

## III. ANALYSE DETAILLEE DES RISQUES

### III.1. PRESENTATION DES METHODOLOGIES DE CALCUL

#### 1. EFFETS THERMIQUES

##### 1.1. Valeurs de référence des flux thermiques

Les valeurs de référence des seuils thermiques retenues pour les installations classées sont définies dans l'arrêté du 29 septembre 2005<sup>1</sup>. Ces valeurs seuils sont les suivantes :

- Pour les effets sur les structures :
  - 5 kW/m<sup>2</sup>, seuil des destructions de vitres significatives;
  - 8 kW/m<sup>2</sup>, seuil des effets dominos et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures;
  - 16 kW/m<sup>2</sup>, seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton;
  - 20 kW/m<sup>2</sup>, seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton;
  - 200 kW/m<sup>2</sup>, seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.
- Pour les effets sur l'homme :
  - 3 kW/m<sup>2</sup> ou 600 [(kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>]. s, seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;
  - 5 kW/m<sup>2</sup> ou 1000 [(kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>]. s, seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine;
  - 8 kW/m<sup>2</sup> ou 1800 [(kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>]. s, seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

##### 1.2. Modèle de calcul des flux thermiques

Equation générale du rayonnement thermique

L'équation générale se présente sous la forme :

$$\Phi = \Phi_0 \cdot f \cdot \tau$$

avec :

- $\Phi$  = flux reçu par une cible en kW/m<sup>2</sup>
- $\Phi_0$  = flux émis à la surface de la flamme en kW/m<sup>2</sup>
- $\tau$  = coefficient d'atténuation dans l'air,  $f$  = facteur de forme

Pour pouvoir calculer la valeur numérique du flux thermique reçu par une cible, il est nécessaire de connaître le facteur de forme, le coefficient d'atténuation dans l'air ainsi que la valeur du flux thermique émis par la source.

<sup>1</sup> Arrêté relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des ICPE

## Paramètres de calculs des flux thermiques

→ Flux émis par la source  $\Phi_0$

Les valeurs des flux  $\Phi_0$  ont été déterminées expérimentalement par certains organismes et sont issues de la littérature.

→ Détermination du coefficient d'atténuation atmosphérique  $\tau$

La relation de Brzustowski-Sommer est utilisée pour calculer ce coefficient. Elle prend en compte différents facteurs comme notamment le taux d'humidité dans l'air.

→ Détermination du facteur de forme  $f$

- Le facteur de forme représente la fraction d'énergie émise par une surface A (incendie) et reçue par une surface B (la cible).

Le facteur de forme dépend des dimensions de la source de chaleur, de sa forme ainsi que de la distance entre la source et la cible. Il prend en compte la vision du feu en fonction de l'endroit où se trouve la cible.

Le facteur de forme est déterminé par la formule de Sparrow et Cess.

- La hauteur de flamme est un élément important du dimensionnement d'un feu et de ses flammes. Le diamètre équivalent est utilisé dans le cas où le feu ne serait pas représenté sous la forme d'un cylindre vertical. Le diamètre équivalent permet de se rapporter à un cas simple (cas cylindrique) :

$$D_{eq} = 4 \cdot \frac{\text{surface du feu}}{\text{périmètre du feu}} \quad (D_{eq} = \text{Diamètre équivalent en mètre})$$

Pour le calcul de la hauteur de flamme, la corrélation de THOMAS est généralement utilisée. Quand cette relation est hors de son domaine de validité, une corrélation plus adaptée est prise parmi celles fournies par la bibliographie<sup>1</sup> (Zukoski, Heskestad). Cette hauteur de flamme dépend du diamètre équivalent calculé précédemment, du produit considéré et de l'endroit où il se consume (les vitesses de combustion sont issues de la littérature).

De plus, il est possible, lorsque la surface occupée par les matières combustibles est inférieure à la surface globale de la cellule, d'introduire un coefficient pondérateur.

- Il est également possible de prendre en compte la présence de murs coupe-feu. En présence d'un mur coupe-feu, les facteurs de forme sont alors recalculés pour les zones occultées par le mur.

## 2. EFFETS DE SURPRESSION

### 21. Généralités

Les valeurs de référence des effets des ondes de choc retenues pour les installations classées sont définies dans l'arrêté du 29 septembre 2005. Plusieurs seuils de surpression sont utilisés afin de déterminer l'impact d'une explosion :

- pour les effets sur les structures :
  - 20 mbar, seuil des destructions significatives de vitres ;
  - 50 mbar, seuil des dégâts légers sur les structures ;

<sup>1</sup> The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3<sup>rd</sup> Edition.

