



Rapport final

Résultats des modélisations

Site de Saint-Nazaire (44)

Préparé pour :

STELIA AEROSPACE

Date : 25 septembre 2014

Référence : PAR-RAP-14-13550A

N° de Projet : 46314833

N° de référence du rapport : PAR-RAP-14-13550A
Titre du rapport : Résultats des modélisations
N° de Projet : 46314833
Statut : Rapport final
Nom du Client : STELIA AEROSPACE
Nom du Contact Client : Steven MARTIN
Emis par : URS France, bureau de Paris
87 avenue François Arago
92017 Nanterre Cedex
Tél : 01 55 69 20 00

Révision du Document

Version N°	Date	Détails des Révisions
A	25 septembre 2014	Version initiale

TABLE DES MATIERES

Chapitre	N° de Page
1. INTRODUCTION.....	4
2. OUTILS DE MODELISATION	5
2.1 Feu de nappe	5
2.1.1 Géométrie de la flamme.....	6
2.1.2 Pouvoir émissif de la flamme	8
2.1.3 Transmissivité atmosphérique	8
2.1.4 Facteur de forme.....	8
2.2 Jets enflammés	9
2.3 Explosion non confinée d'un nuage de gaz	9
2.3.1 UVCE (surpression)	9
2.3.2 Flash Fire (effets thermiques)	10
2.4 Dispersion toxique	10
2.5 Explosion / Eclatement d'un équipement.....	11
2.6 Explosion à l'intérieur d'un bâtiment.....	12
2.7 Effets de projections.....	13
2.8 Détermination des termes sources	13
2.9 Paramètres de dispersion	14
2.9.1 Conditions atmosphériques.....	15
2.9.2 Environnement	16
2.9.3 Détermination des concentrations atmosphériques.....	16
2.10 Représentation des zones de sécurité	17
3. RESULTATS DES MODELISATIONS	18
3.1 ERC 1 – Atmosphère explosive dans le local de pompage des peintures	18
3.1.1 Présentation de l'événement redouté central et des phénomènes dangereux associés	18
3.1.2 Evaluation de l'intensité des effets.....	18
3.1.3 Conséquences	21
3.1.4 Effets dominos	21
3.2 ERC 2 – Perte de confinement de bidons d'acide fluorhydrique en extérieur	23
3.2.1 Présentation de l'événement redouté central et des phénomènes dangereux associés	23
3.2.2 Evaluation de l'intensité des effets.....	23
3.2.3 Conséquences	24
3.3 ERC 3 – Perte de confinement de bidons de liquides inflammables sous le préau Est25	
3.3.1 Présentation de l'événement redouté central et des phénomènes dangereux associés	25
3.3.2 Evaluation de l'intensité des effets.....	25
3.3.3 Conséquences	26
3.3.4 Effets dominos	27
3.4 ERC 4 – Perte de confinement de la canalisation de gaz naturel en extérieur	28
3.4.1 Présentation de l'événement redouté central et des phénomènes dangereux associés	28

3.4.2	Evaluation de l'intensité des effets.....	28
3.4.3	Conséquences	32
3.4.4	Effets dominos	32
3.5	ERC 5 – Emission de gaz naturel à l'intérieur de la chaufferie du bâtiment U93	34
3.5.1	Présentation de l'événement redouté central et des phénomènes dangereux associés	34
3.5.2	Evaluation de l'intensité des effets.....	34
3.5.3	Conséquences	36
3.5.4	Effets dominos	36

1. INTRODUCTION

La société AEROLIA 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.

L'étude de dangers est en cours de réalisation. Suite à l'Analyse Préliminaire des Risques, 5 Evénements Redoutés Centraux (ERC) ont été identifiés : ils font l'objet d'une Analyse Détaillée des Risques dont la première étape consiste en la quantification des effets des phénomènes dangereux, à travers le calcul des distances associées aux seuils d'effets réglementaires.

2. OUTILS DE MODELISATION

2.1 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 calculée 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.

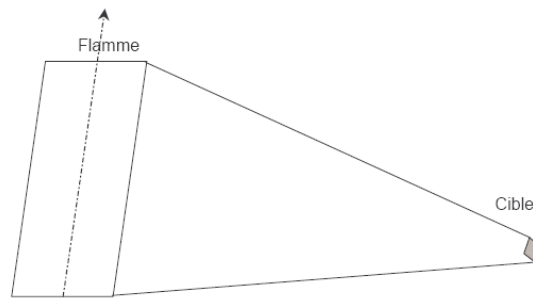
2.1.1 Géométrie de la flamme

2.1.1.1 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.



2.1.1.2 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 :

$$D_{eq} = 4 \frac{Surface}{Périmètre}$$

2.1.1.3 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 :

$$\dot{m} = \frac{Hc}{Cp.\Delta T + Hv} \cdot 10^{-3}$$

avec :

- \dot{m} : le débit massique de combustion par unité de surface (kg/(m².s)).

- C_p : la chaleur spécifique du produit à pression constante (kJ/(kg.K)) ;
- H_c : la chaleur de combustion du produit (kJ/kg) ;
- H_v : la chaleur de vaporisation du produit (kJ/kg) ;
- ΔT : différence entre la température d'ébullition du produit et la température ambiante (K).

2.1.1.4 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)).
- $u^* = u_w/u_c$: vitesse adimensionnelle du vent ;
- u_w : vitesse du vent (m/s)

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

2.1.2 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).

Comme pour le débit de combustion, les données sur le pouvoir émissif de certains produits peuvent être issues de la littérature.

2.1.3 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) ;
- H_r : taux d'humidité relative de l'air (%) ;
- P_{vap(H2O)} : Pression de vapeur saturante de l'eau.

2.1.4 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.

2.2 Jets enflammés

Les calculs de flux thermique des jets enflammés sont effectués à partir du modèle tronconique intégré dans le logiciel PHAST.

Ce modèle assimile le feu alimenté à un tronc de cône et évalue les éléments géométriques principaux du jet enflammé, à savoir la vitesse du jet au travers de la brèche, le diamètre fictif de l'orifice du jet, les dimensions du tronc de cône, la position du barycentre du tronc de cône, la longueur de flamme ainsi que la surface rayonnante du jet de flamme. Il permet de modéliser un jet enflammé avec un angle variable et prend en compte la variation angulaire supplémentaire en fonction de la vitesse du vent (qui « couche » la flamme).

Le jet enflammé est calculé à partir du débit gazeux à la brèche, prenant en compte les aérosols. Il ne sera pas retenu de jet enflammé sur un rejet purement liquide. Un rejet horizontal est modélisé, avec la corrélation de Johnson préconisé par DNV.

2.3 Explosion non confinée d'un nuage de gaz

2.3.1 UVCE (surpression)

La méthode multi-énergie est retenue pour évaluer les conséquences des UVCE. Cette méthode est présentée en détails dans le document INERIS intitulé « Guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre » en date de juillet 1999.

Pour mémoire, les différentes étapes de cette méthode sont les suivantes :

- modélisation de la dispersion du produit à l'aide du logiciel PHAST® afin d'obtenir la forme du nuage inflammable (zones du nuage dont la concentration est comprise entre le LIE et la LSE) ;
- détermination de la position et du volume des zones indépendantes pouvant être touchées par le nuage ;
- recensement des installations, équipements et voies de circulation en milieu non confiné pouvant constituer une source d'ignition de la nappe et ce malgré la mise

en œuvre de matériel électrique adapté (les bâtiments clos sont systématiquement non retenus pour la mise en œuvre de la méthode) ;

- pour chaque zone, détermination d'un indice d'explosion (1 à 10) évalué à partir du degré d'encombrement et/ou de confinement lié aux équipements présents et à leur agencement dans ladite zone ;
- calcul de la masse inflammable impliquée dans l'explosion à partir du volume de gaz inflammable présent dans chaque zone considérée ;
- détermination des centres des explosions pour chacune des zones ;
- détermination des distances d'effets à partir de la lecture des abaques multi-énergie.

2.3.2 Flash Fire (effets thermiques)

L'expérience montre que l'effet du rayonnement thermique est assez limité, et que l'effet léthal est dimensionné par la distance à la LII. Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours des gaz brûlés est susceptible de subir l'effet léthal avec une probabilité élevée, et toute personne se trouvant en dehors du nuage inflammable ne peut pas subir d'effet thermique léthal.

Dans le cas de l'explosion d'un nuage de gaz au repos en espace libre ou flash fire, les seuils d'effets thermiques considérés sont :

- distance au seuil des effets létaux significatifs = distance à la LII ;
- distance au seuil des premiers effets létaux = distance à la LII ;
- distance à l'effet irréversible = 1,1 x distance à la LII (formule forfaitaire).

2.4 Dispersion toxique

Les calculs des effets du phénomène dangereux Dispersion atmosphérique sont réalisés avec le logiciel de modélisation PHAST[®], version 6.54.

Les effets dus à l'exposition à une substance toxique sont liés d'une part à la concentration à laquelle sont exposés les individus et, d'autre part, au temps pendant lequel ils sont exposés ; on introduit ainsi la notion de dose.

A partir de la formule de dose, il est possible de calculer, pour une durée d'exposition non définie par l'INERIS, la concentration en produit conduisant à une dose équivalente à celle du seuil d'effet toxique considéré selon la formule suivante :

$$\text{Dose} = (\text{concentration})^n \times \text{durée d'exposition}$$

L'exposant d'isotoxicité « n » est établi à partir de l'extrapolation de plusieurs points.

L'évaluation des effets potentiels de l'exposition à une substance toxique peut également se faire à l'aide d'une équation de Probit permettant d'évaluer la relation entre la dose d'exposition et le seuil d'effet toxique considéré pouvant résulter de cette exposition.

Cette équation est de la forme :

$$P_r = -a + b \times \text{Ln}(C^n \times t)$$

Avec :

- P_r : valeur de Probit à partir de laquelle on peut évaluer le seuil d'effet toxique parmi la population exposée ;
- C : concentration dans l'air du produit étudié en ppm volume ;
- t : durée d'exposition en minutes ;
- a , b et n : constantes définies pour chaque produit.

2.5 Explosion / Eclatement d'un équipement

L'explosion de capacité par inflammation du mélange contenu ou encore l'éclatement de la capacité par surpression est calculé en utilisant l'énergie de détente (énergie de Brode).

Le relâchement brutal d'énergie consécutif à la rupture d'une capacité sous pression engendre une onde de surpression pouvant causer des dommages à l'homme et des dégâts aux biens mais peut aussi générer des missiles (morceaux de métal). Le calcul de l'énergie d'onde de choc nécessite la définition des paramètres suivants :

- la pression d'éclatement de la capacité ;
- son volume ;
- la nature du produit, et notamment son rapport des chaleurs spécifiques ;

L'énergie de l'onde est déterminée par la formule suivante :

$$E = \frac{(P_e - P_0) \times V_g}{(\gamma - 1)}$$

où :

- P_e est la pression d'éclatement absolue de l'enceinte (Pa),
- P_0 est la pression ambiante (Pa),
- V_g est le volume du ciel gazeux dans la capacité (m^3),
- et γ est le rapport des chaleurs spécifiques du gaz contenu dans la capacité (sans dimension).

Pour un éclatement lié à une pressurisation lente, on considèrera que la pression d'éclatement est égale à la pression de rupture statique de l'équipement, évaluée de façon majorante à 3 fois sa pression de calcul,

Dans le cas d'un éclatement consécutif à une inflammation interne du ciel gazeux (explosion) conduisant à une montée en pression très rapide, comme préconisé par l'INERIS, la pression d'éclatement (pression de rupture dynamique) peut atteindre 2 fois sa pression de rupture statique, égale elle-même à 3 fois sa pression de calcul.

Le rapport des chaleurs spécifiques est fonction du gaz impliqué. Dans le cas d'une surpression d'air ou d'azote, ce coefficient est égal à 1,4. Pour un mélange de gaz brûlés, il est d'usage de retenir environ 1,31.

La quantification de l'onde de surpression est ensuite déterminée en utilisant la méthode multi-énergie avec un indice de violence de 10.

$$D = R' \times \left(\frac{E}{P_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

avec :

- D : Distance d'effet (m) ;
- R' : Distance réduite au centre du nuage, lue sur l'abaque multi-énergie en fonction de l'indice retenu(-). Dans le cas présent on retiendra un indice de 10.
- E : Energie de détente (J)
- P_0 : Pression ambiante (Pa)

2.6 Explosion à l'intérieur d'un bâtiment

Si une atmosphère inflammable est présente dans un bâtiment, l'inflammation de celle-ci va induire une augmentation de pression interne qui va se traduire par la rupture des parois les plus faibles.

Une onde de surpression externe au local, liée à la détente des gaz va être générée, les effets de cette explosion primaire s'évaluant en utilisant comme dans le cas précédent l'énergie de Brode (énergie de détente) et la courbe multi-énergie 10.

La présence de surfaces soufflables (événements d'explosion) suffisamment dimensionnées permet d'éviter la rupture des parois du bâtiment. Dans ce cas, la pression maximale atteinte dans le local (Pred) est évaluée en utilisant les formules de calcul des événements définies dans la norme NFEN 14994 ou dans le standard NFPA 68.

Une fois la paroi du local (ou l'événement d'explosion) rompue, le nuage gazeux qui n'a pas entièrement brûlé (pour des pressions de rupture faibles, la majorité de l'énergie de combustion est encore disponible) est éjecté et continue de se consumer en extérieur, générant une deuxième onde de surpression dont la violence dépend à la fois de la

surpression initiale et du degré de confinement/encombrement de la zone dans lequel se développe cette explosion. Ainsi, sous l'impulsion de la surpression de l'explosion primaire, le nuage inflammable éjecté est fortement turbulent et la surpression maximale attendue en périphérie de nuage est au moins du même ordre de grandeur que la pression interne obtenue dans le local au moment de sa rupture.

La quantification de l'onde de surpression est ensuite déterminée, sur la base de l'énergie de combustion, en utilisant la méthode multi-énergie (voir ci-dessus) avec un indice de violence choisi en conséquence.

Pour le calcul de l'énergie de combustion il est considéré un nuage inflammable à la stœchiométrie (cas majorant).

2.7 Effets de projections

Les projections de missiles ne seront pas considérées conformément à la circulaire du 10 mai 2010. En effet, il ne s'agit pas d'installations pyrotechniques.

2.8 Détermination des termes sources

Le calcul des débits de fuite sur les lignes et capacités est fait en utilisant le logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools) de DNV Risk Management Software dans la version 6.54. Ce logiciel bénéficie d'un important retour d'expérience, d'une grande communauté d'utilisateurs ainsi que de nombreuses évaluations, notamment par l'INERIS. Il permet, à partir des données thermodynamiques (état du fluide, pression, température notamment) et des caractéristiques dimensionnelles du système, de calculer des débits de fuite en paroi, des débits sur les tuyauteries et est également capable de prendre en compte des lignes de grande longueur afin d'analyser le phénomène de bouffée liée à la décompression.

Dans le cas des fuites en extérieur, le débit déterminé par PHAST est réutilisé comme terme source pour la dispersion.

Pour les fuites dans les bâtiments, PHAST permet de calculer le débit de fuite de l'équipement et l'évolution de la concentration en polluant dans le bâtiment en fonction du débit de fuite et du débit de ventilation. Par contre, il ne fournit pas un débit de rejet correct en sortie de bâtiment (il utilise simplement une dilution directe du débit de fuite dans le débit de ventilation sans prendre en compte « l'effet tampon » assuré par le bâtiment). Dans ce cas, nous calculons un débit de rejet hors du bâtiment en utilisant les équations de base de la conservation de masse (à tout moment, la concentration dans le bâtiment est considérée comme homogène et le débit de rejet du polluant est égal au produit du débit de ventilation par la concentration dans le bâtiment à cet instant). Le calcul de dispersion est ensuite réalisé en utilisant PHAST avec un terme source constitué d'air et de polluant.

2.9 Paramètres de dispersion

La modélisation de la dispersion de gaz est réalisée par utilisation du logiciel PHAST. Ce logiciel, de type intégral, bénéficie d'un important retour d'expérience, notamment pour les calculs de dispersion.

Les modèles intégraux sont à utiliser dès que le rejet perturbe l'écoulement atmosphérique de l'air. Pour la modélisation des nuages de gaz passifs (dès leur rejet ou après une dilution suffisamment importante), l'outil intégral utilise alors un modèle gaussien.

2.9.1 Conditions atmosphériques

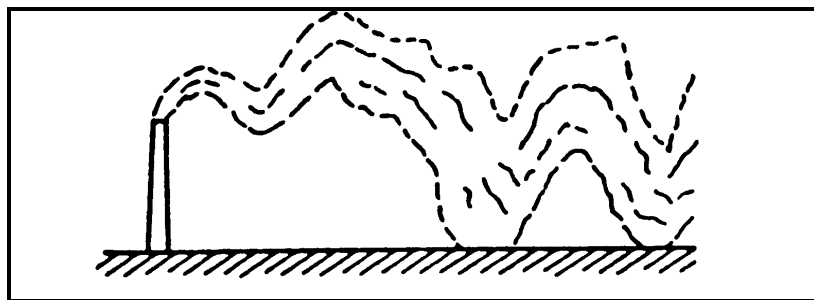
Les conditions météorologiques sont décrites par de nombreux paramètres, dont les principaux sont ceux liés d'une part, à la turbulence atmosphérique, d'autre part, à la vitesse du vent.

2.9.1.1 Turbulence atmosphérique

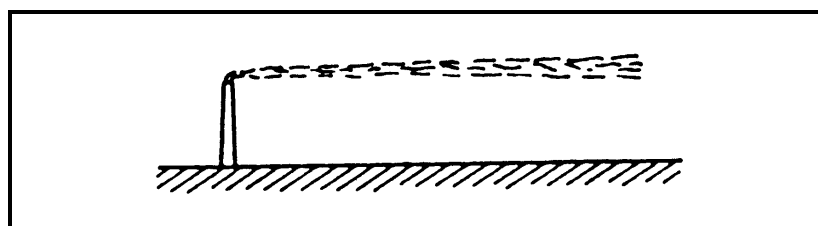
La turbulence atmosphérique est due à la fois à des turbulences d'origine mécanique, engendrées par la rugosité du sol, et à des turbulences d'origine thermique liées à la stratification verticale de la température de l'atmosphère.

Concernant les turbulences d'origine thermique, une caractéristique importante est la stabilité atmosphérique. Elle est liée au gradient vertical de densité de l'air, lui-même lié au gradient vertical de température. A cet égard, il est proposé une classification comportant 6 classes de stabilité, notées de A à F, et couvrant les cas des atmosphères très instables à instables (classes A et B), jusqu'aux cas des atmosphères stables à très stables (classes E et F), en passant par les cas neutres (classes C et D).

De façon succincte, lorsqu'une atmosphère est instable (classes A et B), la dispersion atmosphérique verticale est favorisée. Le panache qui se forme est toutefois très ouvert. En conséquence, une part importante du produit émis se disperse vers du sol. Il en résulte que, malgré l'élévation initiale, les concentrations en polluants, au sol, peuvent être importantes.



A l'opposé, lorsqu'une atmosphère est stable, son aptitude à diffuser verticalement un polluant est faible. Le panache formé reste très peu ouvert ("panache drapeau"). La dispersion s'opère donc en altitude et les concentrations de polluants, au sol, sont relativement faibles.



2.9.1.2 Vitesses de vent

Conformément à la circulaire du 10 mai 2010 et au « guide de bonnes pratiques pour l'utilisation du logiciel PHAST à usage des industriels de la chimie » édité par l'UIC en septembre 2012 et sachant que les rejets modélisés sont situés à moins de 10 m de hauteur, les conditions atmosphériques retenues dans le cadre de cette étude de dangers sont les conditions de stabilité atmosphérique (classes de Pasquill) de type D (neutre) et F (très stable), respectivement associées à des vitesses de vent de 5 et 3 m/s (conditions 5/D et 3/F).

En effet, la première de ces conditions permet de représenter une situation courante (condition neutre et vitesse du vent de 5 m/s), la seconde permettant une évaluation des conséquences dans des conditions atmosphériques défavorables (condition très stable et vitesse du vent de 3 m/s) pour des rejets au niveau du sol.

2.9.1.3 Autres paramètres considérés

La température de l'atmosphère et du sol a été fixée à 15°C pour la condition de stabilité atmosphérique F et à 20°C pour la condition de stabilité atmosphérique D.

L'humidité relative retenue est de 70%.

2.9.2 Environnement

La topographie du site joue aussi un rôle non négligeable dans la dispersion d'un polluant dans l'atmosphère. Elle est prise en considération par un paramètre appelé « paramètre de rugosité de surface » pour ce qui concerne les irrégularités de taille faible par rapport à celle du nuage ou du panache (présence de bâtiments, d'une forêt, d'un champ, d'une zone urbaine, etc.). Ces irrégularités vont être responsables d'une diffusion plus rapide, elles peuvent aussi faciliter les dépôts.

Le type de surface utilisé est « 1 m – Regular large obstacle coverage (suburb, forest) », correspondant à un site industriel, conformément aux recommandations de l'UIC présentées dans le « guide de bonnes pratiques pour l'utilisation du logiciel PHAST à usage des industriels de la chimie », édité en septembre 2012.

2.9.3 Détermination des concentrations atmosphériques

L'« averaging time » (ou temps de moyennation) est un paramètre ayant une grande influence sur la détermination des concentrations à distance de la source.

Dans le cas d'un rejet inflammable, la valeur du paramètre « core averaging time » est de 18,75 secondes.

Pour un rejet toxique, la valeur du paramètre « core averaging time » est prise égale au « toxic averaging time », lui-même égal au maximum à la durée de passage du nuage (durée d'exposition des personnes).

2.10 Représentation des zones de sécurité

Pour tous les phénomènes dangereux étudiés, les zones de sécurité seront évaluées :

- à partir du bord de la nappe pour les feux de nappe ;
- à partir du centre de la source (bâtiment, capacité) pour les explosions internes ;
- à partir du point d'émission du produit pour les jets enflammés, les UVCE ou les effets toxiques.

3. RESULTATS DES MODELISATIONS

3.1 ERC 1 – Atmosphère explosive dans le local de pompage des peintures

3.1.1 Présentation de l'événement redouté central et des phénomènes dangereux associés

L'Événement Redouté Central est la perte de confinement d'un fût de peinture ou solvant conduisant à la formation d'une atmosphère explosive dans le local de pompage des peintures du bâtiment U83, par la présence de vapeurs inflammables combinée à une source d'ignition (travaux par point chaud, cigarette).

Le phénomène dangereux résultant de la présence d'une atmosphère explosive dans le local de pompage des peintures est une explosion interne du local. Cette explosion peut ensuite être suivie d'un incendie.

3.1.2 Evaluation de l'intensité des effets

3.1.2.1 Hypothèses de modélisation

Le local de pompage des peintures est situé dans un bâtiment adjacent au bâtiment U83. Le local est sprinklé et les murs sont coupe-feu 2h. Les données d'entrée de la modélisation sont les suivantes :

Tableau 1 : ERC 1 – Hypothèses de modélisation

Produit stocké	Peinture solvantée
Quantité de peinture en mélange dans l'air	Mélange stœchiométrique
Quantité de peintures et solvants pouvant être présente dans le local (en fûts ou conteneurs)	- Solvant Socomor G11 (800 kg) ; - Solvant Diestone E (400 kg) ; - P60-A Hardener (400 kg) ; - P70-A Hardener (400 kg) ; - P60-A Base Green (600 kg) ; - F70-A Base Grey (400 kg). Soit un total d'environ 3 t de produits inflammables
Volume et dimensions du local	Surface : 48,65 m ² - Hauteur sous plafond : 3 m. Volume occupé par les équipements : environ 30 % Soit un volume disponible de 105 m ³ .
Matériau des parois du local de pompage	Béton alvéolaire
Matériaux du plafond du local de pompage	Plafond REI 120 (coupe-feu 2 heures.
Débit de ventilation du local de pompage	2000 m ³ /h max
Présence de surfaces ouvertes (portes, ...) : Surface	- Double porte battante donnant vers l'extérieur sur la façade sud (largeur : 1,80 m ; hauteur : 2,05 m) ; - Porte de communication entre le local de pompage et le local de préparation des peintures (largeur : 0,9 m ; hauteur : 2,05 m).
Présence d'éléments soufflables	Aucun élément soufflable

Pression de rupture des parois et du toit	Compte tenu du matériau de construction (béton cellulaire, ne présentant pas de résistance élevée à la surpression), une pression de rupture de 150 mbar est retenue.
Localisation et hauteur des murs coupe – feu	- Murs Est, Ouest, Nord et Sud : coupe-feu 2h ; - Hauteur des murs coupe-feu : 4 m.

Deux phénomènes dangereux sont successivement étudiés :

- PhD 1-1 : explosion du local de pompage des peintures ;
- PhD 1-2 : incendie du local de pompage des peintures.

3.1.2.2 **PhD 1-1 : Explosion du local de pompage des peintures et solvants**

Il est considéré ici la perte de confinement d'un fût, conduisant à l'épandage dans le local de 210 l de produit. De façon majorante, le produit retenu pour le calcul est l'acétone, dont le point éclair est le plus faible (-18°C). Cette hypothèse est dimensionnante dans la mesure où ce produit ne représente que de l'ordre de 1 % des produits présents.

Le débit d'évaporation de la nappe d'acétone formée sur une surface maximale de 48,65 m², calculé à partir du logiciel PHAST, est de 0,125 kg/s. La quantité d'acétone évaporée est rapidement suffisante pour que la concentration moyenne atteigne la LIE dans le local, avec ou sans le fonctionnement de la ventilation. L'explosion du local est par conséquent envisagée.

Lors de l'inflammation du nuage gazeux, la pression va rapidement augmenter dans le local entraînant la rupture des parois. Le calcul de l'onde de suppression associée est fait sur la base de l'énergie de Brode par la méthode multi-énergie avec un indice de violence de 10. La pression maximale atteinte est égale à 2 fois la pression de rupture statique soit 300 mbar.

Une fois la paroi du local rompue, le nuage gazeux qui n'a pas entièrement brûlé est éjecté et continue de se consumer en extérieur, générant une deuxième onde de surpression dont la violence dépend à la fois de la surpression initiale et du degré de confinement/encombrement de la zone dans lequel se développe cette explosion. Compte tenu de la pression maximale atteinte dans le local (300 mbar) un indice de violence de 5,5 est retenu.

L'énergie totale de combustion en considérant un volume gazeux de 105 m³ à la stœchiométrie (5 % pour l'acétone) correspond à 12,7 kg d'acétone soit 363 MJ. L'énergie absorbée par l'explosion primaire est d'environ 10 MJ de telle sorte que l'énergie restante pour l'explosion secondaire est d'environ 350 MJ.

