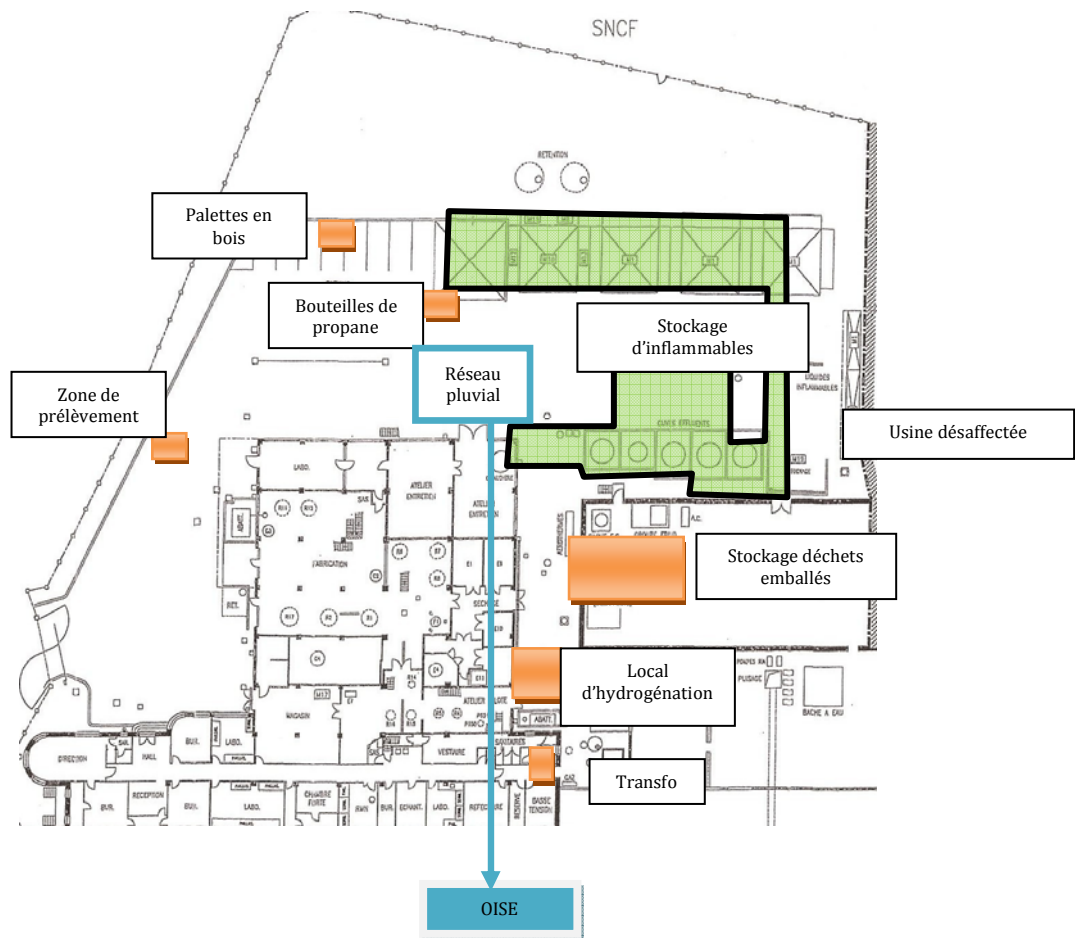
 <p>ANTEAGROUP AGENCE Nord Est Métier Risques Industriels</p>	<p>Client : NORCHIM</p> <p>n° de l'affaire : PICP110136</p> <p>Intitulé de l'affaire : Modélisations dans le cadre de l'étude de dangers</p>
<p>Destinataires : GUERIN Risques Industriels</p> <p>Copies à :</p>	
<p>Objet : Modélisation n°1 - Incendie généralisé des stockages couverts + armoires SCALA + conteneurs de solvants usés + cuves de solvants usés - <u>Modifications du scénario initial</u></p>	

NOTE n° 1b/5

1. Données d'entrée du scénario initial

1.1 DONNEES D'ENTREE DU SCENARIO INITIAL



"La quantité totale de substances inflammables représentée par l'aire en vert est estimée à 100 T : 55 T pour les stockages couverts (4 préfabriqués au Nord de la zone concernée), 25 T pour les armoires extérieures (le long de l'usine désaffectée) et 20 T pour les 2 cuves de solvants usés (iso-propanol principalement). Les conteneurs sont stockés sur 2 niveaux maximum.

A cette quantité d'inflammables, il faut rajouter environ 10 T de plastiques (conteneurs contenant les liquides de la zone) et 1 T de palettes en bois (palettes décalées de 20 m environ).

Le scénario envisage l'incendie généralisé de l'aire de stockage des produits liquides inflammables (zone en vert). **La surface concernée est globalement un rectangle de 36 m de longueur pour 28 m de largeur.**

Les solvants stockés sont de l'acétone, de l'isopropanol, heptane, méthanol... La substance la plus représentative choisie est l'iso-propanol pour les calculs liés à la modélisation des effets thermiques." (Source GUERIN Risques Industriels).

1.2 DONNEES D'ENTREE DU SCENARIO MODIFIE

Les hypothèses du scénario initial sont modifiées en vue de répondre aux exigences de l'administration :

- Prise en compte du mélange réel de liquides inflammables au lieu d'une assimilation à de l'isopropanol,
- Suppression de tout flux thermique vers l'usine désaffectée située en limite de propriété face aux stockages de liquides inflammables.

↳ Caractéristiques du mélange

Le mélange est constitué de 7 liquides inflammables dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-après.

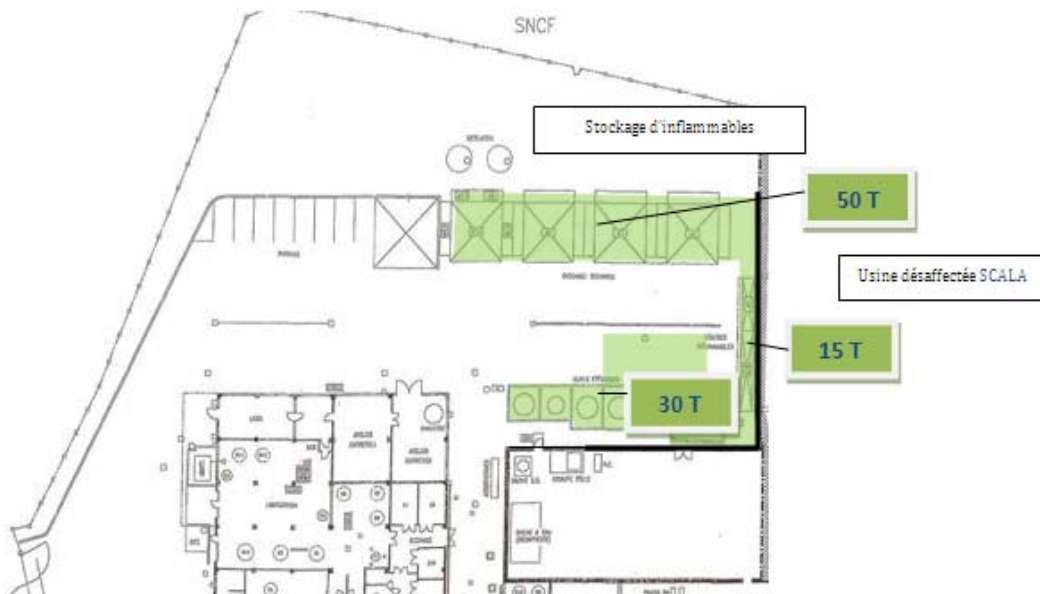
Tableau 1 : Caractéristiques du mélange pour les scénarios modifiés

Produit	Quantité (t)	% dans le mélange	Débit de combustion (kg/m ² /s)	PCI (kJ/kg)	Source
Acétone	20	21,05	0.041	25 800	Ineris Oméga 2
Heptane	12	12,63	0.101	44 600	Ineris Oméga 2
Isopropanol	30	31,58	0.0396	33 100	WebBook de Chimie du National Institute of Standards and Technology (NIST)
Toluène	11	11,58	0.1126	40 550	SFPE Handbook
Ethanol	14	14,74	0.015	26 800	Ineris Oméga 2
MTBE	5	5,26	0.0884	35 460	UFIP
Méthanol	3	31,58	0.017	20 000	Ineris Oméga 2
Mélange	95	100	0.0543	32 661	

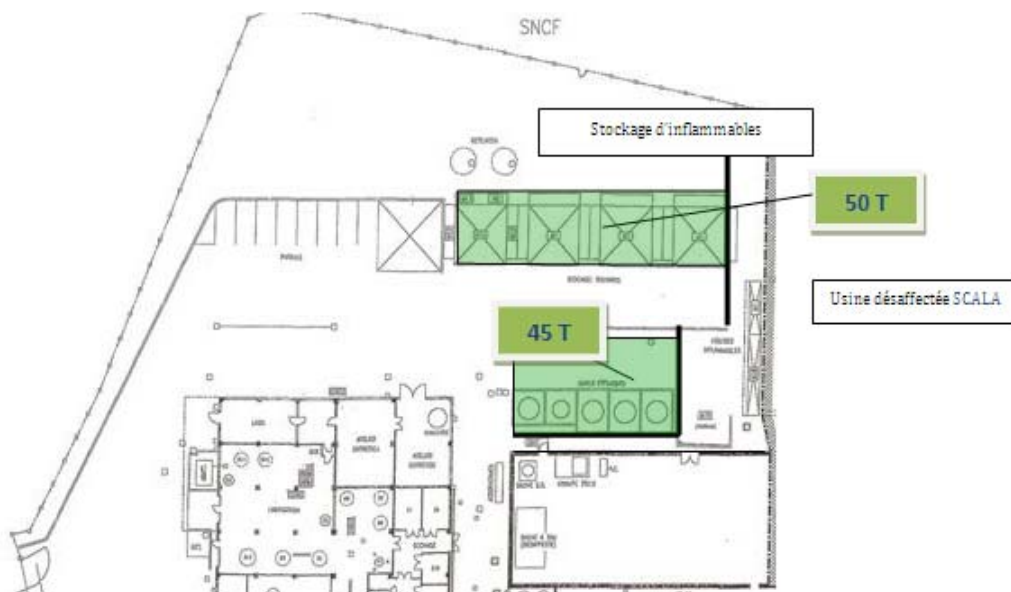
🔗 Nouvelles configurations à étudier

Trois nouveaux cas sont examinés à la demande de Guerin Risques Industriels en intégrant des murs coupe feu autour des stockages.

