

Modélisations d'incendies dans le magasin U87

Site de Saint-Nazaire

Préparé pour : STELIA AEROSPACE

Projet N° 60514595

23 novembre 2016

Rapport préliminaire

Référence : PAR-RAP-16-17505B

Modélisations d'incendies dans le magasin U87

23 novembre 2016

Site de Saint-Nazaire

Rapport de modélisations



Préparé par Marion BOISVILLIERS
Ingénieur de projet Management HSE & Risques Industriels



Vérifié par François BLACHON
Ingénieur de projet Management HSE & Risques Industriels



Approuvé par Gaëlle SYLVESTRE
Chef de Projet Management HSE & Risques Industriels

Fiche de référence

Détails du rapport	
Nom du client :	STELIA AEROSPACE
Nom du contact client :	Steven MARTIN
Numéro de projet :	60514595
Statut :	Rapport préliminaire
Préparé par	AECOM France, bureau de Nanterre 87 avenue François Arago 92017 Nanterre Cedex, France Tél : +33 (0)1 55 69 20 00
Numéro de référence :	PAR-RAP-16-17505B
Titre du rapport :	Modélisations d'incendies dans le magasin U87
Date du rapport :	23 novembre 2016

Statut du rapport		
Version du rapport	Date	Détails
A	20 octobre 2016	Version préliminaire
B	23 novembre 2016	Version finale

DROIT D'AUTEUR

© Ce rapport est la propriété d'AECOM France. Toute reproduction ou utilisation non autorisée par toute personne autre que le destinataire est strictement interdite.

AECOM et URS ne formant qu'un seul groupe, les entités juridiques (URS France SAS et AECOM France SARL, toutes deux détenues par AECOM) ont fusionné en mars 2016 (rachat d'AECOM France SARL par URS France SAS) et opèrent à compter du mois de mai 2016 sous le nom d'AECOM France SAS. Les points de contact restent inchangés sauf spécification particulière.

AECOM France SAS - Lieu d'enregistrement au Registre du Commerce : RCS Nanterre 92 - N° RCS : 402 298 624 00030 - Adresse du Siège Social : 87, avenue François Arago - 92017 Nanterre Cedex – France.

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION	4
2.	METHODOLOGIE	4
3.	OUTILS DE MODELISATION	5
3.1	Feu de nappe	5
3.1.1	Géométrie de la flamme.....	6
3.1.2	Pouvoir émissif de la flamme	8
3.1.3	Transmissivité atmosphérique	8
3.1.4	Facteur de forme.....	9
3.2	Seuils de référence des effets thermiques	9
3.3	Représentation des zones de sécurité	10
4.	RESULTATS DE LA MODELISATION	11
4.1	Présentation de l'événement redouté central et du phénomène dangereux associé	11
4.2	Evaluation de l'intensité des effets	11
4.2.1	Hypothèses de modélisation	11
4.2.2	Distances d'effets.....	12
4.3	Conséquences	12
5.	CONCLUSION	13

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Cartographie des effets

1. INTRODUCTION

La société STELIA AEROSPACE (notée STELIA par la suite) exploite, sur la commune de Saint-Nazaire dans le département de la Loire-Atlantique (44), un site de fabrication de pièces, éléments et assemblages de sous-ensembles pour des cellules d'aéronefs. Cet établissement est soumis à autorisation au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement selon l'Arrêté Préfectoral du 9 mars 2005 modifié par l'Arrêté Préfectoral du 9 mai 2012.

Dans le cadre de la reprise du Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter du site de Saint-Nazaire, STELIA a demandé à AECOM de réaliser la modélisation de l'incendie de son stockage de déchets de peinture solvantés situé dans le magasin U87.

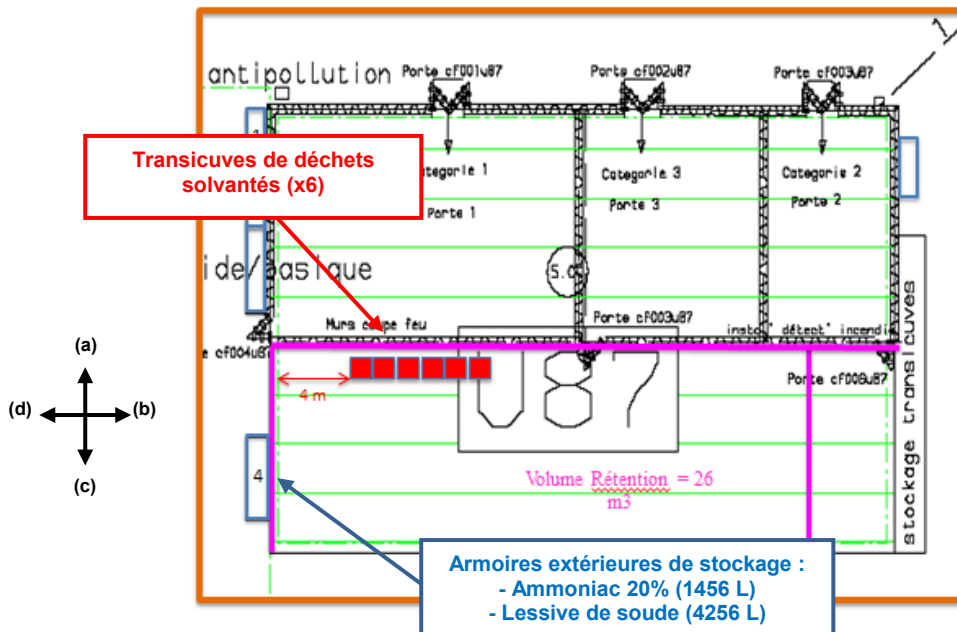
Cette modélisation a pour objectifs de s'assurer, d'une part, que les distances associées aux seuils des effets irréversibles, des premiers effets létaux et des effets létaux significatifs, ne dépassent pas les limites du site, et d'autre part, qu'aucun effet domino thermique n'est généré sur les armoires extérieures de stockage d'ammoniac 20% et de lessive de soude.

2. METHODOLOGIE

STELIA souhaite stocker 6 transcuves de déchets de peinture solvantés ($6 * 1 \text{ m}^3$, sur rétentions individuelles) dans le magasin U87.

La figure ci-dessous présente la configuration de stockage envisagée par STELIA.

Figure 1 : Configuration de stockage envisagée par STELIA



(a) : Côté alvéoles / (b) : Côté zone de dépotage
(c) : côté Loire / (d) : côté stockage acide/basique

Les 6 transcurves de déchets sont stockées les unes à côté des autres, sous le préau Est du bâtiment U87.

Le stockage est entouré d'un mur coupe-feu 4h côté alvéoles (représenté en rouge) et d'un mur coupe-feu 2h côté stockage acide/basique (représenté en bleu).

3. OUTILS DE MODELISATION

3.1 Feu de nappe

Le modèle utilisé pour évaluer les effets d'un incendie et d'un feu de nappe est celui de la flamme solide, méthode exposée dans l'ouvrage « Methods for the Calculation of Physical Effects » dit « Yellow Book du TNO » du Committee for the Prevention of Disasters (3^{ème} édition – 1997).

Le flux thermique radiatif reçu par un élément extérieur à la flamme est calculé par l'équation suivante :

$$\phi = \phi_o F \tau \alpha$$

avec :

- ϕ : la densité du flux thermique radiatif reçue par un élément extérieur (kW/m²) ;
- F : le facteur de vue entre l'élément extérieur et la flamme (-) ;
- τ : le coefficient d'atténuation atmosphérique (-) ;
- α : le coefficient d'absorption de l'élément extérieur (-). Dans une démarche majorante, il est possible de considérer le coefficient d'absorption de la cible comme unitaire ;
- ϕ_o : le pouvoir émissif de la flamme (kW/m²).

Trois données importantes doivent ainsi être déterminées :

- la géométrie de la flamme, qui intervient dans le calcul du facteur de vue. Ce facteur traduit l'angle solide sous lequel la cible perçoit la flamme ;
- le pouvoir émissif de la flamme, soit la puissance rayonnée par unité de surface de flamme ;
- le coefficient d'atténuation atmosphérique, c'est-à-dire la fraction du rayonnement absorbée par l'atmosphère.

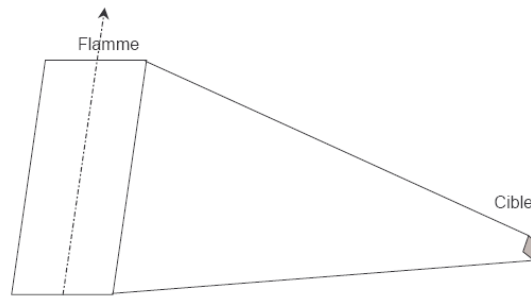
3.1.1 Géométrie de la flamme

3.1.1.1 Représentation de la flamme

La représentation des flammes de l'incendie est de type flammes solides. Dans ce modèle, la flamme est assimilée à un volume opaque de géométrie rectangulaire dont les surfaces rayonnent uniformément. Ce modèle repose notamment sur les hypothèses suivantes :

- la partie de flamme visible émet des radiations thermiques vers la cible alors que la partie masquée n'en émet pas (ex : écran thermique) ;
- la base du volume rectangulaire ou circulaire correspond alors à la base du feu et sa hauteur à la hauteur pour laquelle la flamme est non masquée.