Les résultats présentés dans le tableau suivant montrent que les effets de l'explosion secondaire sont enveloppés de ceux dus à l'explosion primaire. Ainsi, seules les distances d'effets liées à l'explosion secondaire seront retenues dans l'étude de dangers.

Tableau 2 : PhD 1-1 – Distances d'effets

Effets de surpression	Distances d'effets	
	Explosion primaire	Explosion secondaire
20 mbar (bris de vitres)	48 m	110 m
50 mbar – SEI	24 m	55 m
140 mbar – SEL 1%	11 m	22 m
200 mbar – SEL 5%	8 m	15 m
300 mbar	/	9 m

3.1.2.3 Phd 1-2 : Incendie du local de pompage des peintures et solvants

La modélisation est effectuée en considérant un incendie sur la totalité de la surface du local. 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 du produit épandu est détaillée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Composition du produit épandu

Composants	Pourcentage massique (%)
Acétate de N-butyle	13,6
Ethanol	8,9
Ether monométhyle du propylène glycol	10,2
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	4,7
Acétate d'éthyle	1,3
Acétone	1,3
Nitroéthane	26,7
Butane-2-ol	33,3

A partir de cette composition, la vitesse de combustion du produit est de 0,033 kg/(m².s). Pour une surface en feu de 48,65 m², la durée de l'incendie est de l'ordre d'une demi-heure, donc bien inférieure à la durée coupe-feu des murs. Ceux-ci conserveront donc leur intégrité et feront office de masque pour la partie basse des flammes vis-à-vis des installations voisines.

Cependant, l'incendie du local de pompage peut également être la conséquence de l'explosion du local. Dans ce cas, on considère que les murs coupe-feu ont été détruits.

Le tableau suivant présente les résultats de la modélisation de l'incendie du local de pompage avec et sans prise en compte des murs coupe-feu (MCF). Les distances d'effets sont données depuis la longueur et la largeur du local.

Les distances d'effets indiquées sont les distances enveloppes obtenues pour les 3 vitesses de vent étudiées (0, 3 et 5 m/s).

Tableau 4 : PhD 1-2 – Distances d'effets

Flux Thermique (kW/m ²)	Distances d'effets sans murs CF		Distances d'effets avec murs CF	
	Longueur	Largeur	Longueur	Largeur
8 kW/m² - SELS	14 m	13 m	9 m	8 m
5 kW/m² - SEL	16 m	15 m	12 m	11 m
3 kW/m² - SEI	21 m	19 m	16 m	14 m
Hauteur de flamme visible (m)	4 à 9,6 m		2,3 à 5,6 m	

L'incendie du local de pompage des peintures suite à l'explosion de ce dernier (sans murs coupe-feu), donnant les distances d'effets maximales, est retenu pour l'étude de dangers.

3.1.3 Conséquences

PhD 1-1 : Explosion du local de pompage des peintures et solvants

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

En revanche, la distance associée au seuil des bris de vitre (seuil de surpression de 20 mbar) dépasse les limites du site.

PhD 1-2 : Incendie du local de pompage des peintures et solvants

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

3.1.4 Effets dominos

PhD 1-1 : Explosion du local de pompage des peintures et solvants

Le seuil des effets domino (200 mbar) atteint les installations situées dans un rayon de 15 m autour du centre du local de pompage des peintures et solvants, à savoir :

- une partie du bâtiment U83 :
 - le local de préparation des peintures ;
 - les fours SUNKISS n°1 et n°2 ;
 - l'étuve MABOR ;
 - l'étuve SUNKISS n°3 ;
 - le coin Est de la station de déminéralisation ;

- une partie du bâtiment U93 :
 - le local du transformateur HT/BT ;
 - le local des pompes à fluide thermique.

PhD 1-2 : Incendie du local de pompage des peintures et solvants

Le seuil des effets domino (8 kW/m^2) atteint les installations situées à 14 m au nord-est et au sud-ouest du local de pompage des peintures et solvants, mais également les installations situées à 13 m au sud-est et au nord-ouest de ce dernier, à savoir :

- une partie du bâtiment U83 :
 - le local de préparation des peintures ;
 - les fours SUNKISS n°1 et n°2 ;
 - l'étuve MABOR ;
 - l'étuve SUNKISS n°3 ;
 - le coin Est de la station de déminéralisation ;
- une partie du bâtiment U93 :
 - le local du transformateur HT/BT ;
 - le local des pompes à fluide thermique.

3.2 ERC 2 – Perte de confinement de bidons d'acide fluorhydrique en extérieur

3.2.1 Présentation de l'événement redouté central et des phénomènes dangereux associés

L'Événement Redouté Central est la perte de confinement de plusieurs bidons d'acide fluorhydrique (HF) lors de la manutention d'une palette (transfert de la zone de réception des matières dangereuses jusqu'au stockage dans l'alvéole des acides du magasin des produits dangereux), générant une dispersion d'acide fluorhydrique à l'atmosphère par l'évaporation de la nappe formée à l'extérieur.

3.2.2 Evaluation de l'intensité des effets

3.2.2.1 Hypothèses de modélisation

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

Tableau 5 : ERC 2 – Hypothèses de modélisation

Caractéristiques du produit	
Nom du produit :	Acide fluorhydrique
Phase :	Liquide
Concentration massique :	40 %
Quantité maximale transportée par palette	12 bidons de 30 kg, soit 360 kg
Température :	Ambiante
Pression de vapeur du produit à température ambiante	8 mbar
Nature du sol :	Béton

3.2.2.2 Débit d'évaporation de la nappe

Les débits de vaporisation de la nappe sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau 6 : ERC 2 - Débit de vaporisation de la nappe

Evaporation 3F	
Débit (kg/s)	0,0022
Durée (s)	3 600
Evaporation 5D	
Débit (kg/s)	0,0037
Durée (s)	3 600

Le calcul de dispersion atmosphérique en extérieur est réalisé avec Phast, en considérant une émission continue d'HF en mélange avec l'air ambiant.

La durée d'exposition retenue est fixée à 3 600 secondes.

3.2.2.3 Distances d'effets

Les distances associées aux seuils d'effets du phénomène dangereux à 1,5 m de hauteur sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau 7 : PhD 2 – Distances d'effets

Effets toxique	Distances d'effets	
	3F	5D
SEI (100 ppm pour une exposition de 3 600 s)	45 m	25 m
SEL 1% (189 ppm pour une exposition de 3 600 s)	35 m	20 m
SEL 5% (283 ppm pour une exposition de 3 600 s)	30 m	15 m

Distances données à partir du centre de l'épandage

3.2.3 Conséquences

Les distances associées aux seuils des effets irréversibles, des premiers effets létaux et des effets létaux significatifs, côté Loire, sortent des limites du site.

3.3 ERC 3 – Perte de confinement de bidons de liquides inflammables sous le préau Est

3.3.1 Présentation de l'événement redouté central et des phénomènes dangereux associés

L'Événement Redouté Central est la perte de confinement de bidons de produits liquides inflammables sous le préau Est du magasin de produits dangereux (U87) suite à la manutention d'une grue ou d'un palan, provoquant un feu de nappe.

3.3.2 Evaluation de l'intensité des effets

3.3.2.1 Hypothèses de modélisation

Compte tenu du nombre important de bidons de produits liquides inflammables stockés sous le préau du magasin de produits dangereux et de leur proximité, il est considéré ici un incendie sur toute la surface du préau Est.

Le mur séparant le préau Est des 3 alvéoles de stockage est coupe-feu 4h.

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

Tableau 8 : ERC 3 - Hypothèses de modélisation

Caractéristiques du produit	
Liquides inflammables stockés sous le préau Est (quantités maximales stockées)	- Alcool éthylique (1 300 kg) ; - Solvant Socomor G11 (4 500 kg) ; - P60-A Hardener (1 600 kg) ; - P70-A Hardener (1 600 kg) ; - P60-A Base Green (5 000 kg) ; - F70-A Base Grey (2 400 kg) ; - Solvant Diestone E (2 300 kg) ; - Décap B50 (1000 kg).
Phase :	Liquide
Quantité maximale de produits liquides inflammables sous le préau Est	20 000 kg
Température :	Ambiante
Caractéristiques de la zone de stockage	
Type de sol :	Béton sur 400 m ²
Dimensions du préau Est :	Longueur : 40 m Largeur : 11 m
Murs coupe-feu :	Mur entre le préau Est et les 3 alvéoles (coupe-feu 4h) Hauteur = 7,5 m
Dimensions de la nappe :	Surface du préau Est : 40 m * 11 m soit 440 m ²

3.3.2.2 Distances d'effets

La modélisation est effectuée en considérant un incendie sur la totalité de la surface du préau du magasin U87 (440 m²). 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 du produit épandu est détaillée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Composition du produit épandu

Composants	Pourcentage massique (%)
Acétate de N-butyle	12,3
Ethanol	15
Ether monométhyle du propylène glycol	9,3
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	4,3
Acétate d'éthyle	1,2
Acétone	1,2
Nitroéthane	17,1
Butane-2-ol	39,6

A partir de cette composition, la vitesse de combustion du produit est de 0,0335 kg/(m².s). Pour une surface en feu de 440 m², la durée de l'incendie est de l'ordre d'une vingtaine de minutes, donc bien inférieure à la durée coupe-feu du mur séparant le préau Est des 3 alvéoles de stockage. Ce dernier conservera donc son intégrité et fera office de masque pour la partie basse des flammes vis-à-vis des alvéoles voisines.

Le tableau suivant présente les résultats de la modélisation de l'incendie du préau Est. Les distances d'effets sont données depuis la longueur (côté alvéoles de stockage avec mur CF et côté Loire) et depuis la largeur du préau. Les distances d'effets indiquées sont les distances enveloppes obtenues pour les 3 vitesses de vent étudiées (0, 3 et 5 m/s).

Tableau 10 : Phd 3 – Distances d'effets

Flux Thermique (kW/m ²)	Distances d'effets		
	Longueur (côté Loire)	Longueur (côté alvéoles avec mur CF)	Largeur
8 kW/m ² - SELS	22 m	11 m	15 m
5 kW/m ² - SEL	29 m	18 m	19 m
3 kW/m ² - SEI	40 m	26 m	23 m
Hauteur de flamme visible (m)	12,4 à 16,9 m	4,9 à 9,4 m	12,4 à 16,9 m

3.3.3 Conséquences

Les distances associées aux seuils des effets irréversibles, des premiers effets létaux et des effets létaux significatifs, côté Loire, sortent des limites du site.

3.3.4 Effets dominos

Les distances associées au seuil des effets dominos (8 kW/m^2) sont les suivantes :

- 22 m depuis le côté nord-est du préau (longueur côté Loire) ;
- 11 m depuis le côté sud-ouest du préau (longueur côté alvéoles) ;
- 15 m depuis les côtés sud-est et nord-ouest du préau (largeurs).

Ainsi, les 3 alvéoles de stockage du magasin de produits dangereux U87 ainsi que la zone de transfert des produits chimiques depuis l'aire de livraison jusqu'aux alvéoles (à l'extérieur du magasin U87) sont partiellement atteintes par des effets dominos générés par l'incendie du préau Est.

3.4 ERC 4 – Perte de confinement de la canalisation de gaz naturel en extérieur

3.4.1 Présentation de l'événement redouté central et des phénomènes dangereux associés

L'Événement Redouté Central est une perte de confinement de la canalisation de gaz naturel à l'extérieur.

Les phénomènes dangereux découlant de cette perte de confinement sont :

- un jet enflammé ;
- une explosion non confinée d'un mélange air-gaz naturel (explosion dite UVCE).

3.4.2 Evaluation de l'intensité des effets

3.4.2.1 Hypothèses de modélisation

En l'absence de barrière de protection permettant de détecter et de limiter la fuite, les calculs sont réalisés en considérant une émission de gaz pendant une durée illimitée.

Afin d'identifier les effets de surpression majorants, le cas de la rupture totale de la canalisation en amont des équipements utilisateurs est considérée : il conduit à l'émission de gaz naturel (à une pression de 1,2 bar en sortie du poste de détente) suite à la perte de confinement de la ligne.

Deux cas seront modélisés :

- cas 1 : une rupture à 1 m du sol en amont de la chaufferie du bâtiment U93 ;
- cas 2 : une rupture à 1 m du sol en amont des étuves de séchage du bâtiment U83.

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

Tableau 11 : ERC 4 - Hypothèses de modélisation

Produit	Gaz naturel (assimilé à du méthane)
Phase	Gaz
Cas 1	
Diamètre et longueur de la de la ligne de gaz depuis le poste de détente jusqu'à la brèche	Diamètre : 90 mm – Longueur : 1,5 m
Pression dans la canalisation en sortie du poste de détente	300 mbar (calcul effectué à une pression de 1,2 bar, dans le cas de défaillance du détendeur AEROLIA)
Température du gaz	20°C
Hauteur de la rupture par rapport au sol	1 m
Direction de la fuite	Horizontale. Un jet impactant est retenu pour déterminer le volume inflammable dans le cas d'un UVCE (cas majorant)

Indice de violence multi-énergie de l'explosion UVCE	4 (gaz naturel à faible pression, explosion en extérieur dans une zone non confinée)
Cas 2	
Diamètre et longueur de la de la ligne de gaz depuis le poste de détente jusqu'à la brèche	Diamètre : 90 mm – Longueur : 7 m
Pression dans la canalisation en sortie du poste de détente	300 mbar (calcul effectué à une pression de 1,2 bar, dans le cas de défaillance du détendeur AEROLIA)
Température du gaz	20°C
Hauteur de la rupture par rapport au sol	1 m
Direction de la fuite	Horizontale. Un jet impactant est retenu pour déterminer le volume inflammable dans le cas d'un UVCE (cas majorant)
Indice de violence multi-énergie de l'explosion UVCE	4 (gaz naturel à faible pression, explosion en extérieur dans une zone non confinée)

Pour chacun des cas 1 et 2, deux phénomènes dangereux sont successivement étudiés :

- PhD 4-1 : jet enflammé;
- PhD 4-2 : explosion UVCE.

3.4.2.2 Détermination du terme source

Cas 1 : rupture à 1 m du sol en amont de la chaufferie du bâtiment U93

Les caractéristiques du rejet dans le cas 1 sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 12 : ERC 4 - Caractéristiques du rejet pour le cas 1

	Rejet de gaz naturel (méthane)
Débit de fuite	1,88 kg/s
Vitesse finale	405 m/s
Durée de fuite	3 600 s

Cas 2 : rupture à 1 m du sol en amont des étuves de séchage du bâtiment U83

Les caractéristiques du rejet dans le cas 2 sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 13 : ERC 4 - Caractéristiques du rejet pour le cas 2

	Rejet de gaz naturel
Débit de fuite	1,78 kg/s
Vitesse finale	381,7 m/s
Durée de fuite	3 600 s

3.4.2.3 PhD 4-1 - Jet enflammé

Cas 1 : rupture à 1 m du sol en amont de la chaufferie du bâtiment U93

Le tableau suivant présente les résultats de la modélisation du jet enflammé en termes de flux thermiques, pour le cas 1 :

Tableau 14 : PhD 4-1 - Distances d'effets pour le cas 1

Flux rayonné	Distances d'effets	
	F3	D5
3 kW/m ² - SEI	27 m	27 m
5 kW/m ² – SEL 1%	25 m	25 m
8 kW/m ² – SEL 5%	22 m	23 m
16 kW/m ²	20 m	21 m
20 kW/m ²	18 m	20 m
Longueur de flamme	17,2 m	18,2 m
Flux thermique	153 kW/m ²	145 kW/m ²

Cas 2 : rupture à 1 m du sol en amont des étuves de séchage du bâtiment U83

Le tableau suivant présente les résultats de la modélisation du jet enflammé en termes de flux thermiques, pour le cas 2 :

Tableau 15 : PhD 4-1 - Distances d'effets pour le cas 2

Flux rayonné	Distances d'effets	
	F3	D5
3 kW/m ² - SEI	27 m	27 m
5 kW/m ² – SEL 1%	24 m	25 m
8 kW/m ² – SEL 5%	22 m	23 m
16 kW/m ²	19 m	21 m
20 kW/m ²	18 m	20 m
Longueur de flamme	17,1 m	18,2 m
Flux thermique	147 kW/m ²	139 kW/m ²

3.4.2.4 PhD 4-2 – Explosion UVCE
Cas 1 : rupture à 1 m du sol en amont de la chaufferie du bâtiment U93

Le tableau suivant présente les résultats de la modélisation de l'explosion UVCE en termes d'effets de surpression et de flux thermiques liés au feu de nuage (flash fire).

Tableau 16 : PhD 4-2 – Distances d'effets pour le cas 1

UVCE	Distances d'effets	
	F3	D5
Degré de confinement	4	4
Distance à la LIE	18	15
Quantité de produits impliquée	2,3 kg	1,1 kg
Surpressions (PhD 4-2-1)		
20 mbar (bris de vitres)	37	30
50 mbar – SEI	23	19
140 mbar – SEL 1%	Non atteint	Non atteint
200 mbar – SEL 5%	Non atteint	Non atteint
300 mbar	Non atteint	Non atteint
Flash Fire (PhD 4-2-2)		
Seuil des effets irréversibles	20	17
Seuil des premiers effets létaux	18	15
Seuil des effets létaux significatifs	18	15

Cas 2 : rupture à 1 m du sol en amont des étuves de séchage du bâtiment U83

Le tableau suivant présente les résultats de la modélisation de l'explosion UVCE en termes d'effets de surpression et de flux thermiques liés au feu de nuage (flash fire).

Tableau 17 : PhD 4-2 – Distances d'effets pour le cas 2

UVCE	Distances d'effets	
	F3	D5
Degré de confinement	4	4
Distance à la LIE	17	14
Quantité de produits impliquée	2,1 kg	1,1 kg
Surpressions (PhD 4-2-1)		
20 mbar (bris de vitres)	36	29
50 mbar – SEI	22	18
140 mbar – SEL 1%	Non atteint	Non atteint
200 mbar – SEL 5%	Non atteint	Non atteint
300 mbar	Non atteint	Non atteint
Flash Fire (PhD 4-2-2)		
Seuil des effets irréversibles	19	16
Seuil des premiers effets létaux	17	14
Seuil des effets létaux significatifs	17	14

3.4.3 Conséquences

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

3.4.4 Effets dominos

Cas 1 : rupture à 1 m du sol en amont de la chaufferie du bâtiment U93

Le seuil des effets dominos du jet enflammé (8 kW/m²) atteint les installations situées dans un rayon de 23 m depuis le point d'émission, à savoir :

- une partie du bâtiment U83 (station de déminéralisation) ;
- le coin est du bâtiment U82 ;
- la station de traitement des effluents (U93.1) ;
- une partie du bâtiment U93 :
 - le local des pompes à fluide thermique ;
 - le magasin de pièces de rechange ;
 - le vestiaire.

Le seuil des effets dominos de l'UVCE (200 mbar) n'est pas atteint à proximité du sol, et le phénomène de flash-fire ne génère pas d'effets dominos.

Cas 2 : rupture à 1 m du sol en amont des étuves de séchage du bâtiment U83

Le seuil des effets dominos du jet enflammé (8 kW/m²) atteint les installations situées dans un rayon de 23 m depuis le point d'émission, à savoir :

- une partie du bâtiment U83 :
 - le local de préparation des peintures ;
 - le local de pompage des peintures ;
 - les cabines de peintures ;
 - les fours SUNKISS n°1 et n°2 ;
 - l'étuve MABOR ;
 - l'étuve SUNKISS n°3 ;
 - le Thermoréacteur n°1 ;
 - la station de déminéralisation ;
- une partie du bâtiment U82 ;

- le coin nord de la station de traitement des effluents issus du traitement de surface (U93.1) ;
- une partie du bâtiment U93 :
 - le local du transformateur HT/BT ;
 - le vestiaire ;
 - le local des pompes à fluide thermique.

Le seuil des effets dominos de l'UVCE (200 mbar) n'est pas atteint à proximité du sol, et le phénomène de flash-fire ne génère pas d'effets dominos.

3.5 ERC 5 – Emission de gaz naturel à l'intérieur de la chaufferie du bâtiment U93

3.5.1 Présentation de l'événement redouté central et des phénomènes dangereux associés

L'Événement Redouté Central est une émission de gaz naturel à l'intérieur de la chaufferie du bâtiment U93, suite à la perte de confinement de la canalisation de gaz naturel à l'intérieur de ce local ou à une fuite de gaz naturel sur la chaudière, qui, combinée à une source d'inflammation concomitante, peut conduire à l'explosion de la chaufferie.

Le phénomène dangereux découlant de cette explosion est une onde de surpression.

3.5.2 Evaluation de l'intensité des effets

3.5.2.1 Hypothèses de modélisation

Une émission de gaz naturel à l'intérieur de la chaufferie sera détectée par la détection de gaz dans le local qui ferme automatiquement les vannes de sectionnement sur la ligne dès l'atteinte du seuil de 40% de la LIE dans la chaufferie.

Les calculs de la modélisation sont réalisés en considérant :

- dans le cas du fonctionnement de cette barrière de protection, une émission de gaz pendant 30 s.
- dans le cas du dysfonctionnement de cette barrière de protection, une émission de gaz pendant une durée illimitée (majorée à 1 heure).

Afin d'identifier les effets de surpression majorants, le cas de défaillance du détendeur AEROLIA est considéré. Il conduit à l'émission de gaz naturel à une pression de 1,2 bar (au lieu de 300 mbar) à l'intérieur de la chaufferie.

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

Tableau 18 : ERC 5 – Hypothèses de modélisation

Produit	Gaz naturel
Phase	Gaz
Caractéristiques de la ligne	
Diamètre interne de la ligne	60 mm à l'intérieur de la chaufferie
Diamètre de la fuite	100% de la section
Longueur de la canalisation retenue pour le calcul	1 m (cas majorant : le débit n'est pas réduit par d'éventuelles pertes de charge dans la canalisation)
Pression du gaz naturel dans la canalisation	300 mbar (calcul effectué à une pression de 1,2 bar, dans le cas de défaillance du détendeur AEROLIA)
Température maximale du gaz naturel dans la canalisation	20°C

Caractéristiques de la chaufferie	
Dimensions de la chaufferie	- Longueur : 2,7 m ; - Largeur : 4,4 m ; - Hauteur : 5.6 m. Soit un volume total de 67 m ³ . La chaudière occupe un volume d'environ 3 m ³ , de sorte que le volume disponible est de 64 m ³ .
Matériaux des murs	Béton alvéolaire
Matériaux du plafond	Béton alvéolaire
Nature des éléments soufflables	Pas d'élément soufflable
Caractéristiques de la fuite	
Barrière de protection	Détection de gaz dans la chaufferie qui ferme automatiquement les vannes de sectionnement sur la ligne de gaz dès l'atteinte du seuil de 40% de la LIE dans la chaufferie.
Durée d'alimentation de la fuite (toute taille de fuite)	- 30 secondes avec le fonctionnement de la barrière. - Illimitée avec le dysfonctionnement de la barrière.

3.5.2.2 Détermination des caractéristiques de la fuite

Les caractéristiques de la fuite de gaz dans la chaufferie sont reprises dans le tableau suivant :

Tableau 19 : ERC 5 - Terme source

	Rejet de gaz naturel (méthane)
Débit de fuite	0,84 kg/s
Vitesse finale	403,9 m/s
Durée de fuite	30 s
Quantité de produit émise (kg)	25,2

La quantité de gaz naturel (assimilé à du méthane) libérée en 30 s est suffisante pour que la concentration moyenne atteigne la LIE (4,4% de méthane) et même la stœchiométrie (9,5 % de méthane, soit 4,1 kg de gaz pour un volume de 64 m³).

Les cas de fonctionnement ou de dysfonctionnement des barrières de protection donnent les mêmes distances d'effets.

3.5.2.3 Distances d'effets

Les murs et le toit de la chaufferie sont en béton alvéolaire dont la résistance à la pression statique est évaluée à moins de 150 mbar.

Lors de l'inflammation du nuage gazeux, la pression va rapidement augmenter dans le local entraînant la rupture des parois. Le calcul de l'onde de suppression associée est fait sur la base de l'énergie de Brode par la méthode multi-énergie avec un indice de violence de 10. La pression maximale atteinte est égale à 2 fois la pression de rupture statique soit 300 mbar.

Une fois la paroi du local rompue, le nuage gazeux qui n'a pas entièrement brûlé est éjecté et continue de se consumer en extérieur, générant une deuxième onde de surpression dont la violence dépend à la fois de la surpression initiale et du degré de confinement/encombrement de la zone dans lequel se développe cette explosion. Compte tenu de la pression maximale atteinte dans le local (300 mbar) un indice de violence de 5,5 est retenu.

L'énergie totale de combustion en considérant un volume gazeux de 64 m³ à la stœchiométrie (9,5% de méthane) correspond à 4,1 kg de gaz soit 204 MJ. L'énergie absorbée par l'explosion primaire est d'environ 6 MJ de telle sorte que l'énergie restante pour l'explosion secondaire est d'environ 198 MJ.

Les résultats présentés dans le tableau suivant montrent que les effets de l'explosion secondaire de la chaufferie du bâtiment U93 sont enveloppés de ceux dus à l'explosion primaire. Ainsi, seules les distances d'effets liées à l'explosion secondaire seront retenues dans l'étude de dangers.

Tableau 20 : PhD 5 – Distances d'effets

Effets de surpression	Distances d'effets	
	Explosion primaire	Explosion secondaire
20 mbar (bris de vitres)	40 m	90 m
50 mbar – SEI	20 m	45 m
140 mbar – SEL 1%	9 m	17 m
200 mbar – SEL 5%	7 m	12 m
300 mbar	/	7 m

3.5.3 Conséquences

Les distances associées aux seuils des premiers effets létaux et des effets létaux significatifs ne sortent pas des limites du site.

En revanche, les distances associées aux seuils des effets irréversibles et des bris de vitre (seuil de surpression de 20 mbar) sortent des limites du site.

3.5.4 Effets dominos

Le seuil des effets dominos (200 mbar) atteint les installations situées dans un rayon de 12 m autour de la chaufferie, à savoir une partie du bâtiment U93 :

- le local des compresseurs ;
- le local du transformateur HT/BT ;
- le local des pompes à fluide thermique.

LIMITATIONS DU RAPPORT

URS a préparé ce rapport pour l'usage exclusif d'STELIA AEROSPACE conformément à la proposition commerciale d'URS n° 856406 référencée n° PAR-PRO-14-06999C 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'URS 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 URS, sauf mention contraire dans le rapport.

DROIT D'AUTEUR

© Ce rapport est la propriété d'URS France. Seul le destinataire du présent rapport est autorisé à le reproduire ou l'utiliser pour ses propres besoins.