

**SOLEV**  
**PROJET DE CHAUFFERIE BIOMASSE**  
MODÉLISATIONS DE PHÉNOMÈNES DANGEREUX

SAINT-GENIS-LAVAL [RHÔNE/69]

*Rapport d'étude n°2a*

N/réf. : 253 103 047a

<b>Destinataires</b>	Madame Marine RONDARD	<a href="mailto:marine.rondard@groupe-coriance.fr">marine.rondard@groupe-coriance.fr</a>
	Madame Amandine REYMONDIER	<a href="mailto:Amandine.REYMONDIER@groupe-coriance.fr">Amandine.REYMONDIER@groupe-coriance.fr</a>
	Monsieur Stéphane ROUJOL	<a href="mailto:roujol@menthe3e.fr">roujol@menthe3e.fr</a>
	Monsieur Damien ECORCE	<a href="mailto:damien.ecorce@icpe-conseil.fr">damien.ecorce@icpe-conseil.fr</a>
<b>Date</b>	12 juin 2025	

## SUIVI DES MODIFICATIONS

Date	Objet des modifications	Rédacteur	Relecteur	Superviseur
28/05/2025	Création	ML/VJ	RG	RG
09/06/2025	Intégration remarques	ML/VJ	ML	RG
12/06/2025	Intégration remarques	ML/VJ	ML	RG

## SOMMAIRE

<b>1. Préambule.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Présentation du projet.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Cadre réglementaire.....</b>	<b>7</b>
3.1. Documents de référence .....	7
3.2. Porter à connaissance « risques technologiques » .....	7
3.3. Seuils réglementaires.....	8
3.4. Conditions météorologiques.....	9
<b>4. Phénomènes dangereux .....</b>	<b>10</b>
4.1. Feu torche.....	10
4.2. Flash fire .....	10
4.3. UVCE/VCE .....	10
4.4. BLEVE.....	11
4.5. Éclatement de capacités .....	12
<b>5. Outils et méthodologies .....</b>	<b>13</b>
5.1. Gaz naturel .....	13
5.2. Débit de fuite.....	13
5.3. Energie d'explosion.....	13
5.4. Effets de surpression .....	14
5.5. Effets thermiques .....	14
5.6. Logiciel PHAST® v9.1.....	15
5.7. Conditions météorologiques.....	15
5.8. Surfaces soufflables .....	15
5.9. Évaluation de la gravité .....	16
<b>6. Modélisations des phénomènes dangereux .....</b>	<b>20</b>
6.1. Phénomène dangereux modélisés.....	20
6.2. PhD n°1 : