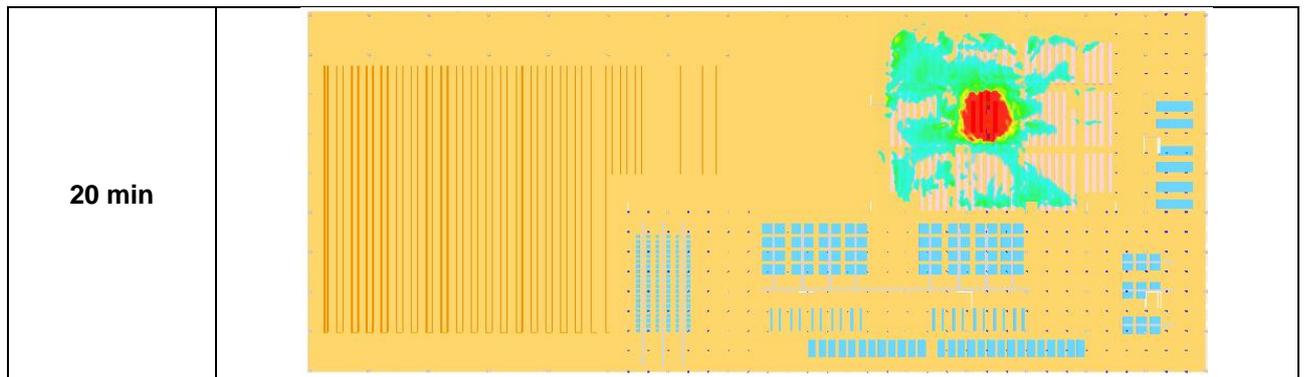


Figure 10-41 : Critère de température à hauteur d'homme pour le scénario 5

10.5.4. Concentration en CO

Les figures ci-dessous présentent l'évolution de la concentration en monoxyde de carbone dans l'axe du foyer.

Le seuil de 150 ppm pour les personnes est atteint à 10 minutes dans une zone proche du feu et, à cet instant les personnes ont fini d'évacuer le niveau. Pendant 20 minutes la concentration en CO reste acceptable sur les niveaux supérieurs.

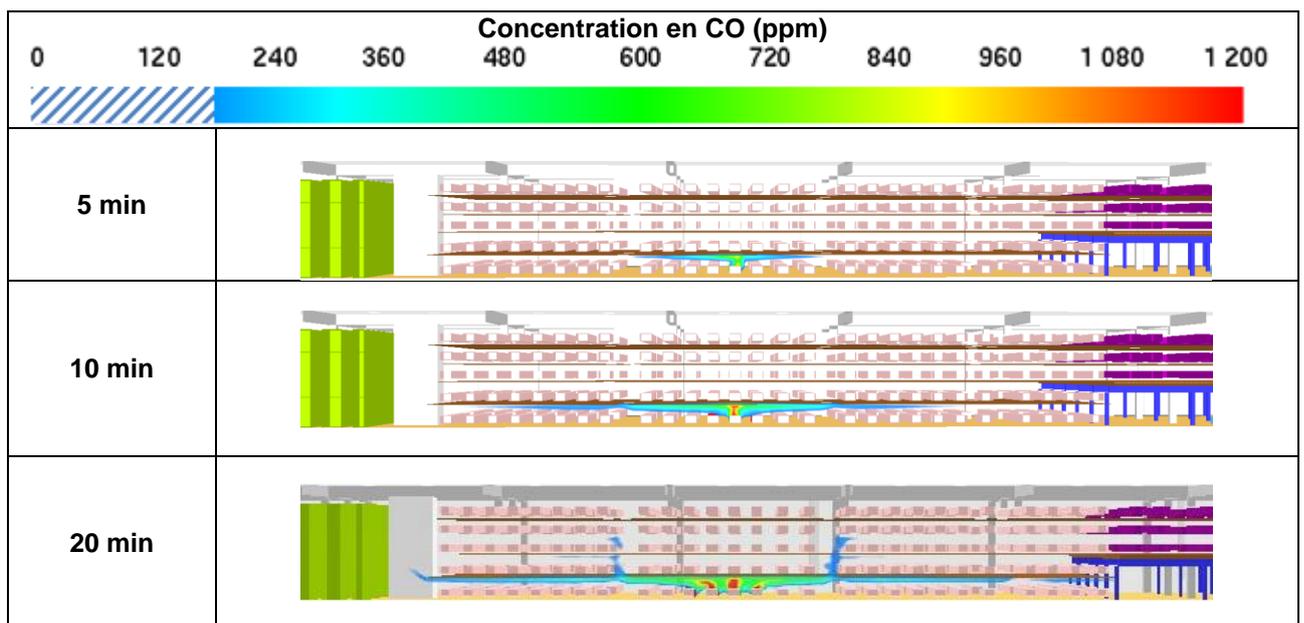


Figure 10-42 : Critère de concentration en monoxyde de carbone pour le scénario 5

10.5.5. Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des temps d'atteinte des critères de tenabilité.

Seul le niveau 1^{er} étage sous la pick tower est impacté rapidement, en 5 minutes. Les conditions de tenabilité dans les autres niveaux sont dépassées après plus de 9 min. Au vu des temps d'évacuation des personnes calculés au §8, la dégradation des conditions a lieu après fin de l'évacuation. Les personnes peuvent donc quitter les niveaux sinistrés dans de bonnes conditions. De plus, le niveau P1 reste praticable pendant plus de 20 minutes, les personnes provenant des niveaux supérieurs des pick towers peuvent donc y transiter pour quitter le bâtiment (la chute potentielle des pic towers avant cet instant ne devant pas impacter la stabilité au feu de la mezzanine).

	Visibilité	Température	Concentration en CO	Flux thermique
1er étage (dans l'emprise de la pick tower)	5 min dans un rayon de 20 m Tout le niveau à 7 min	9 min dans un rayon de 20 m	10 min	> 20 min
Niveau P1	> 20 min	> 20 min en dehors des trémies	> 20 min	> 20 min
2^{ème} étage	14 min			
3^{ème} étage	13 min			
4^{ème} étage	13 min			
5^{ème} étage	9 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min

Tableau 10-7 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les personnes

Le tableau ci-dessous présente le temps d'atteinte des critères pour les services de secours. En dehors de la proximité directe du foyer, les conditions de tenabilité pour les services de secours restent acceptables pendant 17 minutes. A la suite de cela, la visibilité est fortement réduite.

	Visibilité	Température	Flux thermique
1er étage (dans l'emprise de la pick tower)	10 min	9 min dans un rayon de 20 m	> 20 min
Niveau P1	> 20 min	> 20 min	> 20 min
2^{ème} étage	17 min		
3^{ème} étage	17 min		
4^{ème} étage	17 min		
5^{ème} étage	17 min	> 20 min	> 20 min

Tableau 10-8 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les services de secours

10.6. SCENARIO 6 – FEU SUR LA MEZZANINE DANS LA PICK TOWER DE 3 NIVEAUX SANS MAITRISE PAR LE SPRINKLER

10.6.1. Rappel du scénario étudié

Ce scénario prend en compte un feu dans la pick tower sur la mezzanine sans maîtrise de l'incendie par le système de sprinklage.

La figure ci-dessous rappelle la localisation du scénario dans la cellule.

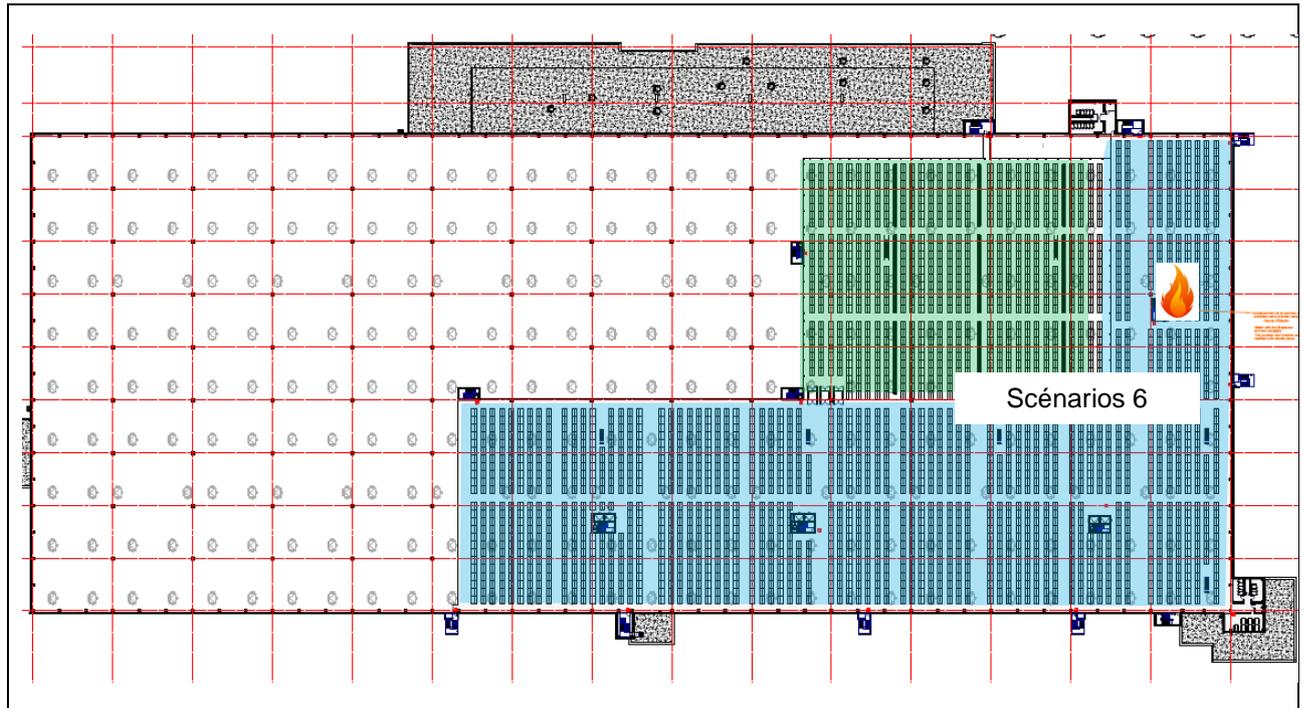


Figure 10-43 : Position de départ du scénario 6

La figure ci-dessous présente l'évolution de la puissance mesurée pour le scénario. Une accélération de la cinétique de l'incendie est observée à partir de 8 minutes, l'incendie se propage au-delà du 1^{er} rayonnement en feu. Une accélération progressive de la propagation de l'incendie est observée par la suite.

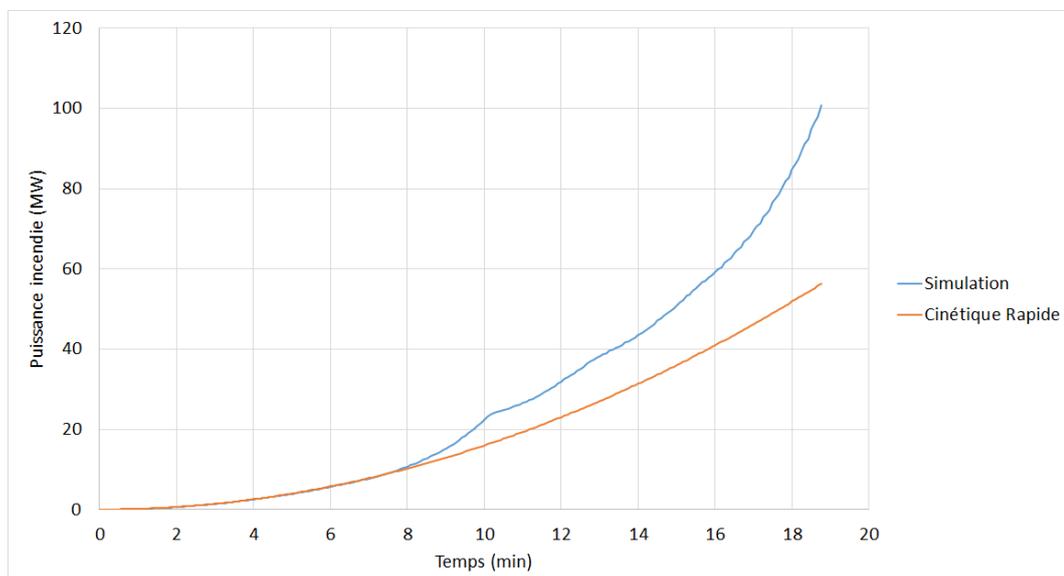


Figure 10-44 : Evolution de la puissance de l'incendie non maîtrisé par le sprinklage

10.6.2. Coefficient d'extinction

Les figures ci-dessous présentent une coupe du critère de visibilité dans l'axe du foyer. On constate que pendant les 5 premières minutes, les fumées denses sont limitées au 3^{ème} étage et à l'aplomb des trémies. Après ce temps, l'augmentation de la puissance de l'incendie entraîne une production de suies importante qui vient redistribuer de la fumée dans tous les niveaux. A 20 minutes, des fumées denses sont présentes sur une partie de tous les niveaux.