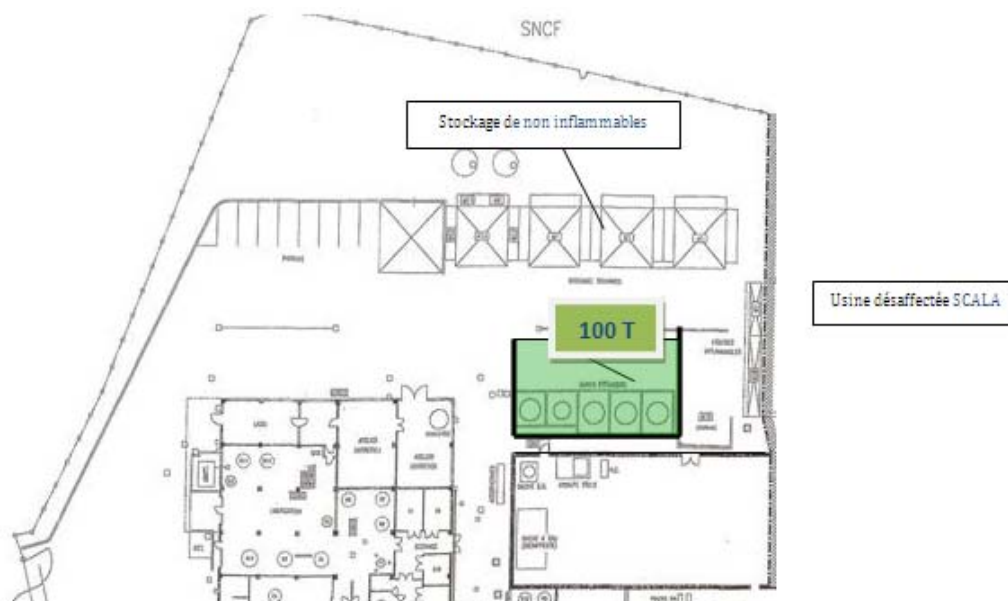
👉 **Configuration 1** : Conservation des stockages tels quels, avec implantation d'un mur coupe feu en L de 12 m de haut pour isoler la zone de stockage



👉 **Configuration 2** : Prise en compte de deux zones de stockage indépendantes, avec implantation de 3 murs coupe feu de hauteur à définir pour protéger l'usine désaffectée



👉 **Configuration 3** : Regroupement des stockages de liquides inflammables sur une seule zone avec mur coupe feu en U de hauteur à définir



👉 **Commentaires sur les trois solutions étudiées :**

La première configuration permet de ne pas modifier les caractéristiques d'exploitation du stockage. Cependant la façade nord de la zone de stockage ne présentant pas de mur coupe feu, les rayonnements thermiques sont susceptibles de sortir de la limite de propriété vers l'emprise SNCF face au stockage (au nord) et vers l'usine SCALA en latéral (au nord-est). Une solution avec mur coup feu en U apporterait une protection maximale.

La seconde configuration réduit la zone en feu à prendre en compte (si les rétentions sous les stockages permettent bien d'éviter un épandage sous forme de flaque non maîtrisée hors des zones vertes). Par contre, le mur coupe feu en façade est vers l'usine SCALA est remplacée par deux murs distincts. La continuité de protection n'est donc plus assurée pour cette façade, des flux thermiques pouvant passer dans l'espace libre entre les deux murs. Le problème de traitement de la façade nord est identique à la configuration précédente.

La troisième configuration sécurise quasi totalement le stockage sur une seule zone. Seules des émissions vers le nord et en latéral vers le nord-est restent possibles. Il sera nécessaire de vérifier si les distances des zones d'effet sont compatibles avec l'éloignement des limites de propriété.

2. Seuils d'effets thermiques retenus dans le cadre de la modélisation des phénomènes dangereux

Les seuils retenus dans le cadre de la modélisation des phénomènes dangereux sont définis par l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif « à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études des dangers des installations classées soumises à autorisation ».