- 140 mbar, seuil des dégâts graves sur les structures ;
  - 200 mbar, seuil des effets domino ;
  - 300 mbar, seuil des dégâts très graves sur les structures.
- pour les effets sur l'homme :
- 20 mbar, seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme ;
  - 50 mbar, seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;
  - 140 mbar, seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
  - 200 mbar, seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

## **2.2. Méthode de calcul d'UVCE**

### **a) Méthodologie**

La modélisation d'un phénomène d'UVCE s'effectue en 3 étapes :

- Détermination du terme source, à savoir la quantité de produit émis à l'atmosphère et les conditions du rejet (diamètre fuite, vitesse, hauteur de rejet, direction du rejet).
- La modélisation de dispersion du nuage, permettant d'estimer l'expansion du nuage explosible. Cette modélisation permet d'obtenir la distance maximale à la limite inférieure d'inflammabilité qui dimensionne les effets thermiques.
- L'estimation des effets de surpressions en tenant compte de l'encombrement local.

Les aspects suivants peuvent être soulignés relativement aux effets d'un UVCE :

- L'expérience montre qu'en pratique, les effets thermiques de l'UVCE ne sont pas dus au rayonnement thermique (très court) du nuage enflammé, mais uniquement au passage du front de flamme. Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours de la flamme est susceptible de subir l'effet léthal, mais celui-ci n'excède pas la limite extrême atteinte par le front de flamme. Ainsi, l'effet thermique de l'UVCE ou sur l'homme est dimensionné par la distance à la LIE.
- De manière générale, l'effet thermique d'un UVCE sur les structures se limite à des dégâts superficiels (déformation des plastiques, décollement des peintures, ...), et, éventuellement, à une fragilisation possible de certaines structures métalliques légères. En revanche, l'UVCE peut être initiateur d'un incendie, ou être suivi d'un feu torche, dont les effets thermiques sont à redouter ;
- Les effets de surpression sont produits par l'effet piston du front de flamme sur les gaz frais. Plus la propagation du front de flamme est rapide et plus son accélération est grande, plus l'amplitude de l'onde de pression est importante. Celle-ci se propage dans l'environnement à la façon d'une onde de choc dont l'amplitude s'atténue lorsque l'on s'éloigne du centre de l'explosion, de manière inversement proportionnelle à la distance.
- En l'absence d'obstacles, on observe expérimentalement que la propagation de la flamme dans un mélange homogène et au repos est très faiblement accélérée, et que les niveaux de pression associés n'excèdent pas quelques millibars. En revanche, la présence d'un écoulement turbulent ou de gradients de concentration suffit à accélérer la flamme et à engendrer des niveaux de pression plus élevés, même en l'absence d'obstacles.

- La présence d'un confinement partiel (mur, auvent,...) peut accentuer la montée en pression en bloquant l'expansion volumique des gaz dans une ou plusieurs directions.

Les effets générés par un UVCE sont fortement dépendants des conditions locales dans lesquelles l'explosion a lieu : conditions du mélange gazeux et conditions de l'environnement.

Paramètres propres au mélange gazeux	Paramètres propres à l'environnement
Réactivité (vitesse fondamentale de combustion, taux d'expansion) Concentration et homogénéité Turbulence propre du jet	Source d'inflammation (position par rapport au nuage, énergie) Encombrement

Les calculs d'UVCE sont réalisés à l'aide du logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) v.6.54 développé par la société DNV Software (cf. description ci-après).

#### b) Logiciel de calcul Phast

Le logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) v.6.54 a été développé par la société DNV Software. Ce logiciel est aujourd'hui le logiciel commercial le plus fréquemment utilisé dans les modélisations des études des dangers. Les résultats de différentes simulations de scénarios accidentels réalisées par l'INERIS (INERIS, Evaluation des versions 6.0 et 6.1 de PHAST, 2002), montrent que les modèles implémentés dans le logiciel PHAST sont adaptés à la modélisation de la dispersion atmosphérique de gaz dans l'environnement.

Le terme source<sup>1</sup> de la dispersion peut être soit calculé par un module spécifique du logiciel à partir des conditions de stockage et de la définition d'un scénario de fuite (à travers un orifice, une conduite ...), soit fourni directement par l'utilisateur au logiciel : user defined source.

Les calculs de dispersion atmosphérique enchaînent plusieurs modèles différents en fonction des caractéristiques thermocinétiques du terme source et de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques du mélange air/produit :

- Tout d'abord le logiciel utilise un modèle intégral de type « jet libre turbulent » (horizontal, vertical ou incliné). Ce modèle permet de décrire la dispersion atmosphérique dans la zone proche du rejet lorsque son énergie cinétique et sa densité sont encore importantes. Le gradient de vitesse entre l'air ambiant et le jet induit une turbulence importante (formation de vortex) localisée principalement en bordure de nuage. Ceci provoque l'entraînement d'air atmosphérique à l'intérieur du jet. Ce phénomène a pour conséquence d'une part un ralentissement du jet par échange de quantité de mouvement, et d'autre part la diminution de la densité du panache. Lorsque la densité du jet tend vers la densité de l'air ambiant et la vitesse du jet vers la vitesse du vent, le gaz peut être considéré comme un gaz passif.
- Le logiciel utilise ensuite soit :
  - un modèle de type « gaz lourd », qui permet de gérer la dispersion gaussienne de type gaz lourd, notamment en prenant en compte l'interaction panache sol,
  - un modèle de panache gaussien de type « gaz passif ».

<sup>1</sup> (débit à la brèche, fraction flashée, fraction rejetée sous forme d'aérosol ou liquide s'écoulant sur le sol et susceptible de se revaporiser...)

Le logiciel utilise automatiquement le modèle adapté aux conditions thermocinétiques du jet. Il gère également les transitions et le passage d'un modèle à un autre en fonction de différents critères. On peut citer par exemple l'écart de vitesse entre le jet et le vent, l'écart de la masse volumique du jet et de l'air ambiant, ...

L'enchaînement de plusieurs types de modèles permet, dans une certaine mesure, de pallier la faiblesse des modèles gaussiens de dispersion en champ proche.

Les calculs permettent d'évaluer et de visualiser les caractéristiques du panache gazeux : forme, dimensions, concentrations en fonction de la distance et du temps écoulé. Ils prennent notamment en compte les conditions météorologiques, vitesse du vent et stabilité de l'atmosphère, et le type de terrain environnant : terrain plat, zone agricole, zone industrielle ou urbaine. En revanche, l'effet du relief et des obstacles n'est pas modélisé.

A partir de ce module préalable de dispersion, d'autre calcul tel que le BLEVE, le « feu torche » ou l'UVCE peuvent être réalisés.

### 2.3. Méthode de calcul TNT

La méthode de l'équivalence TNT est la plus couramment utilisée car elle présente l'avantage d'être simple d'utilisation. En outre, elle est généralement majorante du fait de son caractère empirique, qui prend en compte la courbe de surpressions engendrée par une détonation alors que la grande majorité des explosions sont des déflagrations (moins violentes).

#### a) Principe de calcul

Le modèle de l'équivalent TNT (Trinitrotoluène) cherche à déterminer la pression engendrée par l'explosion d'un nuage de gaz ou de vapeur inflammable par analogie avec les effets de la détonation de cet explosif solide.

Dans ce modèle, on représente une masse de produit inflammable (gaz ou vapeur) par une masse de TNT dont l'explosion produirait les mêmes effets de pression aux mêmes distances.

Le lien entre la masse de produit inflammable et la masse équivalente de TNT a été déterminé par des études statistiques d'essais et d'accidents, suffisamment documentés pour être exploités.

Le « rendement d'explosion » est défini par le rapport entre l'énergie libérée par l'explosion de la masse équivalente de TNT et l'énergie de combustion, potentiellement disponible dans la masse de produit inflammable présente.

La masse équivalente de TNT ( $m_{TNT}$  [kg]) est alors donnée par la relation suivante :

$$m_{TNT} = a \times (\text{masse de « produit inflammable »} \times Q_{comb}) / Q_{TNT}$$

où  $a$  [%] est le rendement de l'explosion,

$Q_{comb}$  [kJ/kg] est la chaleur de combustion d'1 kg du produit inflammable considéré,

$Q_{TNT}$  [kJ/kg] est la chaleur libérée par la détonation de 1 kg de TNT, soit  $Q_{TNT} = 4\,690$  kJ/kg.

L'analyse de 23 accidents d'hydrocarbures par LANNOY<sup>1</sup> a fourni les indications suivantes sur les rendements d'explosion rapportés à la masse totale libérée :

$$a \leq 10 \% \text{ dans } 95 \% \text{ des cas,}$$

<sup>1</sup> A LANNOY : Analyse des explosions d'hydrocarbures en milieu libre – Etudes déterministes et probabilistes du scénario d'accident, prévision des effets de suppression – Bulletin EDF/DER série A 1984.

- a ≤ 4 % dans 60 % des cas,
- a ≤ 3 % dans 50 % des cas.

De plus, elle a conduit aux estimations suivantes :

- En moyenne, 70 % de la masse totale libérée se retrouvait sous forme vapeur dans le nuage,
- En moyenne, 20 % de la masse totale libérée se retrouvait entre les limites d'inflammabilité.

**b) Mode d'emploi de la méthode**

Sur la base des estimations précédentes, on obtient le tableau suivant indiquant les rendements pouvant être utilisés en fonction de la masse totale libérée :

% cumulé des cas étudiés	Rendement de l'explosion, Masse totale libérée	Rendement d'explosion « a » Masse vaporisée	Masse comprise entre les limites d'inflammabilité
95 %	≤ 10 %	≤ 15 %	≤ 50 %
60 %	≤ 4 %	≤ 6 %	≤ 20 %
50 %	≤ 3 %	≤ 4 %	≤ 15 %

Tableau 55 : Rendement des explosions

Le choix du rendement d'explosion « a » permet alors de calculer la masse équivalente de TNT à partir d'un scénario d'accident et du calcul de la quantité totale de produit libérée.

Les masses équivalentes parfois fournies dans la littérature supposent une chaleur de combustion de 46 900 kJ/kg pour tous les hydrocarbures. Il est cependant préférable de calculer la masse équivalente en utilisant la chaleur de combustion propre au produit considéré.

La masse équivalente de TNT calculée comme suit :

$$m_{TNT} = a \times (\text{masse de « produit inflammable »} \times Q_{comb}) / Q_{TNT}$$

Les effets de surpression de l'explosion sont évalués à partir de la masse équivalente de TNT ainsi déterminée. Le champ de surpression de l'explosion est calculé à partir d'un abaque reliant la surpression incidente générée par l'explosion à une distance réduite λ donnée par :

$$\lambda = R / (\sqrt[3]{m_{TNT}})$$

où R[m] est la distance du centre de l'explosion au point où l'on veut évaluer la surpression.

Le centre de l'explosion pourra être positionné, par exemple, au point d'allumage le plus probable, au centre du nuage inflammable ou à la source du rejet.

## **III.2. RISQUES ASSOCIES AUX LOCAUX CHAUDIERES**

Les évènements d'incendie et d'explosion associés aux locaux chaudières résultent d'une fuite de combustible gazeux (gaz naturel ou biogaz) au niveau des canalisations aériennes desservant les installations de combustion ainsi qu'à l'intérieur de ces mêmes locaux.

Les représentations graphiques des zones d'effets des flux thermiques et des effets de surpression des différents scénarios d'incendie et d'explosion étudiés sont présentes en annexe.

Annexe 14 : Représentations graphiques des flux thermiques et des effets de surpression au niveau des locaux chaudières

# 1. FEU TORCHE SUITE A UNE FUITE DE GAZ AU NIVEAU DES CANALISATIONS ALIMENTANT LES LOCAUX CHAUDIERES (INC 1 ET INC 2)

## 1.1. Détermination de la gravité

### a) Intensité du phénomène

De manière dimensionnante au niveau de chaque local chaudière, il est retenu la rupture guillotine de la canalisation aérienne de gaz naturel à l'extérieur du local, préférentiellement à la canalisation de biogaz résultat de la teneur respective en méthane dans chacun des deux combustibles gazeux, et la présence d'une source d'ignition immédiate.

En effet, le méthane, dont la Limite Inférieur d'Explosivité (LIE) dans l'air est de 5%, compose à environ 98% le gaz naturel alors que le biogaz généré au niveau des digesteurs de la station d'épuration du Légué n'est présent qu'à 58,2% en moyenne.

Les hypothèses de calcul sont donc les suivantes :

- produit : gaz naturel à 100% de méthane de manière majorante,
- température du produit : 25°C,
- diamètre de rejet (de la fuite) : 80 mm (diamètre intérieur de la canalisation)
- pression : 300 mbars,
- débit de rejet (calculé à partir des conditions de service par le logiciel PHAST) : 0,53 kg/s,
- rejet vertical à 1 m de hauteur (la canalisation aérienne de gaz naturel alimentant chaque local chaudière est verticale à l'extérieur de chaque local).

Les caractéristiques suite au déconfinement, calculées par le logiciel PHAST, sont les suivantes :

Canalisation gaz naturel	Gaz naturel
Température finale	27,5°C
Vitesse finale	163 m/s
Fraction gaz	100 %

Les distances de perception des différents effets thermiques sont indiquées dans le tableau ci-dessous pour les différentes conditions météorologiques suivantes (configurations climatiques préconisées par la fiche n°2 de la circulaire du 10 mai 2010) :

- vent de 3 m/s, classe de Pasquill F et température de l'air à 15°C,
- vent de 5 m/s, classe de Pasquill D et température de l'air à 15°C,
- vent de 10 m/s, classe de Pasquill D et température de l'air à 15°C.

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel PHAST v6.54. Les résultats sont donnés pour une hauteur de la cible de 2 m.

Conditions atmosphériques	Longueur de flamme	3 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	16 kW/m <sup>2</sup>	20 kW/m <sup>2</sup>
3 F	9 m	12,5 m	8,5 m	4,0 m	Non atteint (na)	(na)
5 D	8 m	13,5 m	10,5 m	8,0 m	(na)	(na)
10 D	7 m	15,5 m	13,0 m	11,0 m	8,0 m	7,0 m

Tableau 56 : Distances de perception des effets thermiques d'un feu torche survenant au niveau des locaux chaudières – événements INC 1 et INC 2

### b) Exposition humaine et gravité de l'évènement

Au regard des distances atteintes par les flux thermiques et de l'éloignement de la canalisation de gaz naturel alimentant le local chaudière vapeur vis-à-vis de la limite de propriété la plus proche, à savoir 27 m de la limite Sud-Est, la totalité des effets thermiques demeurerait dans l'enceinte de la station d'épuration.

Aucune personne en dehors de la station d'épuration n'étant atteinte, la gravité de l'incendie (feu torche) d'une canalisation d'alimentation en gaz du local chaudière vapeur (INC 1) peut être qualifiée de « modérée » selon la grille définie dans l'arrêté du 29/09/2005.

Dans le cas des chaudières eau chaude, la totalité des flux thermiques sortirait de l'enceinte de la station d'épuration compte tenu du positionnement de la canalisation d'alimentation en gaz naturel du local chaudières eau chaude au droit de la façade Nord de celui-ci, soit à une distance de 3 m (largeur du local chaudières eau chaude) vis-à-vis de la limite Sud-Est de la propriété.