Les flammes sont donc caractérisées par une hauteur, une largeur et un angle d'inclinaison globale, si l'on considère une vitesse de vent. Ainsi, il est possible d'assimiler la flamme à un parallélépipède rectangle ou à un cylindre pour la suite des calculs faisant notamment intervenir le facteur de forme.



3.1.1.2 Diamètre équivalent

La notion de diamètre équivalent intervient essentiellement dans les corrélations visant à déterminer la hauteur ou le pouvoir émissif de la flamme. Le diamètre équivalent pour un feu non circulaire est défini par la relation :

$$D_{\text{éq}} = 4 \frac{\text{Surface}}{\text{Périmètre}}$$

3.1.1.3 Débit massique de combustion

Le débit massique de combustion est la quantité de combustible participant à l'incendie par unité de temps et de surface mesurée dans des conditions d'essai spécifiées. Il est soit calculé à l'aide d'une corrélation, soit obtenu expérimentalement ou à l'aide de données issues de la littérature. Une corrélation classiquement utilisée dans le cas d'un feu de nappe est la corrélation de Burgess qui s'écrit :

$$\dot{m} = \frac{Hc}{C_p \cdot \Delta T + H_v} \cdot 10^{-3}$$

avec :

- \dot{m} : le débit massique de combustion par unité de surface (kg/(m².s)) ;
- Cp : la chaleur spécifique du produit à pression constante (kJ/(kg.K)) ;
- Hc : la chaleur de combustion du produit (kJ/kg) ;
- Hv : la chaleur de vaporisation du produit (kJ/kg) ;
- ΔT : différence entre la température d'ébullition du produit et la température ambiante (K).

3.1.1.4 Hauteur de flamme

La hauteur de flamme dépend du débit massique de combustion, du diamètre équivalent et de la vitesse du vent. Les corrélations de Thomas sont utilisées pour déterminer la longueur de la flamme :

- cas d'une vitesse de vent nulle :

$$L_f = 42 \cdot D_{eq} \left[\frac{\dot{m}}{\rho_{air} \sqrt{g D_{eq}}} \right]^{0,61}$$

- cas d'une vitesse de vent supérieure à 1 m/s :

$$L_f = 55 \cdot D_{eq} \left[\frac{\dot{m}}{\rho_{air} \sqrt{g D_{eq}}} \right]^{0,67} \cdot u^{*-0,21}$$

avec :

- ρ_{air} : la masse spécifique de l'air ambiant (1,2 kg/m³) ;
- g : l'accélération de la pesanteur (9,81 m/s²) ;
- \dot{m} : le débit massique de combustion par unité de surface (kg/(m².s)).
- $u^* = uw/uc$: vitesse adimensionnelle du vent ;
- uw : vitesse du vent (m/s)

$$u_c = \left[g D_{eq} \frac{\dot{m}}{\rho_{air}} \right]^{\frac{1}{3}} : \text{vitesse caractéristique du vent.}$$

3.1.2 Pouvoir émissif de la flamme

Le pouvoir émissif est la puissance thermique rayonnée par la flamme par unité de surface. Afin d'estimer le pouvoir émissif associé à des feux produisant des quantités importantes de suies, Mudan et Croce proposent d'utiliser la formule suivante :

$$\phi_o = \phi_{\max} \cdot e^{(-SD)} + \phi_{\text{fumées}} \cdot (1 - e^{(-SD)})$$

avec :

- ϕ_{\max} : pouvoir émissif maximum des parties lumineuses de la flamme (kW/m²) ;
- $\phi_{\text{fumées}}$: pouvoir émissif des fumées (kW/m²) ;
- S : coefficient expérimental (m⁻¹) ;
- D : diamètre équivalent (m).

3.1.3 Transmissivité atmosphérique

Ce facteur permet d'intégrer l'influence de l'air sur le flux émis. Une partie du flux est absorbée par l'air, entre le front de flamme et la cible. Ce facteur est indépendant de la surface en feu et du produit mis en jeu. La transmissivité ne dépend que de la distance de la cible et de la teneur en vapeur d'eau.

La transmittance de l'air peut se déduire de la formule de Bagster, citée dans le Yellow Book du TNO :

$$\tau = 2,02 \cdot (p_w \cdot x)^{-0,09}$$

avec :

- x : distance de la cible à la source (m) ;
- $p_w = H_r \cdot P_{\text{vap}(H_2O)}$: pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa) ;
- Hr : taux d'humidité relative de l'air (%) ;
- $P_{\text{vap}(H_2O)}$: Pression de vapeur saturante de l'eau.

3.1.4 Facteur de forme

Le facteur de vue ou de forme traduit l'angle solide sous lequel la cible perçoit le rayonnement. Le facteur de forme utilisé pour cette étude est le facteur de vue plan. Les paramètres utilisés sont les dimensions du mur de flamme (longueur du mur et hauteur des flammes) et la distance de la cible.

Le facteur de forme maximal à une distance donnée est la somme vectorielle des facteurs de forme pour une cible horizontale et verticale :

$$F_{\max} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2}$$

Les formules proposées par le Yellow Book du TNO seront utilisées. Ce modèle permet notamment de tenir compte des effets de masque des éventuels écrans thermiques : mur coupe-feu ou effondrement partiel d'un mur.

3.2 Seuils de référence des effets thermiques

Seuil	Définition
3 kW/m² SEI	Effets sur l'homme : Seuil des Effets Irréversibles : dangers significatifs pour la vie humaine
5 kW/m² SEL1%	Effets sur les structures : Seuil des destructions de vitres significatives Effets sur l'homme : Seuil des Effets Létaux à 1% : dangers graves pour la vie humaine (1% de mortalité)
8 kW/m² Domino SEL5%	Effets sur les structures : Seuil des effets domino et dégâts graves sur les structures Effets sur l'homme : Seuil des Effets Létaux à 5% : dangers très graves pour la vie humaine
16 kW/m²	Effets sur les structures : Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors béton
20 kW/m²	Effets sur les structures : Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton
200 kW/m²	Effets sur les structures : Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes

Les seuils d'effets du flux thermique sont évalués pour une durée d'exposition supérieure à 2 minutes.

En revanche, pour des phénomènes de plus courtes durées, les seuils sont définis de la façon suivante :

Effets sur l'homme : utilisation de la charge thermique k ($\phi = (k/t)^{3/4}$)

- SEI : 600 ($[\text{kW}/\text{m}^2]^{4/3}$).s
- SEL 1% : 1 000 ($[\text{kW}/\text{m}^2]^{4/3}$).s
- SEL 5% : 1 800 ($[\text{kW}/\text{m}^2]^{4/3}$).s

3.3 Représentation des zones de sécurité

Pour le feu de nappe modélisé, les zones de sécurité seront évaluées à partir du bord de la nappe.

4. RESULTATS DE LA MODELISATION

4.1 Présentation de l'événement redouté central et du phénomène dangereux associé

L'Événement Redouté Central est la perte de confinement de transicuves contenant des déchets de peinture solvantés (produits inflammables) sous le préau Est du magasin de produits dangereux (U87), provoquant un feu de nappe en présence d'une source d'ignition.

4.2 Evaluation de l'intensité des effets

4.2.1 Hypothèses de modélisation

Pour cette modélisation, on considère que les 6 transicuves de déchets sont stockées côte à côte, sous le préau Est.

Il est considéré dans ce cas un incendie sur une surface de 6 m * 1m, soit 6 m².

Le préau Est étant pourvu d'un mur coupe-feu 4h côté alvéoles et d'un mur coupe-feu 2h côté stockage acide/basique, deux cas sont donc considérés : avec et sans les murs coupe-feu.

Les données prises en compte dans la modélisation sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Hypothèses de modélisation

Caractéristiques du produit	
Liquides inflammables stockés sous le préau Est (quantités maximales stockées)	Déchets de peintures solvantés (6 transicuves * 1m ³) Soit une quantité totale stockée d'environ 6 tonnes (densité de 1 tonne / m ³)
Phase / Température	Liquide / Ambiante
Caractéristiques de la zone de stockage	
Rétention :	Rétention individuelle de 1 m ³ pour chaque transicuve
Murs coupe-feu :	Mur côté alvéoles (coupe-feu 4h, hauteur = 7,5 m) Mur côté stockage acide/basique (coupe-feu 2h, hauteur = 7,5 m)
Dimensions de la nappe :	6 m * 1 m soit 6 m ²

4.2.2 Distances d'effets

Des vitesses de vent de 3 et 5 m/s ainsi que l'absence de vent (vent nul) sont retenues afin de déterminer l'incidence sur la géométrie de flamme et les effets associés.

La composition des déchets de peinture solvantés est détaillée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Composition des déchets solvantés

Composants	Pourcentage massique (%)
Acétate de N-butyle	18,7
Ethanol	18,4
Ether monométhylrique du propylène glycol	21,9
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	1,5
Acétate d'éthyle	0,1
Acétone	0,1
Nitroéthane	13,1
Butane-2-ol	26,2
TOTAL	100

La vitesse de combustion du produit est de 0,033 kg/(m².s). Pour une épaisseur de plaque de 1 m (profondeur des rétentions unitaires), la durée de l'incendie en l'absence d'intervention est de l'ordre de 8 heures et 30 minutes, donc bien supérieure à la durée coupe-feu des murs autour du stockage (4h côté alvéoles et 2h côté stockage acide/basique). **Ces derniers pourraient ne pas conserver leur intégrité en cas d'incendie.**

Le tableau suivant présente les résultats de la modélisation. Les distances d'effets sont données depuis les bords de la rétention. Les distances d'effets indiquées sont les distances enveloppes obtenues pour les 3 vitesses de vent étudiées (0, 3 et 5 m/s).

Tableau 3 : Configuration n°1 – Distances d'effets

Flux Thermique (kW/m ²)	Distances d'effets			
	Longueur (côté Loire ou côté alvéoles avec perte d'intégrité du mur CF)	Longueur (côté alvéoles tant que le mur CF conserve son intégrité)	Largeur (côté zone de dépotage ou côté stockage acide/basique avec perte d'intégrité du mur CF)	Largeur (côté stockage acide/basique tant que le mur CF conserve son intégrité)
20 kW/m ²	6	Non atteint	3	Non atteint
16 kW/m ²	6	Non atteint	4	Non atteint
8 kW/m ² - SELS	9	Non atteint	4	Non atteint
5 kW/m ² - SEL	12	Non atteint	5	Non atteint
3 kW/m ² - SEI	15	Non atteint	7	Non atteint
Hauteur de flamme (m)	0,8 à 3,4 m			

La cartographie des effets est jointe en Annexe A.

4.3 Conséquences

Les distances associées aux seuils des effets irréversibles, des premiers effets létaux et des effets létaux significatifs ne dépassent pas les limites du site.

5. CONCLUSION

La modélisation a démontré qu'en cas de perte de confinement conduisant à un incendie du stockage, les distances associées aux seuils des effets irréversibles, des premiers effets létaux et des effets létaux significatifs, ne dépassent pas les limites du site.

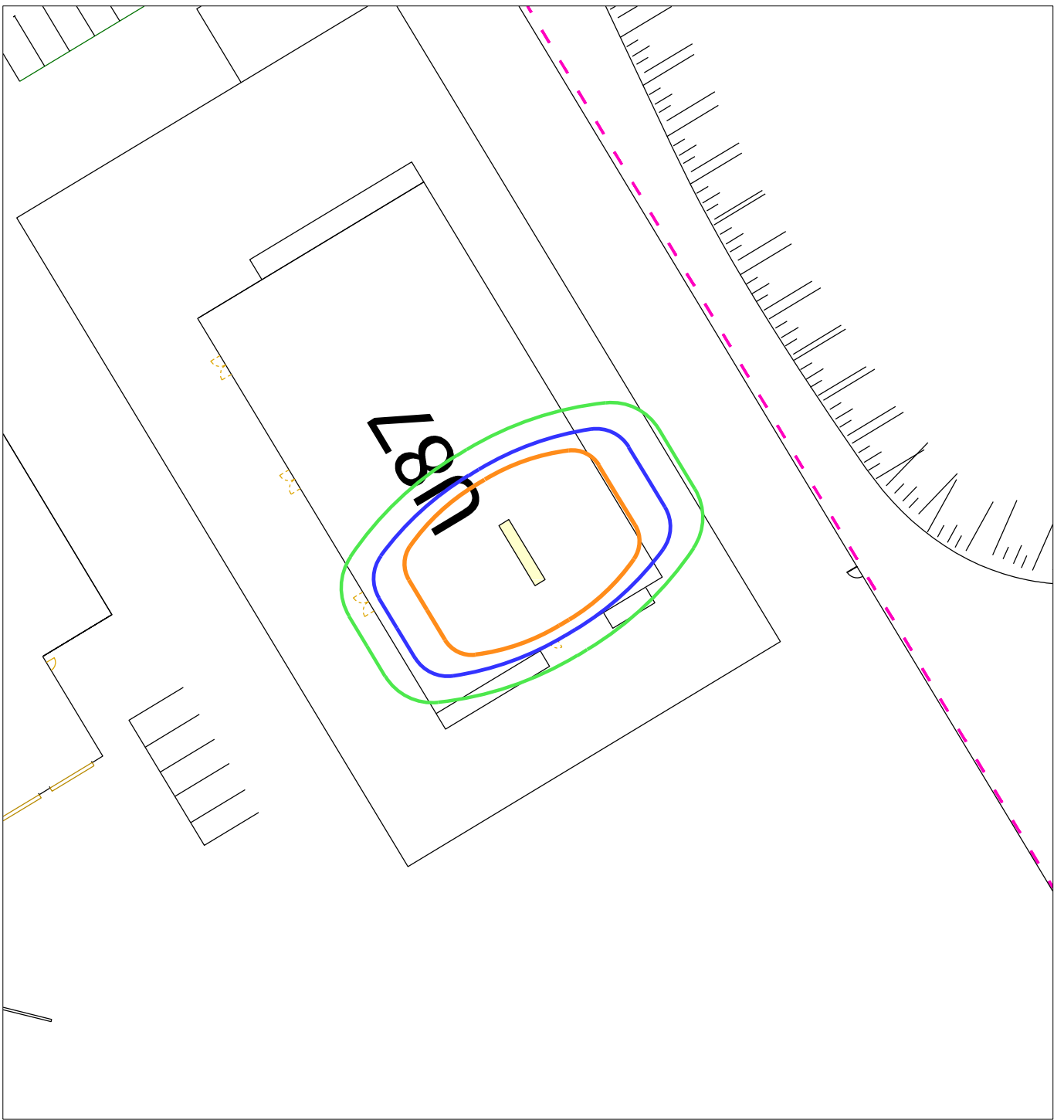
De plus, les armoires de stockage extérieures d'ammoniac 20% et de lessive de soude ne sont pas impactées par la zone des effets domino thermiques générée par l'incendie du stockage de déchets de peinture solvantés (seuil de 8 kW/m^2 correspondant à rayon de 9 m depuis la longueur du stockage et de 4 m depuis sa largeur).

LIMITATIONS DU RAPPORT

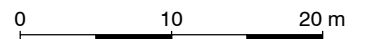
AECOM France a préparé ce rapport pour l'usage exclusif de STELIA AEROSPACE conformément à la proposition commerciale d'AECOM France n° OPP-496289 référencée n° LYO-PRO-16-07426B selon les termes de laquelle nos services ont été réalisés. Le contenu de ce rapport peut ne pas être approprié pour d'autres usages, et son utilisation à d'autres fins que celles définies dans la proposition d'AECOM France, par STELIA AEROSPACE ou par des tiers, est de l'entière responsabilité de l'utilisateur. Sauf indication contraire spécifiée dans ce rapport, les études réalisées supposent que les sites et installations continueront à exercer leurs activités actuelles sans changement significatif. Les conclusions et recommandations contenues dans ce rapport sont basées sur des informations fournies par le personnel du site et les informations accessibles au public, en supposant que toutes les informations pertinentes ont été fournies par les personnes et entités auxquelles elles ont été demandées. Les informations obtenues de tierces parties n'ont pas été vérifiées par AECOM, sauf mention contraire dans le rapport.

ANNEXES


Annexe A : Cartographie des effets



- 8 kW / m² Seuil des effets domino et des effets létaux significatifs
- 5 kW / m² Seuil des effets létaux
- 3 kW / m² Seuil des effets irréversibles



INCENDIE DU STOCKAGE DE DECHETS DE PEINTURE SOLVANTES - FEU DE NAPPE

 AECOM France Siège social 87 avenue François Arago 92017 Nanterre Cedex	Titre <p style="text-align: center;">MODELISATIONS D'INCENDIES DANS LE MAGASIN U87</p>	Ech. 1/500 Format A4
	Lieu <p style="text-align: center;">SAINT-NAZAIRE</p>	Date NOVEMBRE 2016
	Client <p style="text-align: center;">STELIA AEROSPACE</p>	Proj. 60514595
		Ref. PAR-RAP-16-17505
		Dess. AMA Vérif. MGE
		1-FN