Les effets d'un incendie s'apprécient en termes de flux thermique reçu par une surface exposée. Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques pour les installations classées sont données ci-après, suivant que l'on analyse ces effets sur les personnes ou les biens :

Tableau 2 : Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques pour les installations classées

Effets prévisibles sur les structures	Effets prévisibles sur l'homme	Flux thermique (kW/m ²)
Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton	-	20
Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton	-	16
Seuil des effets domino et correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures	Seuil des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à la zone de dangers très graves pour la vie humaine	8
Seuil des destructions de vitres significatives	Seuil des premiers effets létaux (SEL) correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine	5
-	Seuil des effets irréversibles (SEI) correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine	3

Dans le cadre de la modélisation des phénomènes dangereux, les distances associées aux seuils 8, 5, et 3 kW/m² sont calculées.

En ce qui concerne les distances d'effets consécutifs à une boule de feu ou à un phénomène de courte durée, les seuils pris en compte sont ceux correspondant aux doses thermiques reçues suivantes :

- 600 [(kW/m²)^{4/3}].s, seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;
- 1 000 [(kW/m²)^{4/3}].s, seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
- 1 800 [(kW/m²)^{4/3}].s, seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

Ce type de phénomène étant de courte durée, aucun seuil correspondant aux effets dominos n'est considéré.

Par ailleurs, afin d'appréhender le risque lié à un flux thermique incident, la littérature propose à titre purement indicatif, une série de valeurs seuils conduisant à des effets physiques observables. Ils sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Effets physiques observables pour des valeurs seuils types

Flux (kW/m ²)	Effets
0,7	Coup de soleil
1	Rayonnement solaire en zone tropicale
1,6	Intensité radiative ne causant aucun inconfort pour des expositions prolongées
3	Critère du SEI pour les brûlures du 1 ^{er} degré sur une peau nue exposée 60 sec
5	Critère du SEL pour le risque léthal. Exposition de 60 sec sur une peau nue Bris de vitres
8	Critère du SELS pour le risque léthal. Début de la combustion spontanée du bois et des peintures Propagation du feu improbable sur des réservoirs non protégés Intervention possible avec tenue ignifuge
9,5	Seuil de douleur en 8 sec, brûlures du 2 nd degré après 20 sec
12	Propagation improbable du feu sur des réservoirs arrosés Seuil de l'effet domino par propagation
12,5	Fusion des tubes en plastique
20	Tenue du béton pendant plusieurs heures
27	Ignition spontanée du bois entre 5 et 15 mn
36	Dégâts aux équipements, stockages...même protégés par refroidissement
92	Rayonnement d'un feu faible (<850°C)
100	Température de 100°C atteinte dans 10 cm de béton au bout de 3 h
150	Rayonnement d'un feu moyen (1000°C)
200	Ruine du béton par éclatement interne en quelques dizaines de minutes (T° interne 200 à 300°C)
250	Valeur de la boule de feu d'un BLEVE

(d'après ANDURAND-Ecole des Mines d'Alès et Michaëlis, guide UFIP des études de dangers)

3. Méthodes et moyens de calcul mis en application

3.1 CALCUL DES FLUX THERMIQUES GENERES PAR UN FEU DE COMBUSTIBLES SOLIDES

La modélisation des flux thermiques rayonnés par un feu de combustibles solides est réalisée par l'utilisation de l'outil de calcul « I.F.N.A.P. », développé par ANTEA (Incendie Feu de Nappe). Il est rappelé que le terme « feu de nappe », ou « feu de flaque », décrit un incendie résultant de la combustion d'une nappe de combustible liquide.

I.F.N.A.P. permet l'étude des combustibles liquides mais aussi des combustibles solides susceptibles de se liquéfier sous l'effet de la chaleur (plastiques, bitumes,...) et les matières solides combustibles qui peuvent induire un feu de surface similaire à celui des feux de liquides.

Le modèle développé par ANTEA repose sur la considération d'une flamme solide à une zone. La flamme est assimilée à un volume opaque de géométrie simple dont les surfaces rayonnent uniformément. De fait il est supposé une température de flamme et une composition homogènes sur toute la hauteur de la flamme.

Le flux rayonné en un point extérieur à la flamme est donné par la formule générique :

$$\phi_R = \phi_0 \cdot F \cdot \tau_{air}$$

avec :

ϕ_R : Flux unitaire reçu par la cible (kW/m²)

ϕ_0 : Flux radiatif initial de la flamme ou pouvoir émissif de la flamme (kW/m²)

F : Facteur de forme fonction de la géométrie du feu et de l'orientation relative de la cible

τ_{air} : Transmissivité de l'air caractérisant la capacité d'atténuation du flux rayonné par absorption atmosphérique.

Dans I.F.N.A.P., le pouvoir émissif peut être estimé selon 2 approches. Une approche énergétique simple en considérant la puissance surfacique rayonnée par la flamme comme une fraction de la puissance totale libérée par la combustion (méthode du TNO). L'autre approche disponible est celle développée par MUDAN ET CROCE, qui intègre l'incidence de la production de suies.

La puissance surfacique rayonnée est déterminée via la connaissance de la surface de la nappe au sol en feu et de la hauteur de flamme. I.F.N.A.P. permet d'étudier tout type de surface de flaque : rectangulaire, circulaire, induite par un rejet continu ou suite à un éclatement de capacité. I.F.N.A.P. propose différentes corrélations pour le calcul de la hauteur de flamme : THOMAS, HESKESTAT, MOORHOUSE, ZUKOVSKI et COX & CHITTY.