La gravité résultant de l'exposition des terrains longeant la limite Sud-Est de la station aux effets irréversibles (3 kW/m<sup>2</sup>), létaux (5 kW/m<sup>2</sup>) et létaux significatifs (8 kW/m<sup>2</sup>) est alors la suivante :

➤ Flux de 3 kW/m<sup>2</sup> : le chemin de grande randonnée de pays GRp 34 sur un linéaire d'environ 30 m et la forêt au-delà du chemin de randonnée sur une surface d'environ 100 m<sup>2</sup>,

Aussi, en considérant la fiche technique n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 permettant d'évaluer la gravité des accidents, le nombre de personnes exposées au flux de 3 kW/m<sup>2</sup> est :

- chemin de randonnée :  $(2 \text{ personnes} / 1000 \text{ m} / 100 \text{ promeneurs/jour}) \times 30 \text{ m} \times 560 = 0,336 \text{ personne exposée en considérant un passage maximal de 560 randonneurs par jour}^1$ ,
- forêt :  $(1 \text{ personne} / 1\,000\,000 \text{ m}^2) \times 100 \text{ m}^2 = 0,0001 \text{ personne}$ .

soit, un maximum de 0,3361 personne exposée au flux de 3 kW/m<sup>2</sup>.

Sur la base de ces observations, moins d'une personne est susceptible d'être exposée au seuil des effets irréversibles (3 kW/m<sup>2</sup>) dégagés par le feu torche de la canalisation alimentant le local chaudières eau chaude. La gravité peut donc être qualifiée de « modérée » selon la grille définie dans l'arrêté du 29/09/2005.

<sup>1</sup> Les comptages de randonneurs sur le GR 34 qui longe la limite de propriété Est de la station d'épuration effectué par la ville de Saint-Brieuc ont révélé un passage maximal journalier de 186 randonneurs en mars 2011.

De manière majorante, il est triplé ce chiffre, soit environ 560 passages/jour, pour évaluer la fréquentation estivale, période de l'année où le nombre de promeneurs est nettement plus important.



➤ Flux de 5 kW/m<sup>2</sup> : le chemin de grande randonnée de pays GRp 34 sur un linéaire d'environ 26 m et la forêt au-delà du chemin de randonnée sur une surface d'environ 50 m<sup>2</sup>,

Aussi, en considérant cette même fiche technique n°1 de la circulaire du 10 mai 2010, le nombre de personnes exposées au flux de 5 kW/m<sup>2</sup> est :

- chemin de randonnée :  $(2 \text{ personnes } / 1000 \text{ m} / 100 \text{ promeneurs/jour}) \times 26 \text{ m} \times 560 = 0,29 \text{ personne exposée en considérant un passage maximal de 560 randonneurs par jour,}$
- forêt :  $(1 \text{ personne } / 1\,000\,000 \text{ m}^2) \times 50 \text{ m}^2 = 0,00005 \text{ personne.}$

soit, un maximum de 0,29005 personne exposée au flux de 5 kW/m<sup>2</sup>.

Sur la base de ces observations, une personne au plus est susceptible d'être exposée au seuil des effets létaux (5 kW/m<sup>2</sup>) dégagés par le feu torche de la canalisation alimentant le local chaudières eau chaude. La gravité peut donc être qualifiée de « sérieuse » selon la grille définie dans l'arrêté du 29/09/2005.

➤ Flux de 8 kW/m<sup>2</sup> : le chemin de grande randonnée de pays GRp 34 sur un linéaire d'environ 19 m et la forêt au-delà du chemin de randonnée sur une surface d'environ 35 m<sup>2</sup>,

Aussi, en considérant cette même fiche technique n°1 de la circulaire du 10 mai 2010, le nombre de personnes exposées au flux de 8 kW/m<sup>2</sup> est :

- chemin de randonnée :  $(2 \text{ personnes } / 1000 \text{ m} / 100 \text{ promeneurs/jour}) \times 19 \text{ m} \times 560 = 0,21 \text{ personne exposée en considérant un passage maximal de 560 randonneurs par jour,}$
- forêt :  $(1 \text{ personne } / 1\,000\,000 \text{ m}^2) \times 35 \text{ m}^2 = 0,000035 \text{ personne.}$

soit, un maximum de 0,210035 personne exposée au flux de 8 kW/m<sup>2</sup>.

Sur la base de ces observations, une personne au plus est susceptible d'être exposée au seuil des effets létaux significatifs (8 kW/m<sup>2</sup>) dégagés par le feu torche de la canalisation alimentant le local chaudières eau chaude. La gravité peut donc être qualifiée d'« importante » selon la grille définie dans l'arrêté du 29/09/2005.

En définitive, sur la base des hypothèses détaillées ci-dessus, la gravité du feu torche lié à la canalisation d'alimentation en gaz naturel du local chaudières eau chaude (INC 2) peut donc être qualifiée d'« importante » selon la grille définie dans l'arrêté du 29/09/2005.