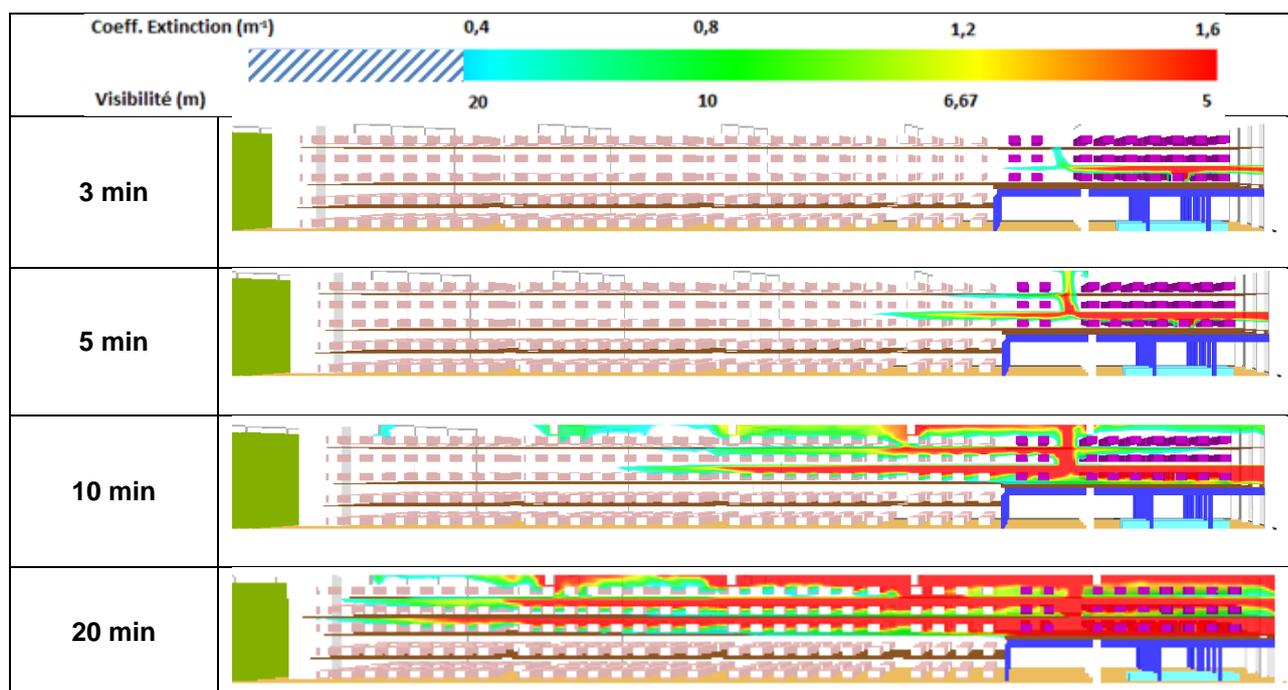


Figure 10-45 : Evolution du critère de visibilité dans l'axe du foyer pour le scénario 6

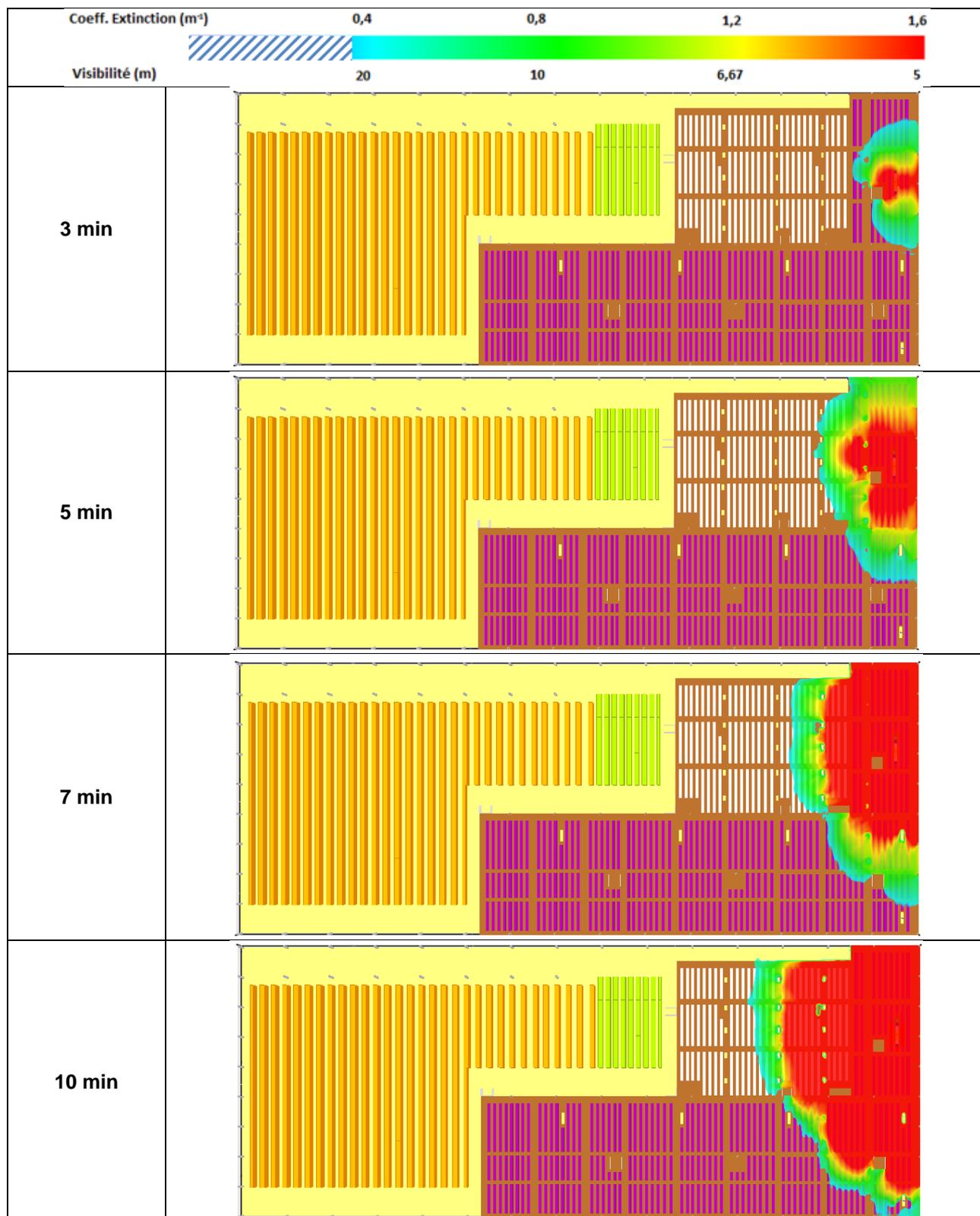
Les figures ci-dessous présentent au 3^{ème} étage le critère de visibilité à hauteur d'homme.

Du fait de la non maîtrise de l'incendie par le système de sprinkler, la surface impactée par ce scénario est rapidement importante. Dès 5 minutes, le critère est atteint sur 80 m x 30 m. Il est nécessaire que les personnes soient alertées rapidement du départ de feu pour leur permettre de quitter le niveau sinistré avant la dégradation des conditions. Une fois le niveau quitté, le niveau P1 étant en dehors des fumées, ils peuvent finaliser leur évacuation dans de bonnes conditions.

Pour les services de secours, la visibilité est rapidement inférieure à 5 m dans la zone où le feu débute. A 20 minutes, la visibilité est réduite sur la moitié du 3^{ème} étage ce qui peut compliquer l'intervention dans les pick towers et sur la mezzanine.

Pour ce scénario on observe qu'à l'inverse du scénario avec maîtrise par le sprinkler, aucun état stationnaire n'est atteint, la surface dégradée par le feu augmente au cours du temps. La quantité de fumées produite est plus importante que la quantité évacuée par les trémies.

La non maîtrise de l'incendie par le sprinklage représente une aggravation du risque mais ne remet pas en cause l'évacuation dans la mesure où l'alarme est donnée sans temporisation.



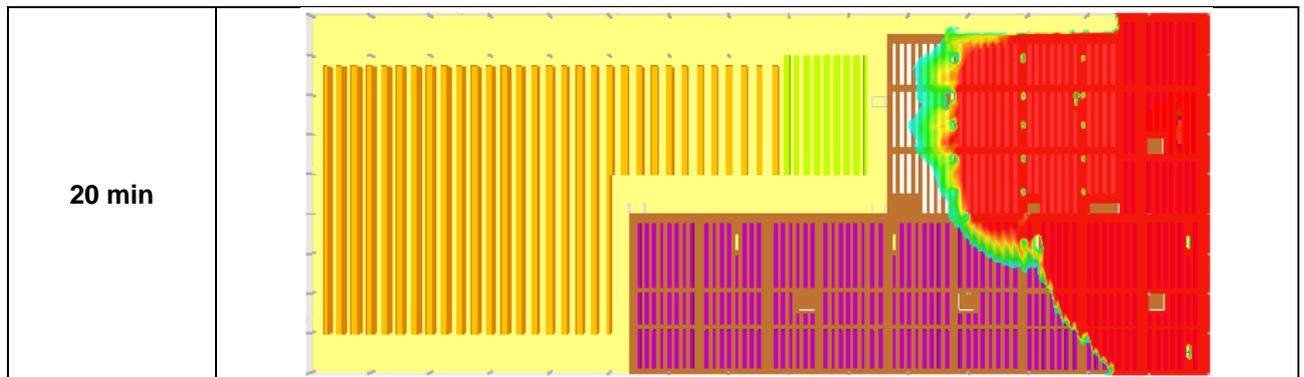
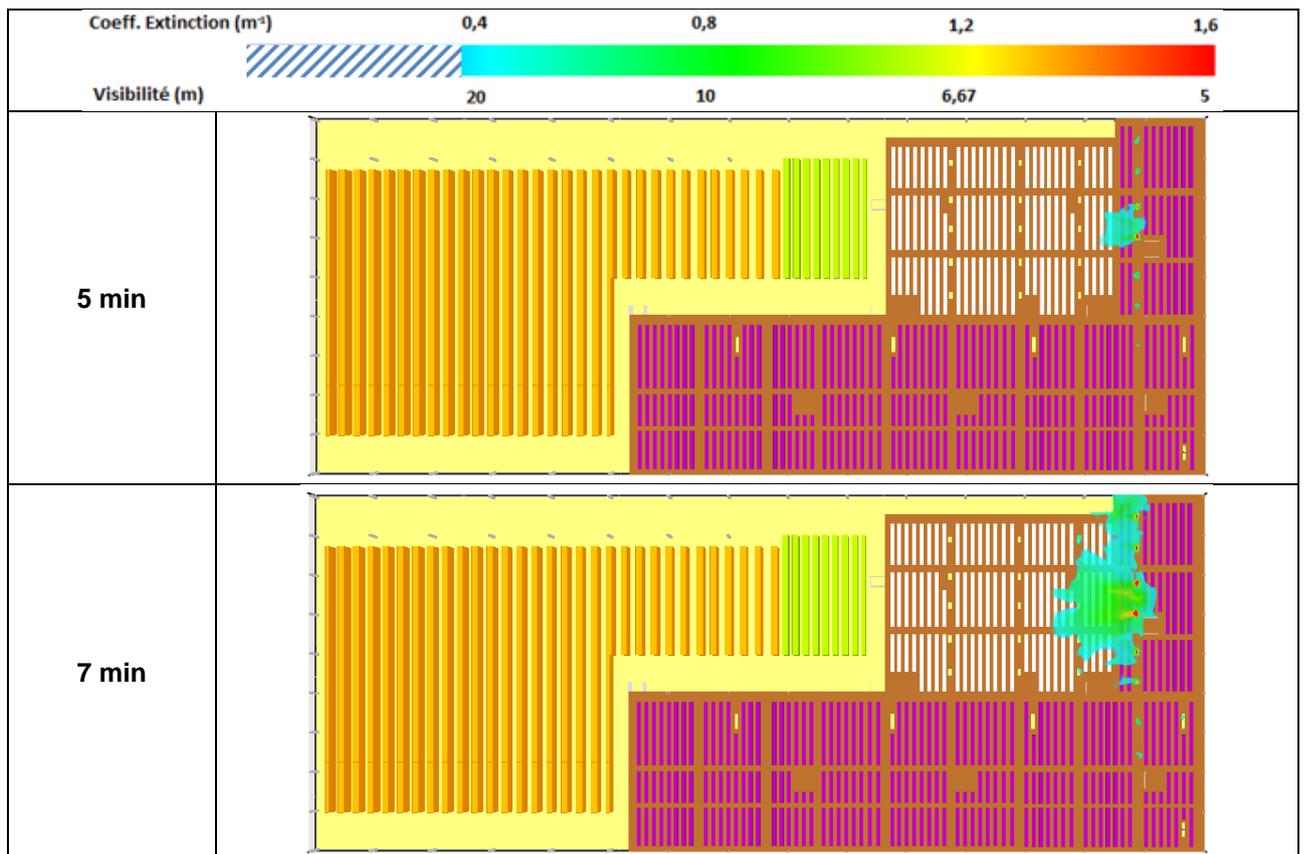


Figure 10-46 : Evolution du critère de visibilité à hauteur d'homme au 3^{ème} étage pour le scénario 6

Les figures ci-dessous présentent l'évolution de la visibilité au 4^{ème} étage. Les fumées transitant par les trémies ne commencent à se répandre dans le niveau qu'à partir de 7 minutes. Les dispositifs de désenfumage permettent donc d'évacuer suffisamment de fumées pour conserver des conditions acceptables pendant l'évacuation des personnes. A 20 minutes, la visibilité pour les personnes et les services de secours est réduite sur un tiers du 4^{ème} étage.



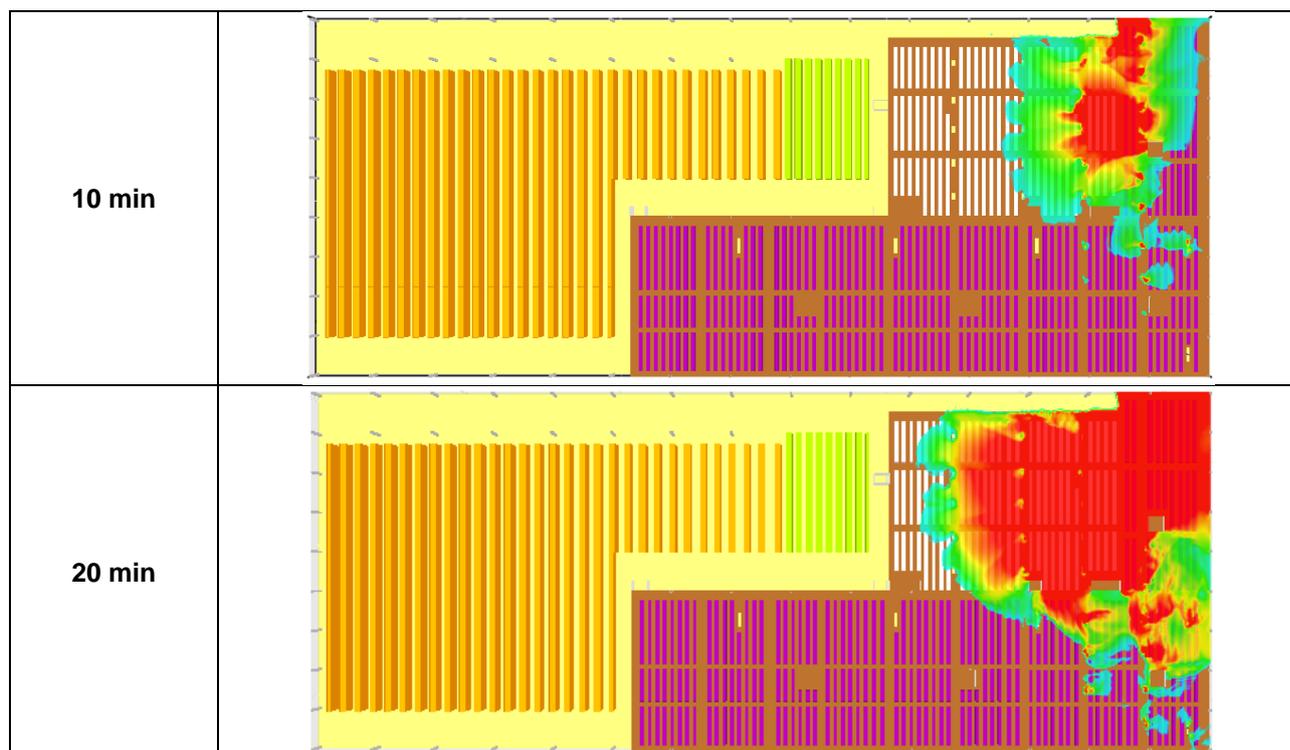
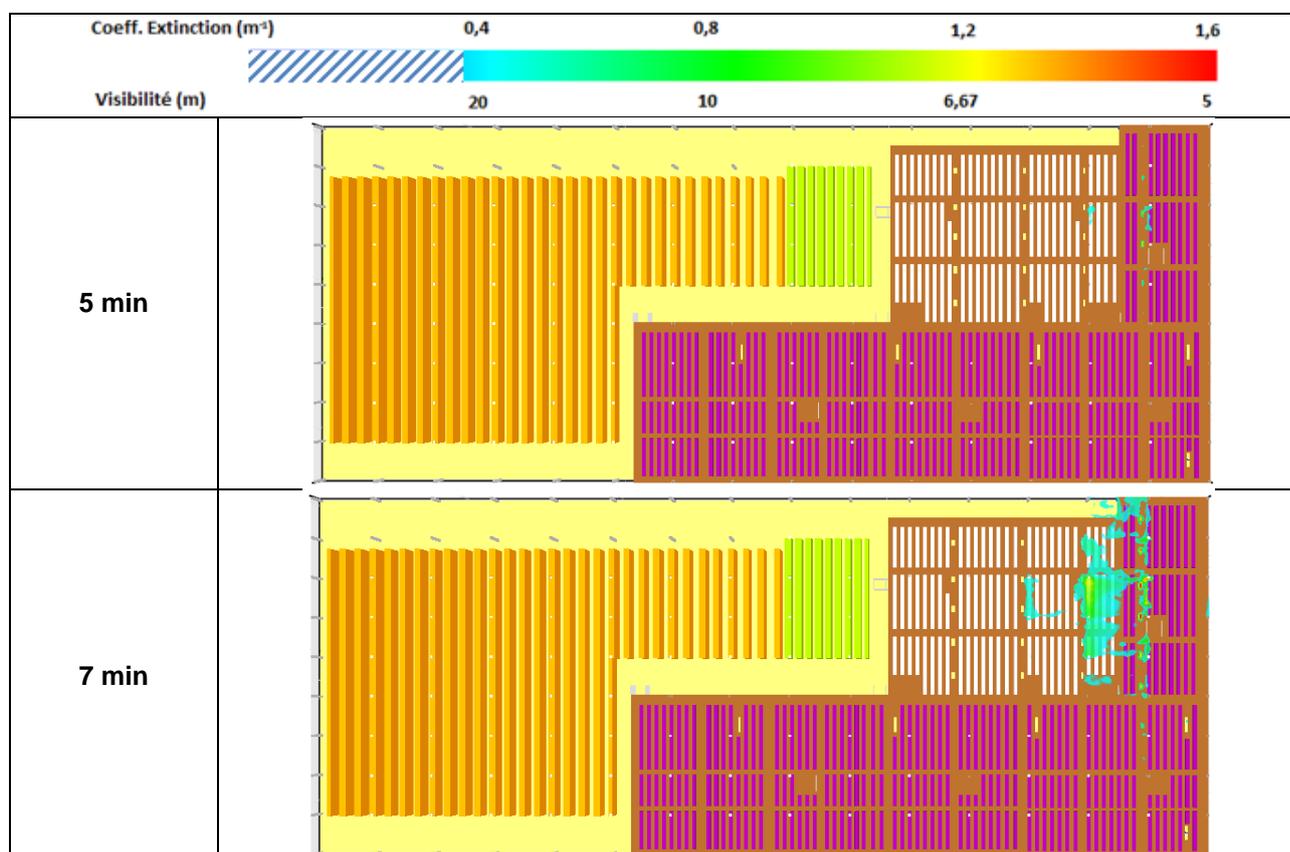


Figure 10-47 : Evolution du critère de visibilité au 4^{ème} étage pour le scénario 6

Comme pour le 4^{ème} étage, la visibilité au 5^{ème} étage (visible ci-dessous) ne commence à être réduite qu'à partir de 7 minutes. Les personnes peuvent donc évacuer cet étage avant la perte de la visibilité. A 20 minutes, la visibilité pour les personnes et les services de secours est réduite sur un tiers du 5^{ème} étage.



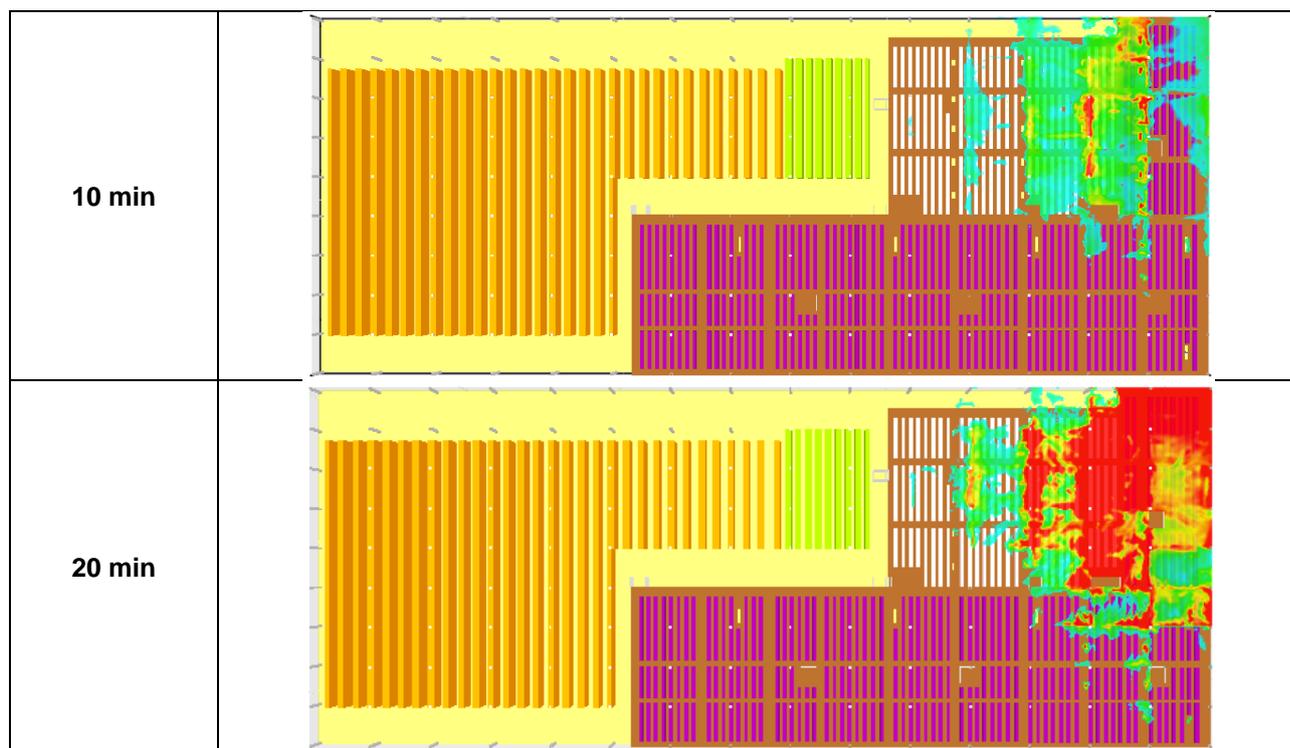


Figure 10-48 : Evolution du critère de visibilité au 5^{ème} étage pour le scénario 6

10.6.3. Température

Les figures ci-dessous présentent la température dans l'axe du foyer. En dehors du niveau en feu, les températures dans le reste de l'entrepôt sont inférieures à 40 °C pendant plus de 20 minutes.

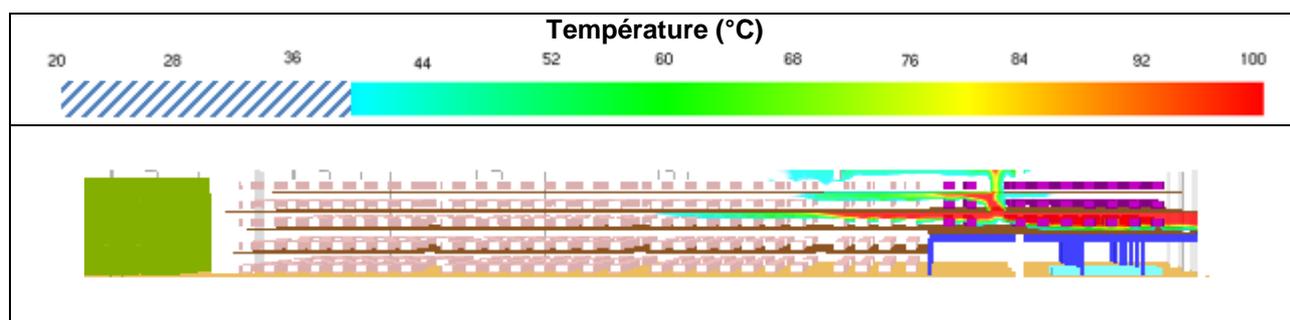


Figure 10-49 : Critère de température à 20 minutes dans l'axe du foyer pour le scénario 6

Les figures ci-dessous présentent la température à hauteur d'homme au 3^{ème} étage. Pendant les 10 premières minutes de l'incendie, seule la zone au proche du foyer est impactée, le critère reste acceptable dès lors que l'on se trouve à plus de 30 m du foyer. Par la suite la zone non praticable par les personnes et les services de secours augmente progressivement avec le développement de l'incendie.

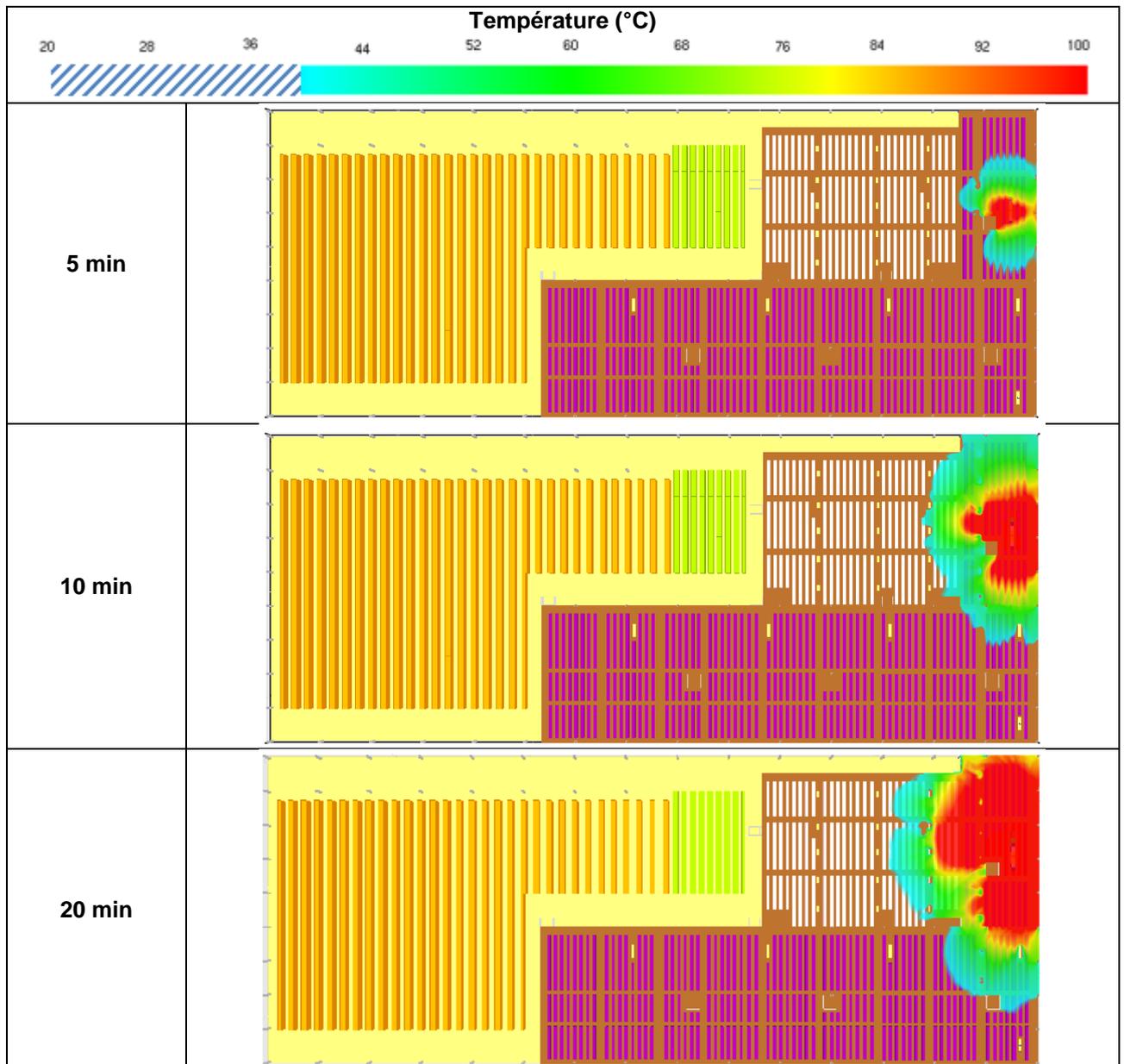


Figure 10-50 : Critère de température à hauteur d'homme au 3^{ème} étage pour le scénario 6

10.6.4. Concentration en CO

Les figures ci-dessous présentent l'évolution de la concentration en monoxyde de carbone au 3^{ème} étage.

Le seuil de 150 ppm pour les personnes est atteint à partir de 8 minutes dans la zone où le foyer débute. A cet instant les personnes ont quitté l'étage, cela ne remet pas en cause l'évacuation. Avec la croissance de l'incendie, la quantité de monoxyde de carbone produite augmente fortement à partir de 10 minutes, on observe alors à 20 minutes une concentration supérieure à 150 ppm sur toute la partie droite des niveaux de circulation.

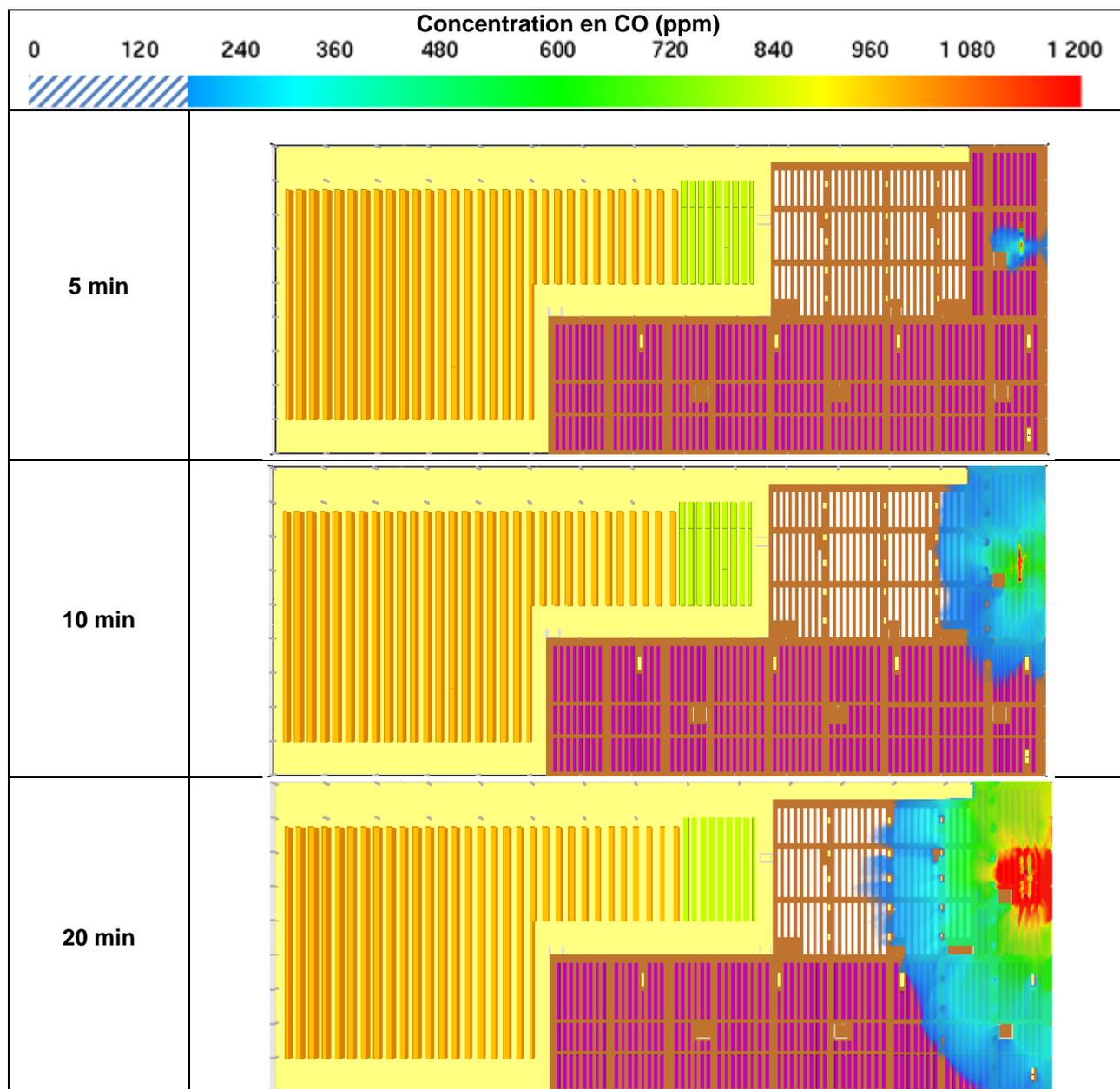


Figure 10-51 : Critère de concentration en monoxyde de carbone pour le scénario 6

10.6.5. Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des temps d'atteinte des critères de tenabilité.

Pour ce scénario le critère de visibilité est atteint rapidement sur une surface de 80 x 30 m autour du foyer dès 5 minutes. En considérant l'absence de temporisation sur le déclenchement de l'alarme, ce temps de perte de visibilité est compatible avec le temps d'évacuation des personnes.

Les autres critères sont atteints après plus de 10 minutes, à cet instant les personnes ont évacué. Le niveau P1 reste libre de fumées pendant au moins 20 minutes, les personnes venant des niveaux supérieurs peuvent donc y transiter pour leur évacuation (la chute potentielle des pic towers avant cet instant ne devant pas impacter la stabilité au feu de la mezzanine).

	Visibilité	Température	Concentration en CO	Flux thermique
Niveau P1 et 1^{er} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min
2^{ème} étage				
3^{ème} étage	5 min sur une surface de 80 m x 30 m 10 min sur la moitié du niveau	10 min sur une surface de 80 m x 30 m	10 min sur une surface de 80 m x 30 m	10 min sur une surface de 60 m x 30 m
4^{ème} étage	Localement à partir de 7 min	Localement au proche des trémies à 15 min > 20 min dans le reste du niveau	Localement au proche des trémies à 15 min > 20 min dans le reste du niveau	> 20 min
5^{ème} étage	Localement à partir de 7 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min

Tableau 10-9 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les personnes

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des temps d'atteinte des conditions de tenabilité pour les services de secours. Dans le niveau où le feu démarre, les conditions sont rapidement dégradées ce qui peut gêner l'intervention des services de secours en cas de défaillance du système de sprinkler.

	Visibilité	Température	Flux thermique
Niveau P1 et 1^{er} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min
2^{ème} étage			
3^{ème} étage	5 min sur une surface de 40 m x 20 m 10 min sur la moitié du niveau	10 min sur une surface de 40 m x 20 m	Dans la zone de feu
4^{ème} étage	Localement à partir de 10 min	> 20 min	> 20 min
5^{ème} étage	Localement à partir de 18 min	> 20 min	> 20 min

Tableau 10-10 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les services de secours

10.7. SCENARIO 7 – FEU DANS LA VNA AVEC MAITRISE PAR LE SPRINKLER

10.7.1. Rappel du scénario étudié

Ce scénario prend en compte un feu dans la VNA. Il est considéré que le système de sprinkler permet de maîtriser le développement du feu.

Les figures ci-dessous rappellent la courbe de montée en puissance et la localisation du scénario dans la cellule.

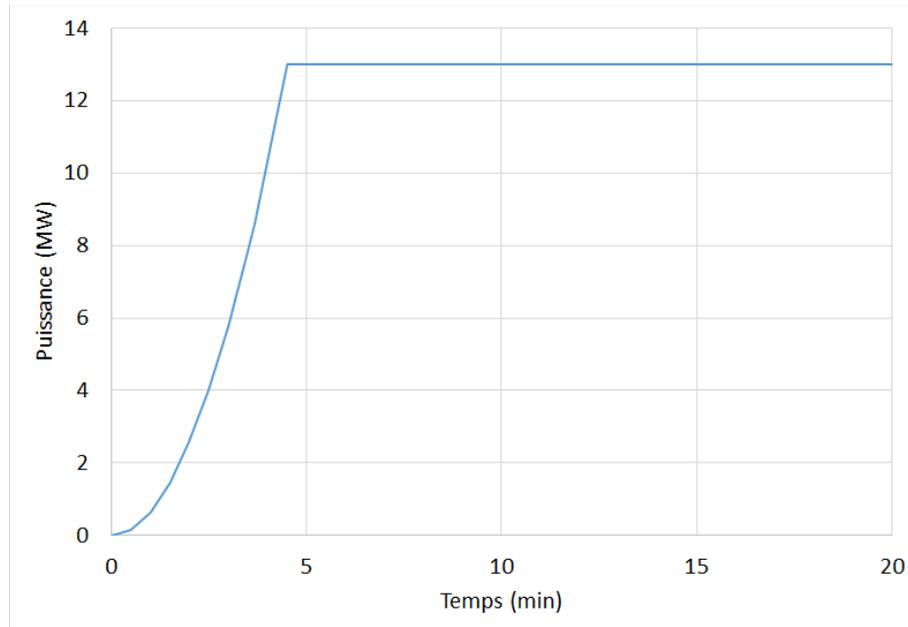


Figure 10-52 : Evolution de la puissance de l'incendie pour le scénario 7 dans la VNA

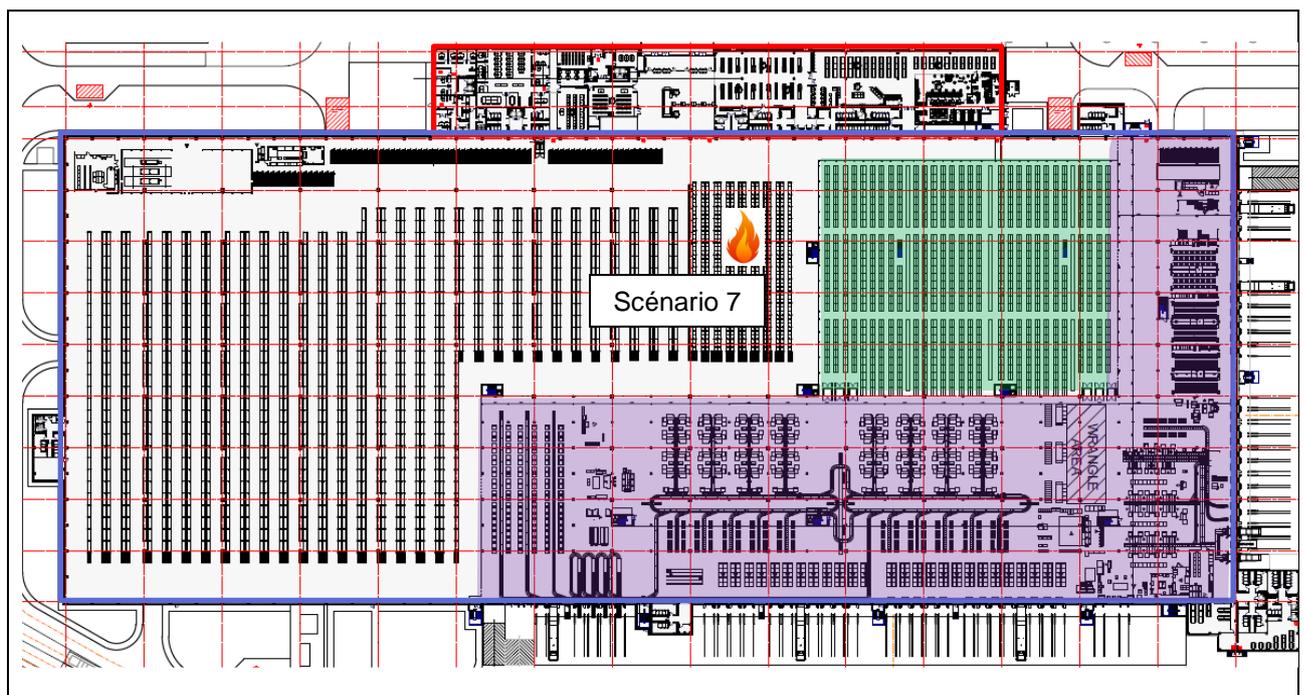


Figure 10-53 : Position du scénario 7 dans la VNA

10.7.2. Coefficient d'extinction

Les figures ci-dessous présentent des coupes de visibilité dans l'axe du foyer. Les fumées restent concentrées sous la toiture, un état stationnaire s'établit à partir de 10 minutes et la hauteur de la couche de fumée n'augmente plus. Les niveaux inférieurs ne sont pas impactés par ce scénario.

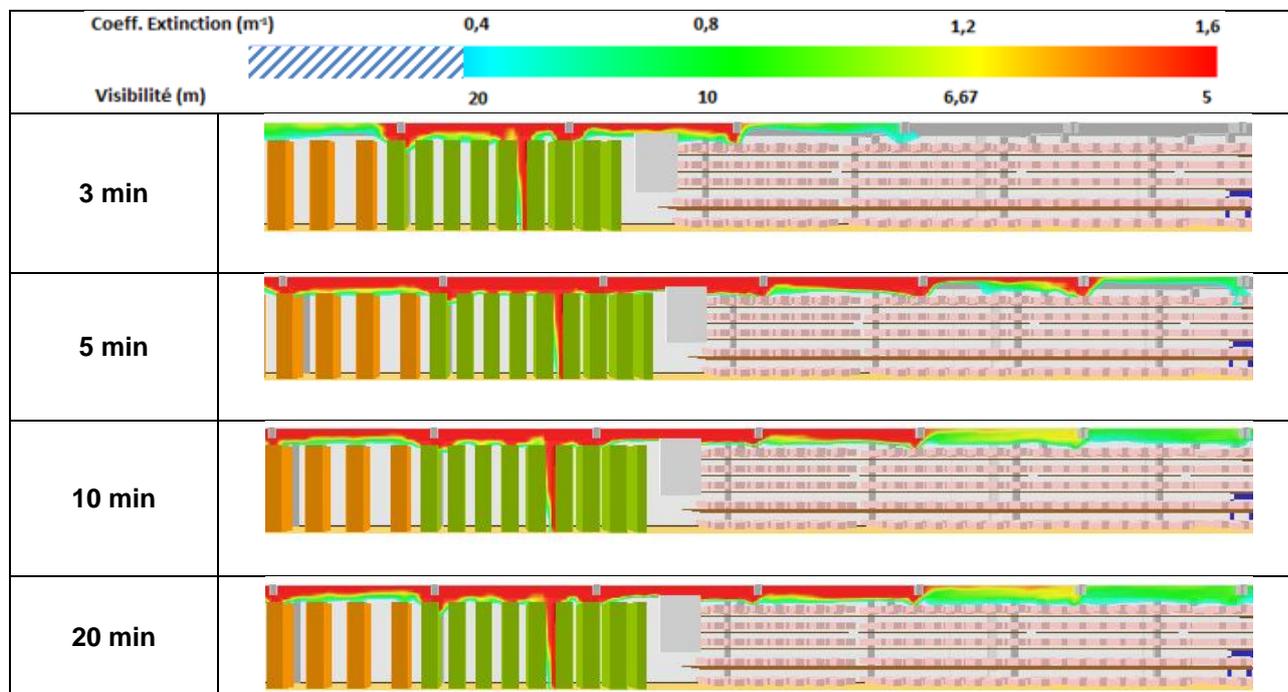
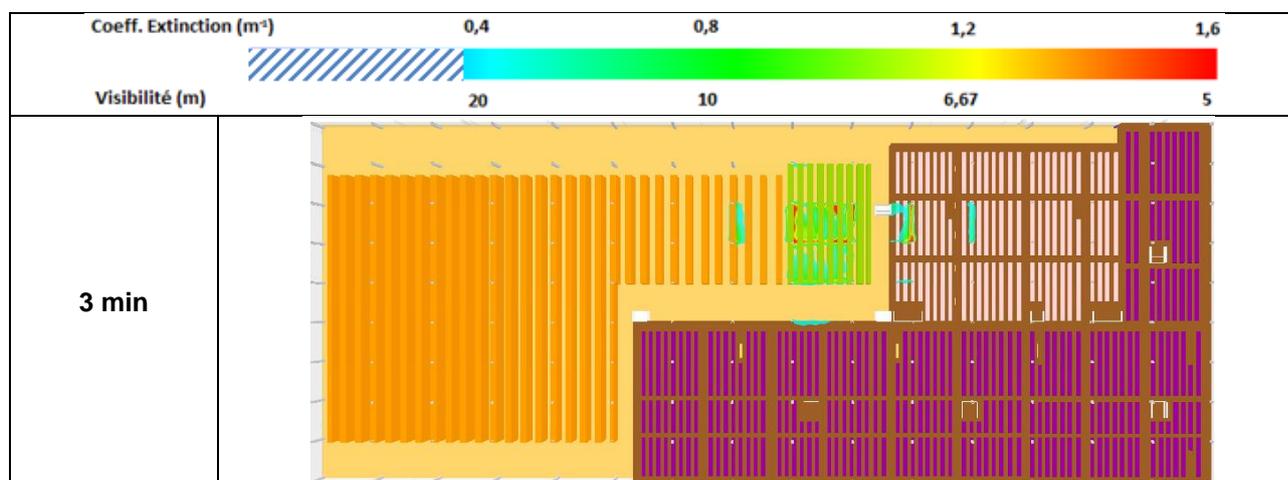


Figure 10-54 : Coupe du critère de visibilité pour le scénario 7

Les figures ci-dessous présentent la visibilité à hauteur d'homme sur le dernier niveau de pick tower. Des fumées résiduelles sont présentes à 5 minutes sur les pick towers, néanmoins l'activation du système de désenfumage à 5 minutes permet de les évacuer massivement, on observe une amélioration de la visibilité à 6 minutes. A 10 minutes, le critère de visibilité est atteint ponctuellement sur le niveau mais les personnes ont déjà évacué à cet instant. Une densification des fumées est observée par la suite, à 20 minutes, la visibilité est réduite à moins de 20 m sur toute la pick tower de 5 niveaux, l'état stationnaire du feu et de l'enfumage étant atteints à 20 minutes pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler.



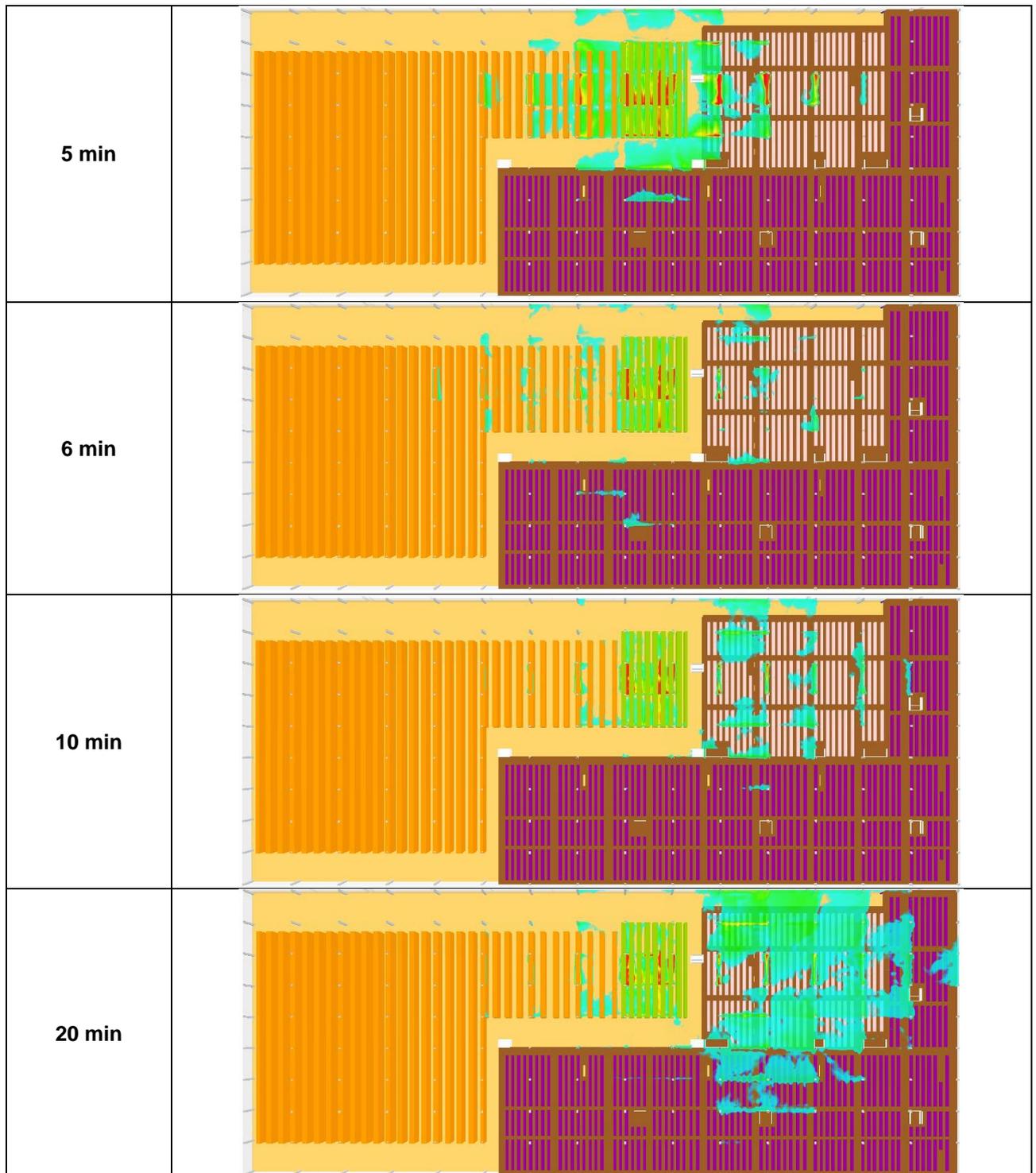


Figure 10-55 : Evolution du critère de visibilité sur le dernier niveau de pick tower pour le scénario 7

10.7.3. Température

Les figures ci-dessous présentent une coupe de température dans l'axe du foyer. En dehors de la zone à proximité du départ de feu les températures restent inférieures à 40 °C.

Les conditions de températures sont donc compatibles avec l'évacuation du personnel et l'intervention des secours.

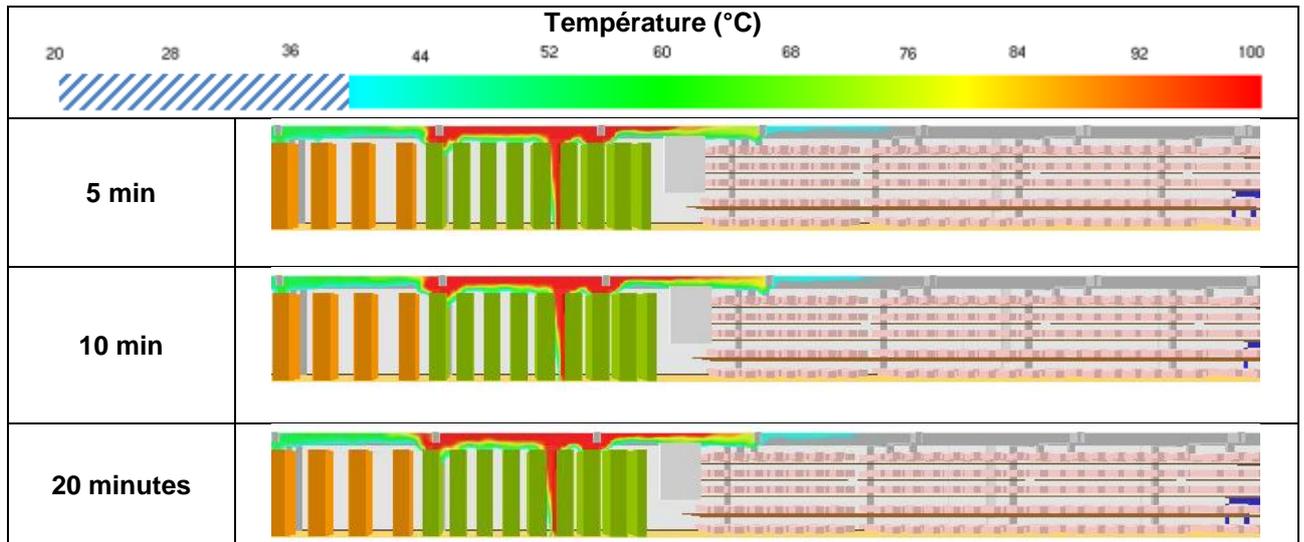


Figure 10-56 : Coupe du critère de température pour le scénario 7

10.7.4. Concentration en CO

La figure ci-dessous présente le critère de concentration en monoxyde de carbone à 20 minutes. Le critère de 150 ppm pour les personnes n'est pas atteint en dehors du panache de fumées, la concentration en CO est inférieure à 60 ppm au maximum.

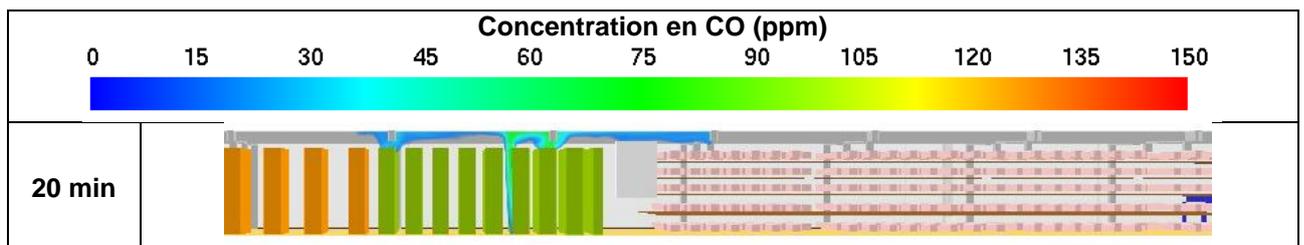


Figure 10-57 : Coupe du critère de concentration en CO pour le scénario 7

10.7.5. Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des temps d'atteinte des critères de tenabilité. Seul le niveau dernier niveau de pick tower (5^{ème} étage) est impacté localement lors des 10 premières minutes du feu. Les personnes peuvent donc évacuer dans de bonnes conditions.

	Visibilité	Température	Concentration en CO	Flux thermique
Niveau P1 et 1 ^{er} étage	> 20 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min
2 ^{ème} étage				
3 ^{ème} étage				
4 ^{ème} étage				
5 ^{ème} étage	Localement à 9 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min

Tableau 10-11 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les personnes

Pour les services de secours, les critères de tenabilité ne sont pas atteints pendant les 20 premières minutes du feu, ils peuvent intervenir dans tous les niveaux de l'entrepôt.

Pour rappel, pour ce scénario dont le développement est maîtrisé par le système de sprinkler, les résultats à 20 minutes représentent l'état stationnaire du feu et de l'enfumage.

10.8. SCENARIO 8 – FEU DANS LA VNA SANS MAITRISE DE LA PUISSANCE PAR LE SPRINKLER

10.8.1. Rappel du scénario étudié

Ce scénario prend en compte un feu dans VNA sans maîtrise de l'incendie par le système de sprinkler.