Les facteurs de forme traduisent l'angle solide sous lequel la cible perçoit le rayonnement. Dans I.F.N.A.P., la flamme est assimilée à une forme géométrique simple (cylindre, polyèdre) : I.F.N.A.P. considère les cas facteurs de forme associés à cylindre droit et à un plan vertical.

Le facteur de transmissivité atmosphérique traduit le fait que les radiations émises sont en partie absorbées par l'air présent entre la surface radiante et la cible. I.F.N.A.P. propose 3 corrélations : LANNOY, BRZUSTOSWIKI & SOMMER, et LIHOU & MAUND.

Enfin, I.F.N.A.P. permet d'étudier les configurations définies par la présence d'un mur coupe-feu placé au droit de la surface au sol en feu, mais aussi pour un mur-coupe-feu éloigné de la surface au sol en feu.

Des tests de comparaison pour les feux de nappe ont été effectués entre la feuille de calcul I.F.N.A.P., et les résultats présentés sur le document de l'INERIS « *Etude de scénarios dangereux en station-service* ». Plus de 10 configurations ont été étudiées. Les résultats de ces comparaisons sont les suivants :

Type d'écarts		Formules utilisées	Ecart*
Hauteur de flamme	Ecart minimum	Hauteur de flamme : Thomas	2%
	Ecart moyen		6%
	Ecart maximum		18%
3 kW/m ²	Ecart minimum	Hauteur de flamme : Thomas	0%
	Ecart moyen		9%
	Ecart maximum		17%
5 kW/m ²	Ecart minimum	Pouvoir émissif : Mudan et Croce	0%
	Ecart moyen		10%
	Ecart maximum		23%
8 kW/m ²	Ecart minimum	Transmissivité : Brzustowski et Sommer	/
	Ecart moyen		/
	Ecart maximum		/

* : les écarts ne sont comptabilisés que si les seuils sont atteints

Des tests de comparaison pour les feux de solides ont été effectués entre la feuille de calcul I.F.N.A.P., et les résultats présentés sur le document de l'INERIS « *Analyse des risques associés à l'industrie papetière* ». 8 configurations ont été étudiées. Les résultats de ces comparaisons sont les suivants :

Type d'écarts		Formules utilisées	Ecart*
Hauteur de flamme	Ecart minimum	Hauteur de flamme : Thomas	0%
	Ecart moyen		1%
	Ecart maximum		8%
3 kW/m ²	Ecart minimum	Hauteur de flamme : Thomas	0%
	Ecart moyen		2%
	Ecart maximum		7%
5 kW/m ²	Ecart minimum	Pouvoir émissif : Mudan et Croce	0%
	Ecart moyen		4%
	Ecart maximum		9%
8 kW/m ²	Ecart minimum	Transmissivité : Brzustowski et Sommer	6%
	Ecart moyen		10%
	Ecart maximum		14%

* : les écarts ne sont comptabilisés que si les seuils sont atteints

Afin de ne pas fausser les résultats sur le flux thermique, la formule de Thomas a été utilisée car l'INERIS a fait ces modélisations à partir de cette même formule. Ainsi, les différences notées pour la hauteur de flamme proviennent de la manière de calculer le diamètre équivalent.

Peu de divergences sont observées au niveau des écarts selon les dimensions des nappes. Par ailleurs, dans la grande majorité des cas, les résultats donnés par I.F.N.A.P. majoraient ceux donnés dans les documents de l'INERIS.

Ainsi, le peu de variations constatées entre les guides de l'INERIS et la méthode développée par ANTEA, et le caractère dimensionnant de l'outil, nous permettent de justifier de l'utilisation de la méthode caractérisée par ANTEA.

4. ZONES d'effet des phénomènes dangereux

4.1 ZONES D'EFFET DU PHENOMENE DANGEREUX INITIAL

Le tableau ci-après reprend en ligne 1 les distances d'effets du phénomène dangereux initial modélisé et les principales données intermédiaires.

4.2 ZONES D'EFFET DU PHENOMENE DANGEREUX MODIFIE

Les nouvelles zones d'effets sont incluses dans le tableau

Tableau 4 : Résultats de modélisation

Phénomènes dangereux (PD)		Principales hypothèses	Résultats intermédiaires	Effets ou dose thermiques		
N°	Intitulé			3 kW/m ²	5 kW/m ²	8 kW/m ²
1	Scénario initial : Incendie généralisé des stockages couverts + armoires SCALA + conteneurs de solvants usés + cuves de solvants usés	Dimensions du stockage : rectangle de 36 m x 28 m Vitesse de régression de l'isopropanol : 39,6 g/m ² /s PCI : 33 100 kJ/kg	Flux émissif* : 26,5 kW/m ² Hauteur de flamme : 31,1 m	42/37	29/25	18/15
2	Configuration 1 : Incendie généralisé des stockages couverts + armoires SCALA + conteneurs de solvants usés + cuves de solvants usés	Dimensions du stockage : rectangle de 36 m x 28 m Vitesse de régression du mélange : 54,3 g/m ² /s PCI : 32 661 kJ/kg	Flux émissif* : 29,6 kW/m ² Hauteur de flamme : 39,27 m	50/43	34/30	22/19
			Avec mur coupe feu de 12 m de haut :	29/-	-/-	-/-
3	Configuration 2 : Incendie généralisé des stockages couverts Et conteneurs de solvants usés + cuves de solvants usés scindés en deux zones de confinement	Dimensions du stockage : zone 1 nord rectangle de 32 m x 8 m Vitesse de régression du mélange : 54,3 g/m ² /s PCI : 32 661 kJ/kg	Flux émissif* : 16,90 kW/m ² Hauteur de flamme : 30,39 m	29/11	18/7	8/4
			Avec mur coupe feu de 12 m de haut :	-/-	-/-	-/-
		Dimensions du stockage : zone 2 sud rectangle de 21 m x 11 m Vitesse de régression du mélange : 54,3 g/m ² /s PCI : 32 661 kJ/kg	Avec mur coupe feu de 7 m de haut minimum :	-/-	-/-	-/-
			Flux émissif* : 22,47 kW/m ² Hauteur de flamme : 24,88 m	26/17	18/12	10/7
4	Configuration 3 : Incendie généralisé des stockages regroupés en une seule zone sud	Dimensions du stockage : zone 2 sud rectangle de 21 m x 11 m Vitesse de régression du mélange : 54,3 g/m ² /s PCI : 32 661 kJ/kg	Flux émissif* : 22,47 kW/m ² Hauteur de flamme : 24,88 m	26/17	18/12	10/7
			Avec mur coupe feu de 7 m de haut minimum :	-/-	-/-	-/-

* utilisation de la méthode TNO avec fraction rayonnée de 10 % justifié par travaux de Koseki

(Les distances d1/d2 correspondent aux effets le long des médiatrices faisant face, respectivement, à la longueur et à la largeur du bâtiment en flammes).

Ci après les graphiques correspondants aux différents résultats du tableau.