Par ailleurs, les flux 8 kW/m<sup>2</sup> à l'origine des effets domino dégagés par l'incendie des canalisations de gaz desservant chaque local chaudières atteindraient pour la configuration météorologique la plus pénalisante (11 m pour la configuration 10D) :

- dans le cas du local chaudières eau chaude, l'extrémité Est du local sécheur thermique ainsi que les bennes de stockage des boues humides entreposées au Nord-Est du local chaudières, près de l'épaississeur de boues de la station d'épuration,
- dans le cas du local chaudière vapeur, le local sécheur thermique au Sud, le silo de stockage des boues séchées au Sud-Est, un des digesteurs primaires de la station d'épuration à l'Est et le local centrifugeuses, épaissement et déshydratation du bâtiment technique au Nord.

En ce qui concerne le local chaudières eau chaude, la teneur en eau des boues de station d'épuration manipulées au niveau des installations du local sécheur thermique et stockées au niveau des bennes dédiées permet en tout état de cause d'écartier toute propagation du sinistre à ces équipements.

Pour le local chaudière vapeur, ce constat est identique vis-à-vis du local sécheur thermique (teneur en eau des boues). La faible quantité de matière combustible au niveau du local centrifugeuses, épaissement et déshydratation du bâtiment technique permet également d'écarter une propagation de l'incendie. Enfin, la paroi béton du digesteur primaire des boues de la station d'épuration constitue un écran thermique à la chaleur dégagée par le sinistre.

A l'inverse, il est envisagé une propagation du sinistre au silo de stockage des boues séchées du local sécheur thermique.

Les valeurs des flux thermiques dégagés par le feu torche de la canalisation alimentant le local chaudière vapeur présentées ci-dessus sont données pour une hauteur de cible de 2 m. Toutefois, l'étude de ces mêmes flux montre qu'à une hauteur de 4 m, les flux thermiques à l'origine des effets domino atteignent bien le silo de stockage des boues du local sécheur thermique qui se trouve à une hauteur de 4 m (base du silo surélevée par rapport au sol de la station d'épuration). Ce silo, à fond plat et constitué de parois métalliques, présente un diamètre de 3,5 m et une hauteur de 3,6 m.

De manière exhaustive, il est considéré que le silo est rempli en intégralité de boues séchées dont les caractéristiques thermodynamiques sont assimilées de manière majorante à du bois :

- taux de combustion : 0,013 kg/m<sup>2</sup>/s,
- flux thermique initial : 23,8 kW/m<sup>2</sup>.

Les résultats de l'incendie du silo de stockage sont donnés dans le tableau suivant pour un taux d'humidité de 70% et des hauteurs de cible de 2 m et 4 m (base du silo).

➤ Hauteur de cible : 2 m

Flux thermique	3 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	16 kW/m <sup>2</sup>	20 kW/m <sup>2</sup>
Côtés de 3,5 m	0,0 m	0,0 m	0,0 m	0,0 m	0,0 m

Hauteur de flamme calculée : 11 m (3 fois la hauteur de stockage) à partir de la base du silo, soit 4 m au dessus du niveau du sol de la station d'épuration

➤ Hauteur de cible : 4 m (base du silo)

Flux thermique	3 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>	16 kW/m <sup>2</sup>	20 kW/m <sup>2</sup>
Côtés de 3,5 m	7,5 m	5,0 m	3,5 m	0,0 m	0,0 m

Hauteur de flamme calculée : 11 m (3 fois la hauteur de stockage) à partir de la base du silo, soit 4 m au dessus du niveau du sol de la station d'épuration

Il ressort des calculs d'incendie du silo de stockage des boues séchées du local sécheur thermique que la totalité des flux thermiques générés par le sinistre demeurerait dans l'enceinte de la station d'épuration, et ceci pour des hauteurs de cible disposées à hauteur humaine au niveau du sol de la station d'épuration (2 m) ou à la base du silo (4 m).

Aucune personne en dehors de la station d'épuration n'étant atteinte, la gravité de l'incendie du silo de stockage des boues séchées du local sécheur thermique généré par propagation du feu torche de la canalisation d'alimentation en gaz du local chaudière vapeur peut être qualifiée de « modérée » selon la grille définie dans l'arrêté du 29/09/2005.

## 1.2. Détermination de la probabilité

La probabilité d'apparition d'un incendie de type feu torche est déterminée en fonction du nombre et de la fiabilité des barrières de sécurité mises en œuvre pour prévenir le risque.

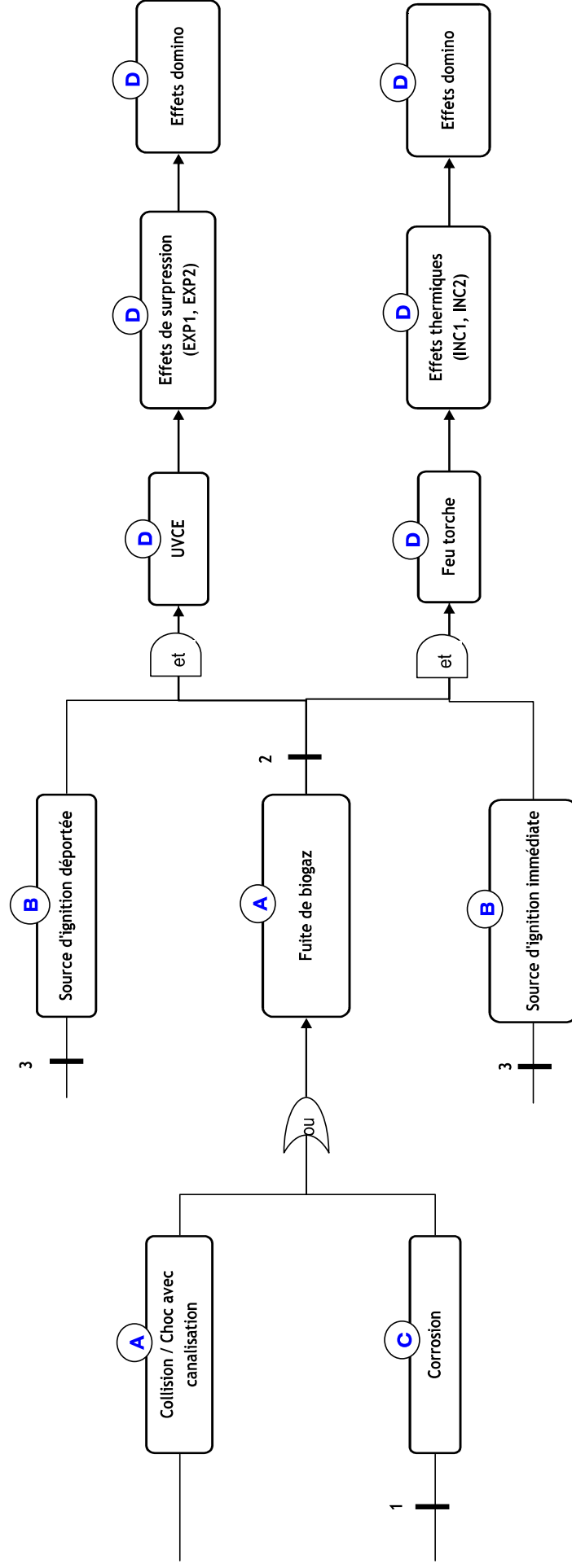
Il est rappelé que la probabilité de chaque évènement initiateur est en règle générale considérée par défaut comme étant la plus élevée (probabilité de classe A) et que les barrières de sécurité permettent ensuite d'abaisser cette probabilité d'apparition d'un évènement redouté, en tenant compte de son niveau de confiance.

Le logigramme correspondant, permettant de déterminer la probabilité du phénomène, est le logigramme n°1 – « Canalisations réseaux biogaz et gaz naturel des chaudières ». Il figure sur la page suivante.

**LOGIGRAMME N°1 : CANALISATIONS RESEAUX  
BIOGAZ ET GAZ NATUREL DES CHAUDIERES  
(INC1, INC2, EXP1, EXP2)**

**Barrières associées :**

- 1- Maintenance préventive (test de résistance régulier) (NC 2)
- 2- Capteurs de pression avec report d'alarmes + coupure manuelle alimentation (NC1)
- 3- Interdiction de fumer (NC 1) / Protection foudre (NC 2) / Permis de Feu (NC2) / Maintenance préventive des installations électriques (NC2)



Les barrières de sécurité en place correspondantes au scénario de feu torche sont synthétisées dans le tableau suivant.

Description de la barrière	Fonction de sécurité assurée	Type de mesure de sécurité	Type de barrière	Niveau de confiance	Temps de réponse
Interdiction de flamme nue	Eviter une source d'ignition	Mesure de pré-dérive	Barrière humaine d'interdiction	NC1	-
Protection foudre	Eviter une source d'ignition	Mesure de pré-dérive	Dispositif simple de sécurité	NC2	Immédiat dès sollicitation
Permis de feu	Eviter une source d'ignition	Mesure de pré-dérive	Barrière humaine	NC2	-
Contrôle des installations électriques	Eviter une source d'ignition	Mesure de pré-dérive	Barrière humaine	NC2	-
Maintenance préventive réseau biogaz/gaz naturel (test régulier de résistance à la pression)	Eviter une fuite de biogaz/gaz naturel	Mesure de pré-dérive	Barrière humaine	NC2	-
Capteurs de pression avec report d'alarme + Coupure manuelle d'alimentation en biogaz/gaz naturel	Détecter et limiter une fuite de biogaz/gaz naturel	Mesure de pré-dérive	Dispositif simple de sécurité + barrière humaine	NC1	Quelques minutes

Tableau 57 : Barrières de sécurité – Canalisations réseaux biogaz et gaz naturel des chaudières

⇒ La probabilité d'apparition d'effets thermiques consécutifs à un feu torche résultant d'une fuite de biogaz ou de gaz naturel au niveau des canalisations alimentant les locaux chaudières est donc de classe D.

La probabilité de propagation de ce sinistre (effets domino) à des installations et équipements voisins est également de classe D.

### 1.3. Détermination de la criticité

La détermination de la gravité et de la probabilité du risque d'incendie étudié précédemment permet d'affecter pour cet évènement un couple « Gravité – Probabilité » et d'en déterminer la criticité.

Par ailleurs, afin de positionner dans la grille de criticité suivante l'incendie du silo de stockage des boues séchées par effet domino du feu torche de la canalisation du local chaudière vapeur étudié ci-dessus, il est lui affecté la référence TH1.

Gravité sur les personnes exposées au risque	Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important		INC 2			
Sérieux					
Modéré		INC 1, TH 1			

Tableau 58 : Criticité du feu torche des canalisations de biogaz et de gaz naturel alimentant les locaux chaudières **et de l'incendie du silo de stockage des boues séchées** – évènements INC 1, INC 2 et TH1

- Evènement pouvant occasionner un accident majeur nécessitant de modifier certaines dispositions d'exploitation
- Evènement nécessitant des mesures de maîtrise des risques (MMR) complémentaires spécifiques.
- Evènement jugé acceptable ayant une faible probabilité et une gravité modérée au regard des dispositions déjà prises.

L'analyse des évènements INC 1 et INC 2 – Incendie (feu torche) des canalisations d'alimentation en biogaz et gaz naturel des locaux chaudières et TH1 – Incendie du silo de stockage des boues séchées par effet domino du feu torche de la canalisation du local chaudière vapeur tend à démontrer que les évènements INC 1 et TH 1 peuvent être qualifiés « d'acceptables » et que l'évènement INC 2 nécessite des mesures de maîtrise des risques (MMR) complémentaires au regard des critères de criticité pris en application de 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 de dangers des installations classées soumises à autorisation.

## 2. EXPLOSION DE TYPE UVCE SUITE A UNE FUITE DE GAZ AU NIVEAU DES CANALISATIONS ALIMENTANT LES LOCAUX CHAUDIERES (EXP1 ET EXP2)

### 2.1. Détermination de la gravité

#### a) Intensité du phénomène

De même que pour la modélisation du « feu torche », de manière dimensionnante, le cas retenu est une rupture guillotine des canalisations de gaz naturel alimentant les locaux chaudières et une source d'ignition déportée. Il s'agit en effet de la fuite qui sera la plus conséquente résultat de la teneur en méthane dans le gaz naturel comparativement au biogaz généré par la digestion des boues.

En ce qui concerne les débits de matières dangereuses considérés lors d'une explosion de type UVCE dans le cas d'une rupture guillotine d'une canalisation de gaz, il est fait référence à l'alinéa F de la fiche technique n°3 de la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

Il ressort ainsi que dans le cas d'une fuite à débit alimenté (débit amont), la contribution aval, correspondant uniquement à la dépressurisation d'un tronçon de canalisation, prend la forme d'un relâchement de produit de très courte durée, assimilable à une bouffée. Dans ce cas, le calcul de

dispersion montre que cette bouffée initiale n'a pas d'incidence sur la masse inflammable formée. Elle peut ainsi être négligée.

Le calcul d'explosion de type UVCE détaillé ci-après étant réalisé sur une canalisation à débit alimenté, le débit de gaz considéré s'apparente alors exclusivement au débit amont.

Les hypothèses de calcul sont donc les suivantes :

- produit : gaz naturel à 100% de méthane de manière majorante,
- température du produit : 25°C,
- diamètre de rejet (de la fuite) : 80 mm (diamètre intérieur de la canalisation)
- pression : 300 mbars,
- débit de rejet (calculé à partir des conditions de service par le logiciel PHAST) : 0,53 kg/s,
- rejet vertical à 1 m de hauteur (la canalisation aérienne de gaz naturel alimentant chaque local chaudière est verticale à l'extérieur de chaque local).

Les caractéristiques suite au déconfinement, calculées par le logiciel PHAST, sont les suivantes :

Canalisation gaz naturel	Gaz naturel
Température finale	27,5°C
Vitesse finale	163 m/s
Fraction gaz	100 %

Pour les effets thermiques, la distance à la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE) (5% volumique pour le méthane) a été considérée comme la distance des effets létaux et celles des effets létaux significatifs.

Forfaitairement, la distance des effets irréversibles est prise égale à 1,1 fois la distance à la LIE (source Rapport GTDLI de mai 2007 « UVCE dans un dépôt de liquides inflammables »).

Le tableau suivant reprend ces distances pour les 3 conditions météorologiques retenues (3F, 5D et 10D).

Conditions atmosphériques	Distance des effets létaux et létaux significatifs	Distance des effets irréversibles
(F ; 3)	0,8 m	0,9 m
(D ;5)	0,9 m	1 m
(D ; 10)	0,9 m	1 m

Compte tenu du contexte local avec un certain nombre de bâtiments et d'infrastructures et la colline longeant la limite de propriété Sud-Est constituant des obstacles à la propagation d'un front de flamme, l'explosion de type UVCE est considérée en milieu encombré avec une seule zone d'encombrement comprenant l'ensemble des infrastructures au sein du nuage inflammable.

Un indice de sévérité de niveau 5 correspondant à encombrement moyen est donc retenu.