La figure ci-dessous rappelle la localisation du scénario dans la cellule.

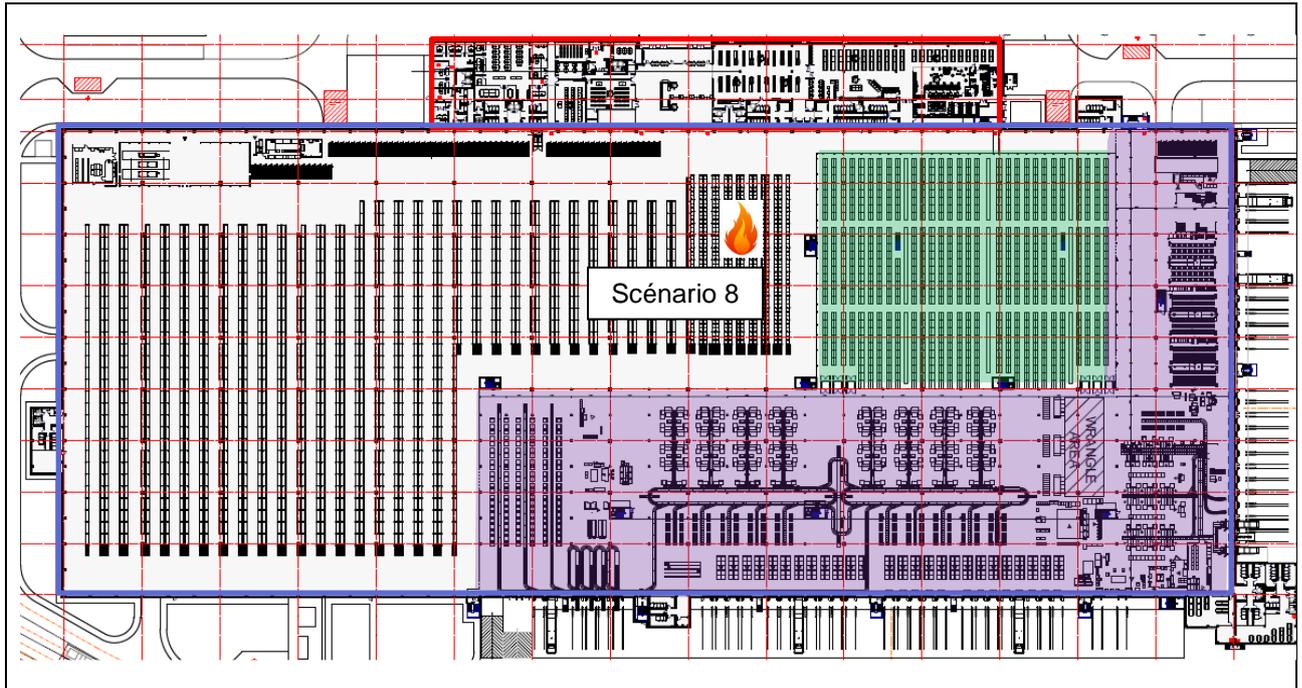


Figure 10-58 : Position du scénario 8 dans la VNA

La figure ci-dessous présente l'évolution de la puissance mesurée pour le scénario. Une accélération de la cinétique de l'incendie est observée à partir de 10 minutes, le feu se propage aux VNA entourant le rack brûlant initialement ce qui augmente la quantité d'énergie dégagée par l'incendie.

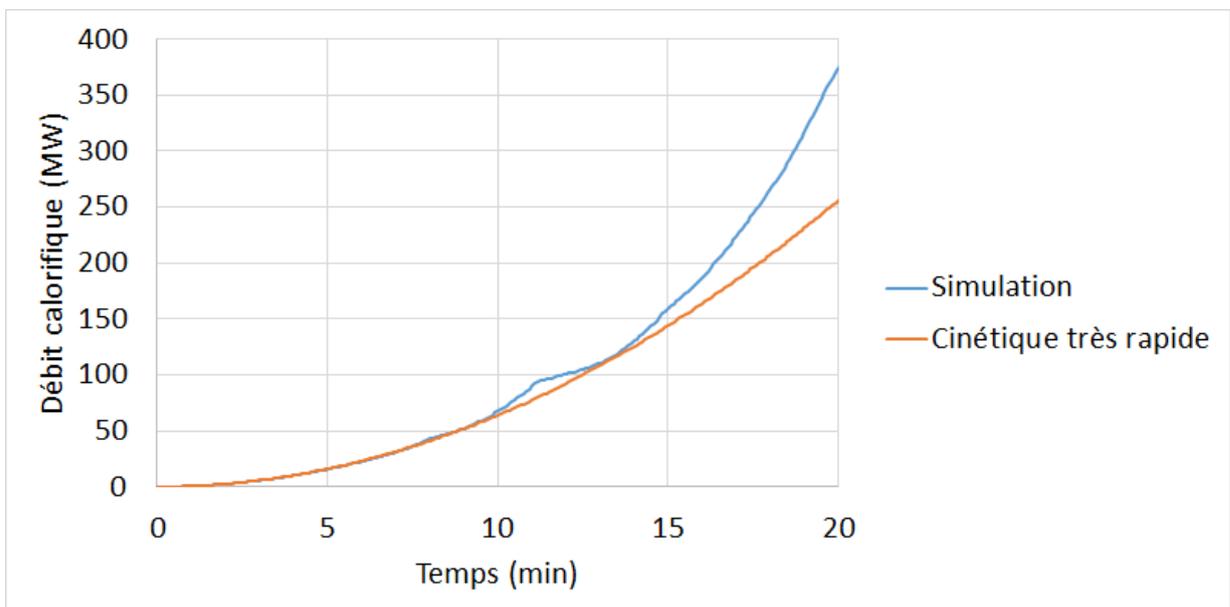


Figure 10-59 : Evolution de la puissance de l'incendie non maîtrisé par le sprinklage

10.8.2. Coefficient d'extinction

Les figures ci-dessous présentent des coupes de visibilité dans l'axe du foyer. Comme pour le scénario 7, les fumées restent concentrées sous la toiture pendant les 20 premières minutes, les niveaux inférieurs ne sont pas impactés par ce scénario.

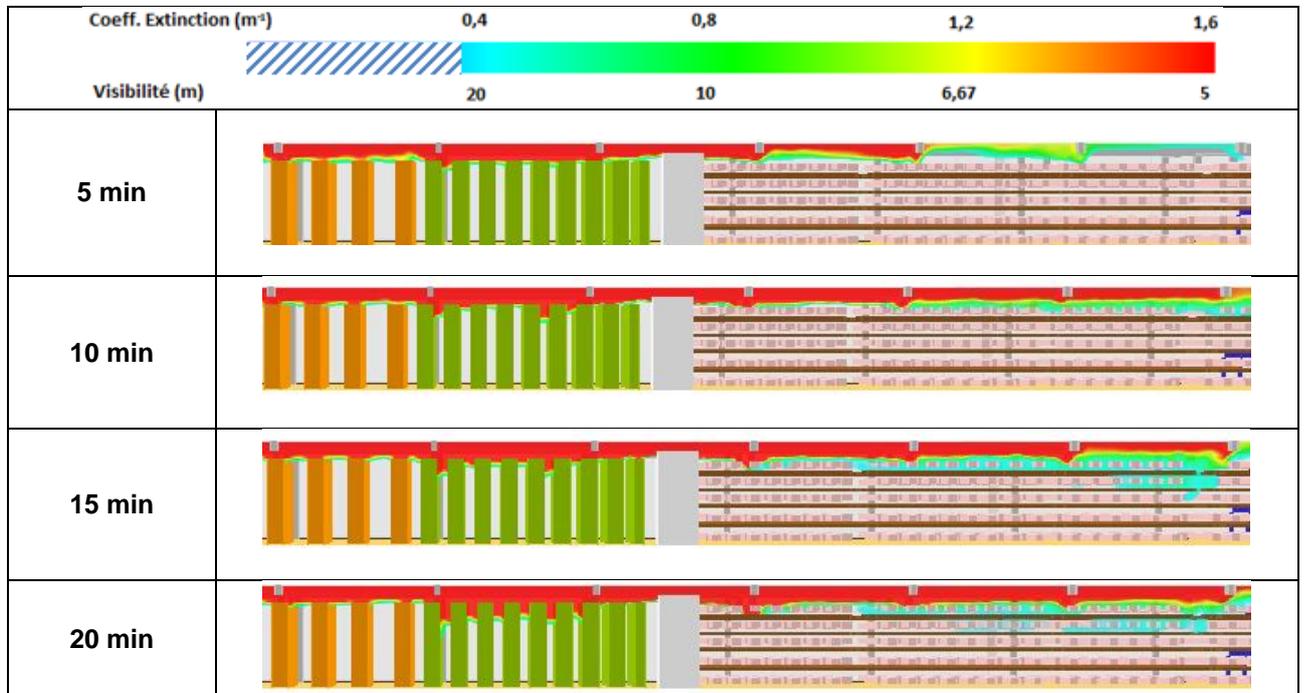
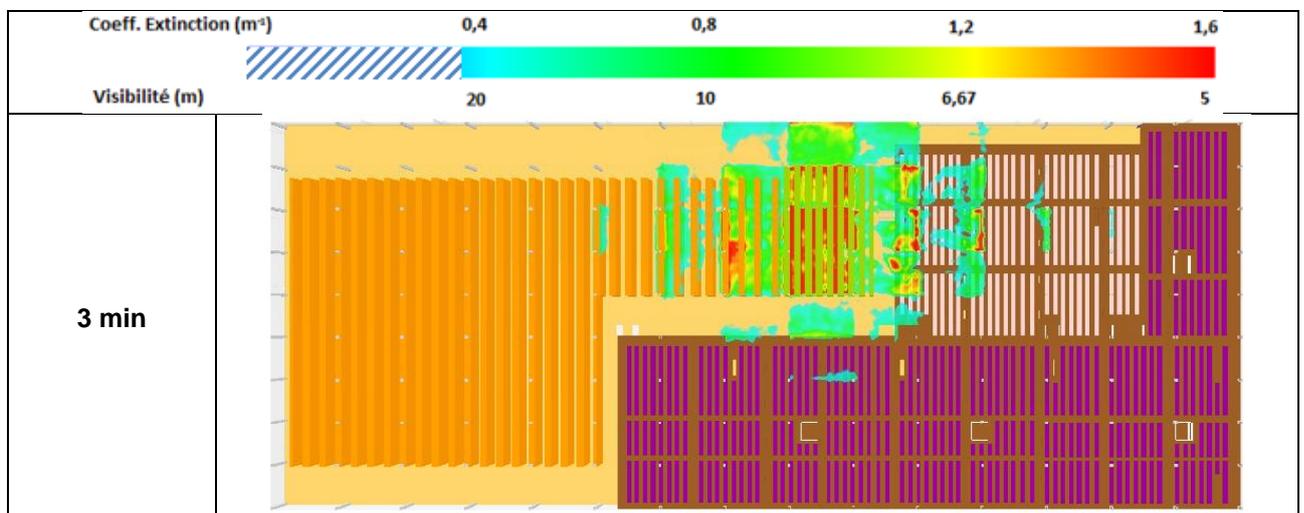


Figure 10-60 : Evolution du critère de visibilité dans l'axe du foyer pour le scénario 8

Les figures ci-dessous présentent la visibilité à hauteur d'homme sur le dernier niveau de pick tower.

Des fumées résiduelles sont présentes à 5 minutes sur les pick towers, néanmoins l'activation du système de désenfumage à 5 minutes permet de les évacuer massivement, on observe une amélioration de la visibilité entre 7 et 10 minutes. A partir de 10 minutes la zone impactée par l'incendie n'augmente que faiblement, néanmoins, une densification des fumées est observée et la visibilité est inférieure à 5 m à partir de 15 minutes. La réduction de la visibilité peut représenter une gêne pour l'intervention des services de secours sur le dernier étage de la pick tower.



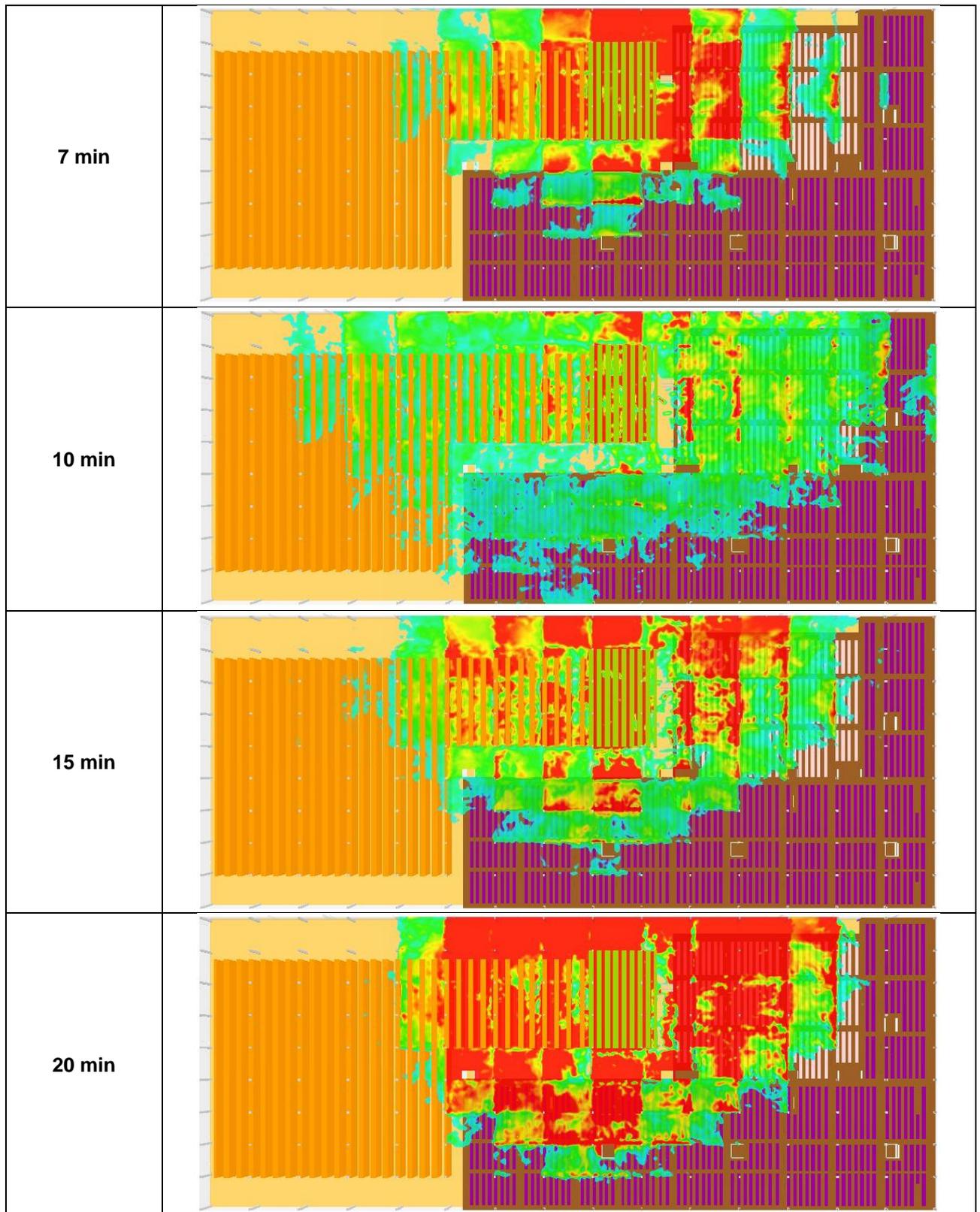


Figure 10-61 : Evolution du critère de visibilité à hauteur d'homme au dernier étage pour le scénario 8

10.8.3. Température

Les figures ci-dessous présentent une coupe de température dans l'axe du foyer. En dehors de la zone à proximité du départ de feu les températures restent inférieures à 40 °C.

Les conditions de températures sont donc compatibles avec l'évacuation du personnel et l'intervention des secours.

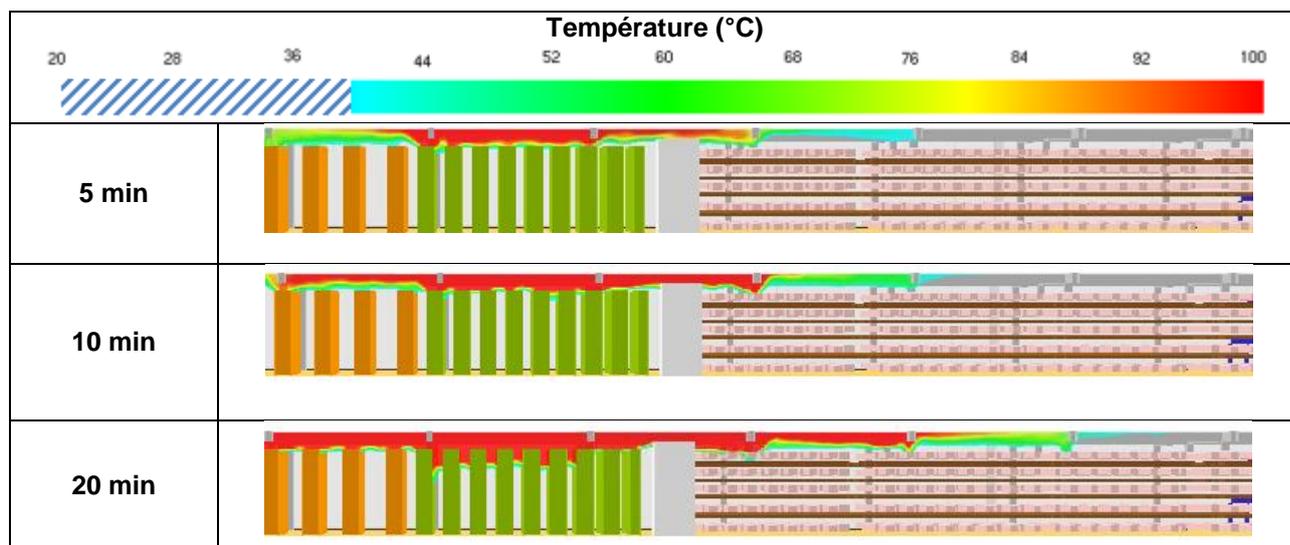


Figure 10-62 : Critère de température à hauteur d'homme pour le scénario 8

10.8.4. Concentration en CO

Les figures ci-dessous présentent l'évolution de la concentration en monoxyde de carbone dans l'axe du foyer.

Le seuil de 150 ppm pour les personnes est atteint après plus de 10 minutes au dernier niveau de la pick tower.

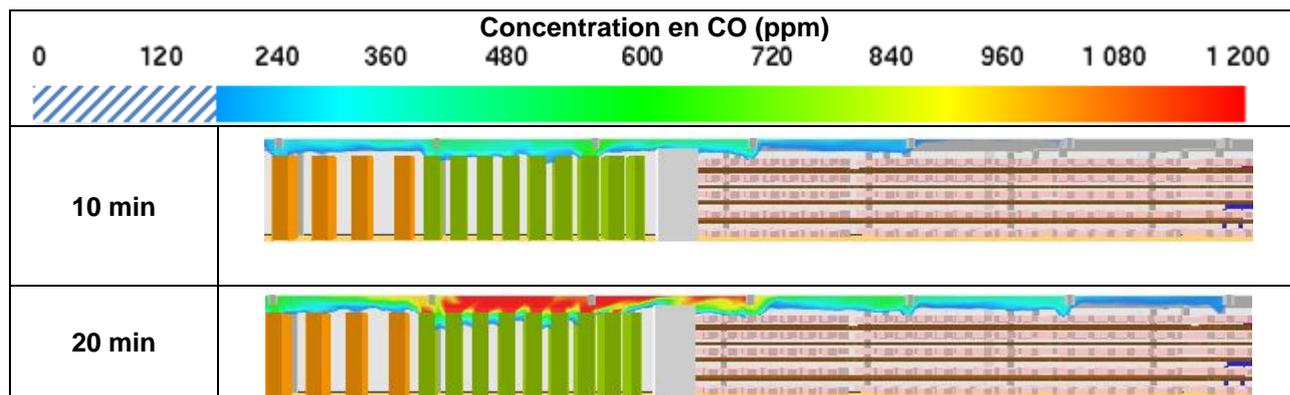


Figure 10-63 : Critère de concentration en monoxyde de carbone pour le scénario 8

10.8.5. Synthèse des résultats

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des temps d'atteinte des critères de tenabilité.

Pour ce scénario les critères de tenabilité ne sont atteints que sur le dernier niveau de la pick tower. La visibilité est le premier critère à être dégradé, dès 5 minutes localement et à 10 minutes sur une large part du dernier niveau. Au vu des temps d'évacuation des personnes calculé au §8, la dégradation des conditions a lieu après que les personnes aient quitté le niveau. Les personnes peuvent donc quitter les niveaux sinistrés dans de bonnes conditions.

	Visibilité	Température	Concentration en CO	Flux thermique
Niveau P1	> 20 min	> 20 min	> 20 min	> 20 min
1^{er} étage				
2^{ème} étage				
3^{ème} étage				
4^{ème} étage	Localement à 5 min Sur plus de la moitié du niveau à 10 min	15 min	15 min	> 20 min
5^{ème} étage				

Tableau 10-12 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les personnes

Le tableau ci-dessous présente le temps d'atteinte des critères de tenabilité pour les services de secours. Les conditions sont dégradées uniquement sur l'étage le plus haut de la pick tower à partir de 15 minutes, les services de secours peuvent intervenir librement dans le reste des niveaux.

	Visibilité	Température	Flux thermique
Niveau P1	> 20 min	> 20 min	> 20 min
1^{er} étage			
2^{ème} étage			
3^{ème} étage			
4^{ème} étage	Sur plus de la moitié du niveau à 15 min	> 20 min	> 20 min
5^{ème} étage			

Tableau 10-13 : Synthèse des temps d'atteinte des critères pour les services de secours

10.9. SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DES SCÉNARIOS

A partir de l'étude des 8 scénarios incendie investigués, il apparaît que :

- Dans tous les niveaux, le désenfumage et la porosité des planchers mis en place permettent de conserver de bonnes conditions de tenabilité en dehors de la zone de feu pour les personnes pendant plus de 20 minutes dans le cas de la maîtrise de l'incendie par le sprinkler ;
- Le niveau P1 reste accessible pendant plus de 20 minutes ce qui permet aux personnes provenant des niveaux supérieurs d'y transiter lors de leur évacuation ;
- Sous la mezzanine, un désenfumage mécanique ou naturel permet dans les deux cas d'évacuer les fumées pour éviter une redescente de celles-ci aux niveaux de circulation en rez-de-chaussée tout en limitant la propagation des fumées vers le dessus de la mezzanine et vers les pick towers ;
- Dans le cas d'une non maîtrise de l'incendie par le système de sprinkler, une aggravation du risque pour les personnes proches du départ de feu et les personnes se trouvant au dernier niveau de pick towers lors de leur évacuation est constatée. De plus, les conditions pour l'intervention des secours sont dégradées à partir de 15 minutes environ ;
- En prenant en compte l'absence de temporisation sur le déclenchement de l'alarme, les personnes peuvent évacuer avant que les conditions de visibilité soient dégradées, notamment en étages de pick towers.
- Pour les services de secours, en dehors de la zone à proximité du foyer, les différents étages restent majoritairement accessibles pour leur intervention en cas de maîtrise de l'incendie par le système de sprinklage.

11. CONCLUSIONS

Cette étude d'ingénierie a porté sur l'installation d'un entrepôt couvert sur le site de Fontaine (90) de manière à vérifier l'efficacité du système de désenfumage mis en œuvre et les conditions d'évacuation des personnels travaillant dans l'entrepôt.

Huit (8) scénarios d'incendie ont été étudiés dans l'entrepôt :

- cinq (5) dans les pick tower ;
- deux (2) dans des VNA ;
- Un (1) dans un niveau de process au RDC (RDC).

Il apparaît que le système de désenfumage mis en œuvre permet d'extraire efficacement les fumées pendant l'évacuation des personnes et l'intervention des services de secours. Les deux configurations de désenfumage étudiées sous mezzanine sont satisfaisantes.

Néanmoins, dans le cas où le système de sprinklage ne contrôle pas le feu, une détérioration plus importante des conditions de tenabilité après la fin de l'évacuation est observée pour le dernier niveau et le niveau sinistré. L'intervention des services de secours deviendrait alors plus compliquée dans le niveau où le feu a lieu.

Les conditions d'évacuation en cas d'incendie sont favorables dans la mesure où :

- Le désenfumage décrit au § 6.7 est mis en place ;
- Le personnel est sensibilisé au risque incendie et aux procédures. Notamment, le personnel empruntant les escaliers encloués prévus dans les étages supérieurs devront évacuer sous la mezzanine une fois arrivés au niveau P1 et ne surtout pas repasser sous les pick towers. L'exploitant devra mettre en œuvre tous les moyens permettant d'assurer une évacuation précoce et rapide du personnel et des intervenants : formation, détection, alarme sonore et visuelle, exercices réguliers... En particulier, l'exploitant devra insister sur la nécessité d'évacuer à l'extérieur de la cellule même si les conditions sont encore tenables au niveau du sol.
- Le système de sprinklage est dimensionné en fonction du risque lié au combustible présent et est contrôlé régulièrement pour s'assurer de son bon déclenchement en cas d'incendie ;
- La diffusion de l'alarme d'évacuation se fait sans temporisation sur détection incendie.

Les problématiques de ruine de la structure feront l'objet d'une étude spécifique à réaliser ultérieurement conformément au point 7 de l'annexe II de l'arrêté du 11 avril 2017 [1] (*« 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. »*).

A ce titre, il sera vérifié la compatibilité entre l'évacuation du personnel et le temps de ruine des éléments structurels dont les pick towers.

Ces conclusions sont applicables pour les rubriques 1510, 1530, 1532, 2662, 2663.

ANNEXE A PUISSANCE DEVELOPEE AVEC ACTIVATION DU SPRINKLAGE

A.1 CONTROLE DE L'INCENDIE PAR LE SPRINKLER

L'activation d'un système de sprinkler bien dimensionné en adéquation avec le risque lié au combustible présent dans la cellule a pour effet de maîtriser la propagation de l'incendie et d'arrêter son développement. La prise en compte du sprinkler permet donc d'étudier, dans le cadre d'étude de désenfumage, des scénarios où le feu reste localisé et dont la puissance est réduite par rapport à celle prise en compte pour un feu se développant jusqu'à la généralisation.

A l'aide d'une approche analytique, il est possible de déterminer le temps nécessaire pour l'activation du système de sprinkler et la puissance atteinte par l'incendie. Dans cette partie, une estimation de la puissance de l'incendie en fonction des paramètres pouvant varier sur un réseau de sprinkler est faite. Les puissances déterminées pourront par la suite être utilisées dans le cadre de modélisations de manière à identifier l'impact des configurations étudiées précédemment dans le cas où le sprinkler contrôle l'incendie.

L'activation du sprinkler dépend de deux paramètres pouvant être calculés analytiquement :

- la température au niveau de la tête de sprinkler
- le temps d'activation de la tête de sprinkler

La corrélation d'Alpert permet de calculer la température et vitesse du jet de plafond. Elle est basée sur une théorie générale et des données expérimentales, pour la prédiction de la température maximale et la vitesse à une position donnée, r , dans un jet de plafond. Les données expérimentales ont été recueillies au cours des essais de combustion de différents types de combustibles solides et liquides avec des débits calorifiques allant d'environ 500 kW à 100 MW sous plafond de hauteur variant entre 3,6 m et 15,5 m. Les équations sont données dans deux régions: une région proche du panache où les propriétés sont indépendantes de r , et une région plus éloignée du panache où il faut tenir compte de r .

A.2 CALCUL DE LA TEMPERATURE DU JET DE PLAFOND

$$T_{\text{jet}} - T_a = 16,9 (Q_c)^{2/3} / H^{5/3} \quad \text{pour } r/H \leq 0,18$$
$$T_{\text{jet}} - T_a = 5,38 (Q_c/r)^{2/3} / H \quad \text{pour } r/H > 0,18$$

Where T_{jet} = ceiling jet temperature (°C)
 T_a = ambient air temperature (°C)
 Q_c = convective portion of the heat release rate (kW)
 H = height of ceiling above top of fuel (m)
 r = radial distance from the plume centerline to the sprinkler (m)

A.3 CALCUL DE LA VITESSE DU JET DE PLAFOND

$$u_{\text{jet}} = 0,96 (Q_c/H)^{1/3} \quad \text{pour } r/H \leq 0,15$$
$$u_{\text{jet}} = (0,195 Q_c^{1/3} H^{1/2}) / r^{5/6} \quad \text{pour } r/H > 0,15$$

Where u_{jet} = ceiling jet velocity (m/sec)
 Q_c = heat release rate of the fire (kW)
 H = height of ceiling above top of fuel (m)
 r = radial distance from the plume centerline to the sprinkler (m)

A.4 CALCUL DU TEMPS DE DETECTION

Le temps de détection d'un système de sprinklage peut être calculé en utilisant la corrélation d'Alpert. Le "NFPA Fire Protection Handbook, 19th Edition, 2003, Page 3-140", donne l'équation ci-dessous pour déterminer le temps d'activation du sprinkler.

$$t_{\text{activation}} = (RTI / (\sqrt{u_{\text{jet}}})) (\ln (T_{\text{jet}} - T_a) / (T_{\text{jet}} - T_{\text{activation}}))$$

Where

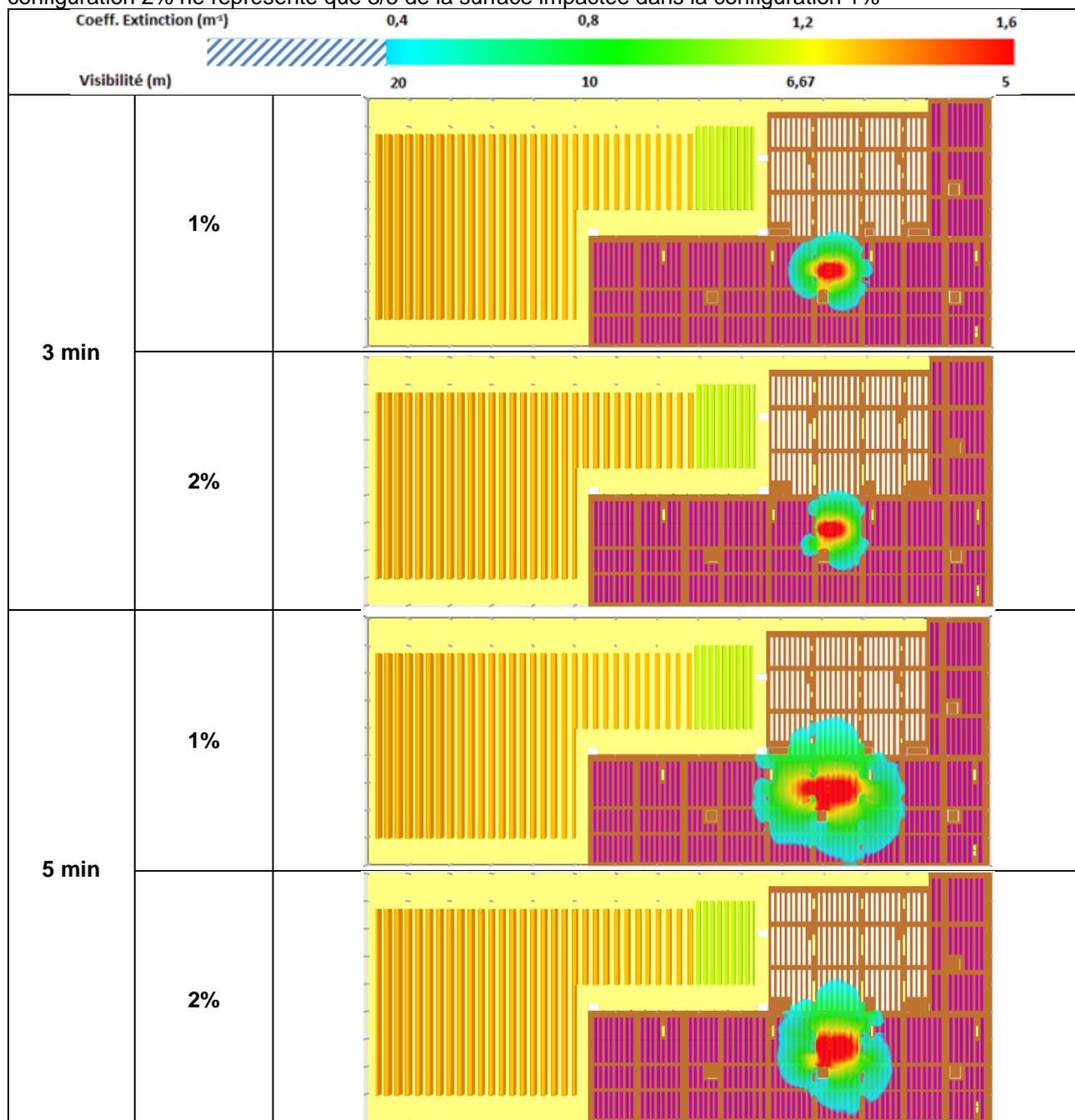
- $t_{\text{activation}}$ = sprinkler activation response time (sec)
- RTI = sprinkler response time index (m-sec)^{1/2}
- u_{jet} = ceiling jet velocity (m/sec)
- T_{jet} = ceiling jet temperature (°C)
- T_a = ambient air temperature (°C)
- $T_{\text{activation}}$ = activation temperature of sprinkler (°C)

ANNEXE B COMPARAISON ENTRE LES SOLUTIONS AVEC 1% ET 2 % DE POROSITE DANS LES PICK TOWERS

Cette annexe présente une étude comparative entre deux porosités dans les pick towers de 1% et 2%.

Les figures ci-dessous présentent l'évolution de la visibilité à hauteur d'homme sur le niveau 3^{ème} étage de la pick tower pour le scénario 3. On constate qu'une porosité de 2% permet d'évacuer plus de fumées vers les niveaux supérieurs et donc les exutoires en toiture dès les premiers instants. En effet, le niveau où le feu débute est moins enfumé avec 2% de porosité.

De plus, cet effet s'accumule avec le temps, à 10 minutes la surface où la visibilité est dégradée pour la configuration 2% ne représente que 3/5 de la surface impactée dans la configuration 1%



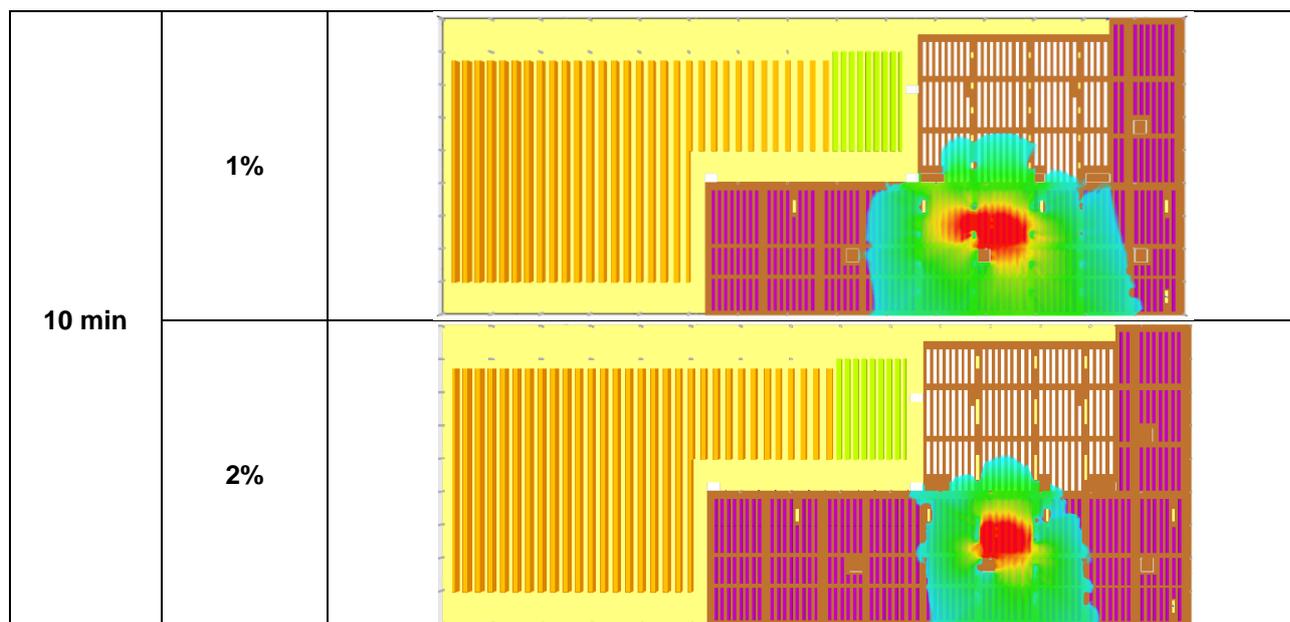


Figure B-1 : Comparaison entre 1 et 2% de porosité dans les pick tower pour le scénario 3

ANNEXE C DETERMINATION DE LA PUISSANCE DE L'INCENDIE DANS LES VNA EN CAS DE MAITRISE PAR LE SPRINKLER

Cette annexe présente une étude préliminaire menée afin de déterminer dans les VNA à partir de quel instant une température de 68 °C est atteinte au niveau des têtes de sprinkler dans les VNA.

La figure ci-dessous présente une coupe de température le long d'un VNA. La température de 68 °C est atteinte au niveau de 5 têtes de sprinkler (représentées par les point vert) dès 4 minutes. En prenant en compte le RTI lié à cet équipement, le temps d'activation du sprinkler est estimé à 270 secondes.

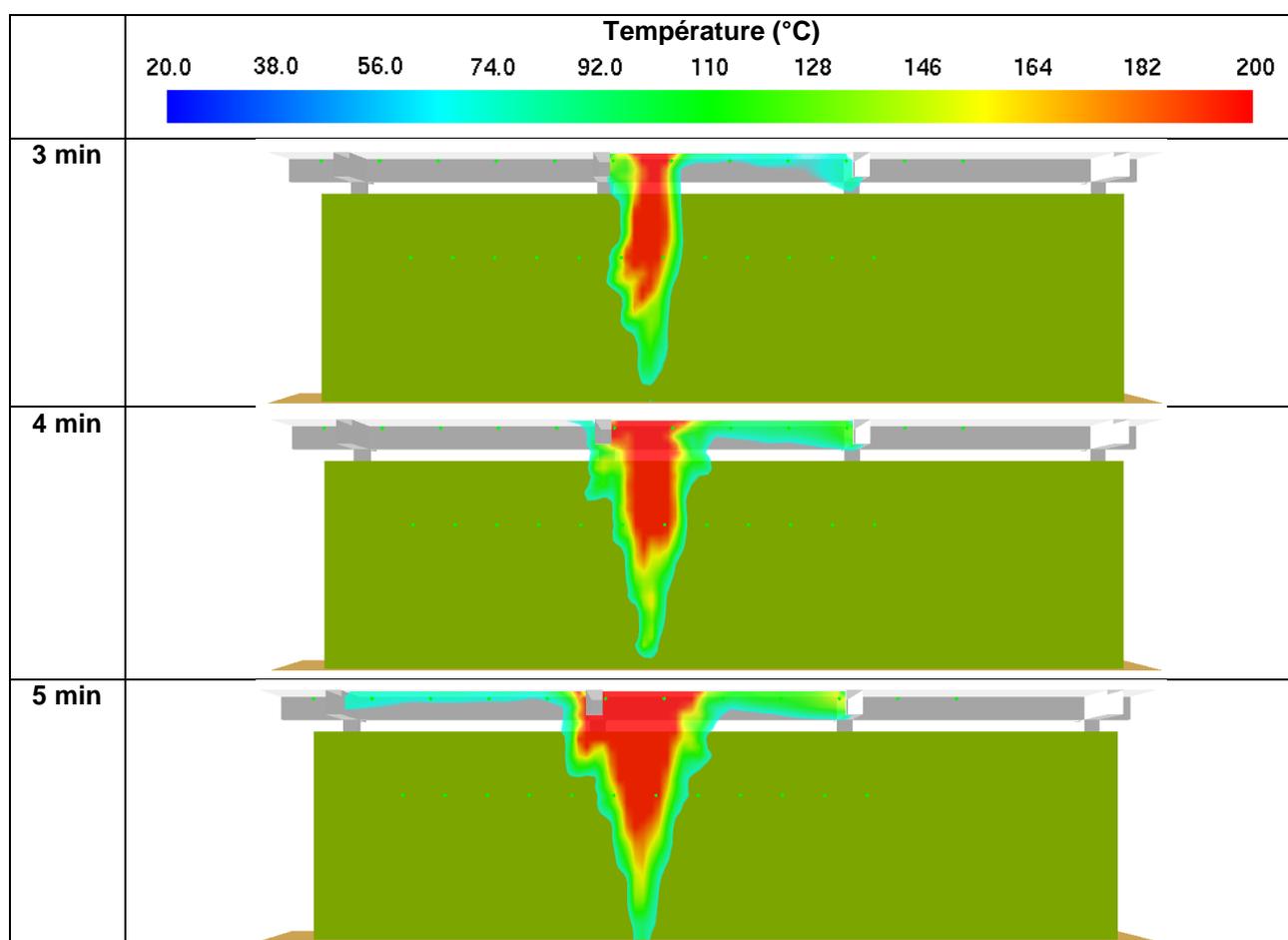


Figure C-1 : Coupe de température au niveau d'un VNA