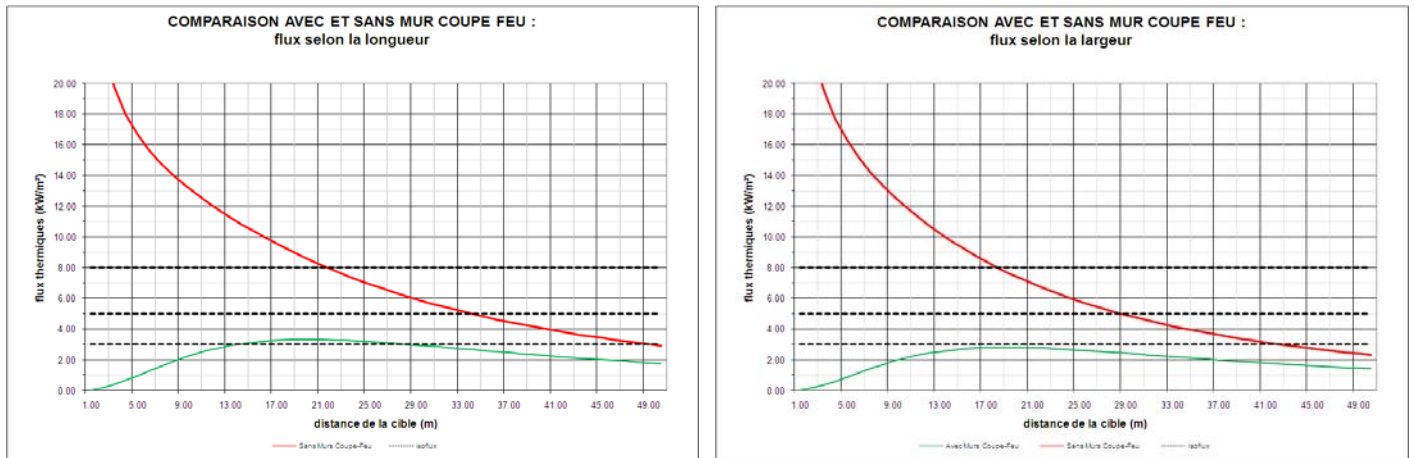


Figure 1 : Flux configuration 1 avec mur coupe feu de 12 m

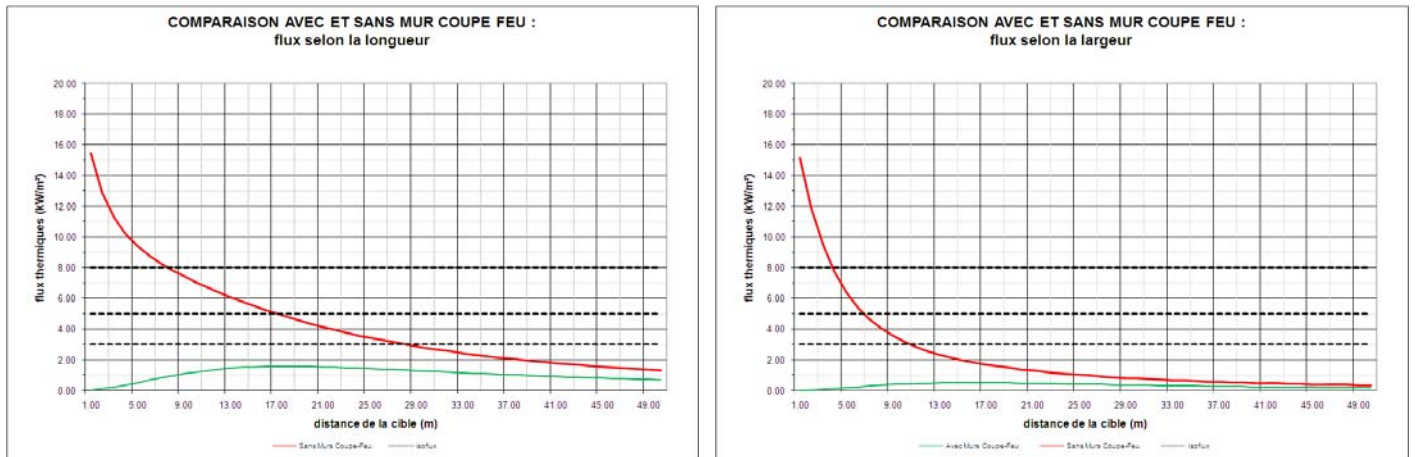


Figure 2 : Flux configuration 2 zone 1 avec mur coupe feu de 12 m

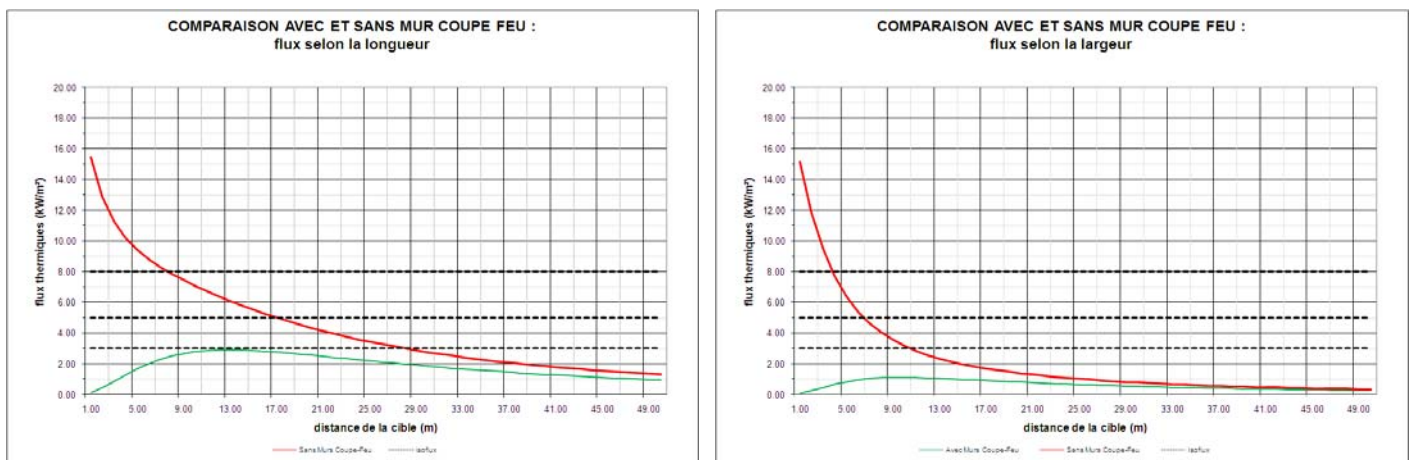


Figure 3 : Flux configuration 2 zone 1 avec mur coupe feu de 7 m

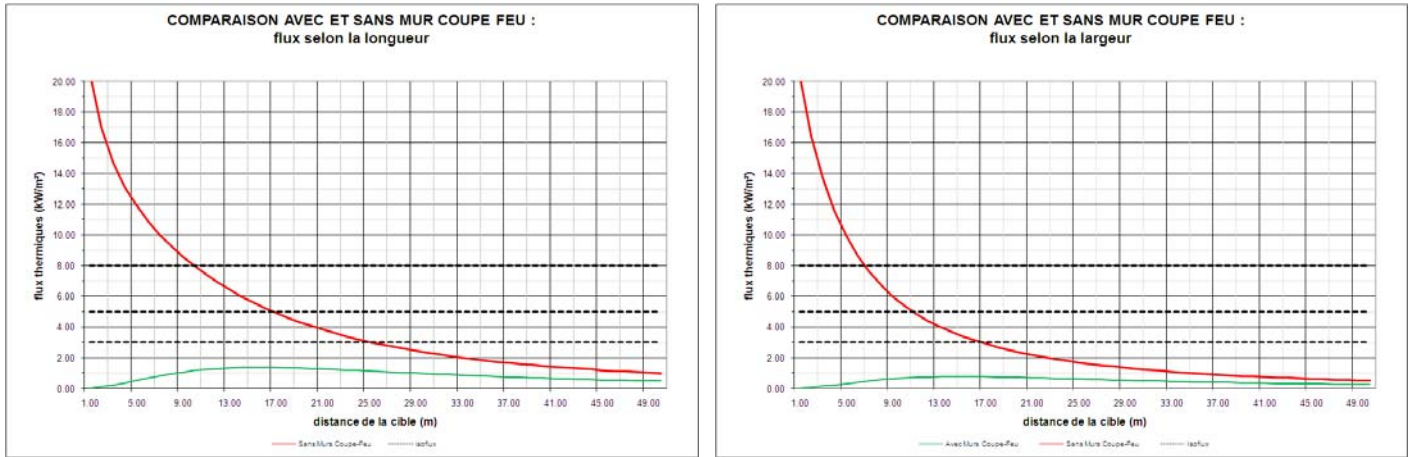


Figure 4 : Flux configuration 2 zone 2 avec mur coupe feu de 12 m

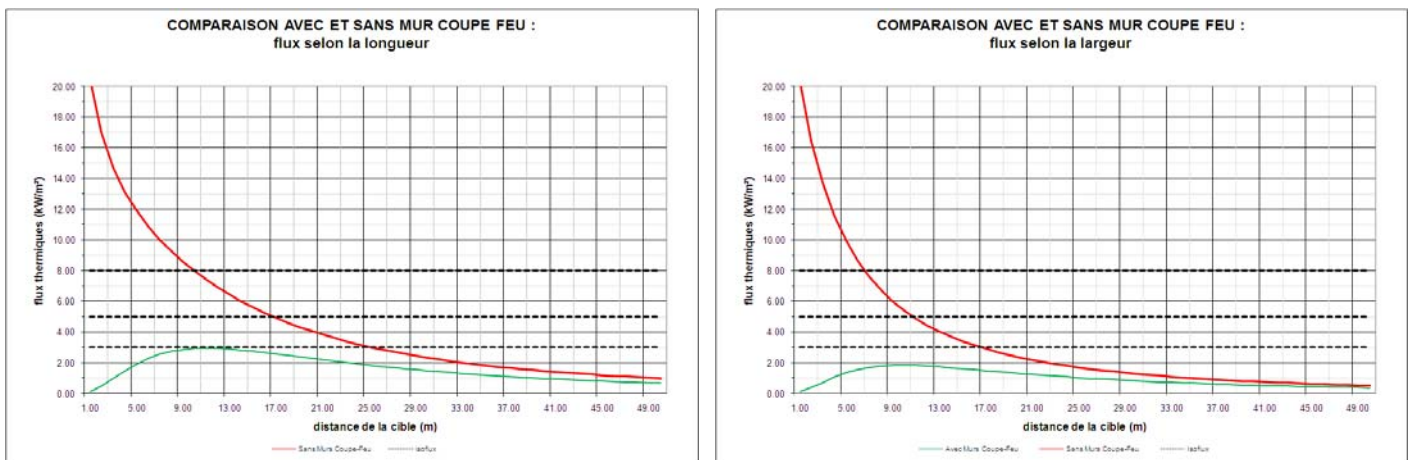


Figure 5 : Flux configuration 2 zone 2 et configuration 3 zone 2 avec mur coupe feu de 7 m

4.3 CONCLUSION SUR LES RESULTATS DE CALCUL

En configuration 1, le mur coupe feu de 12 m de haut en limite de propriété SCALA permet de supprimer les zones d'effets thermiques 3, 5 et 8 kW/m² derrière ledit mur. Ce résultat ne préjuge pas de la propagation de ces zones d'effets au nord-est du stockage par contournement du mur.

En configuration 2, les murs coupe feu de 12 m de haut au droit des stockages permettent de supprimer les zones d'effets thermiques 3, 5 et 8 kW/m² derrière lesdits murs. Comme pour la configuration 1, ces résultats ne préjugent pas de la propagation de ces zones d'effets au nord et au sud des stockages par contournement des murs.

D'après les calculs, la hauteur minimale des murs coupe feu nécessaire à la protection contre les flux thermiques de 3, 5 et 8 kW/m² serait de 7 m.

En configuration 3, la mise en place d'un mur coupe feu en U autour de la zone de stockage n°2 réservée aux liquides inflammables apporte une protection contre la propagation de ces effets derrière le mur. La zone nord et les parties non protégées au nord-est et au nord-ouest restent soumises à la propagation des flux thermiques par contournement du mur.

En configurations 2 et 3, la rétention d'une fuite de liquide inflammable permettant de circonscrire la nappe à l'emprise des zones de stockage permet de réduire la zone d'effets domino (8 kW/m²) à 8 m et 10 m entre les deux zones de stockage (perpendiculairement à leur longueur).

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.

La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière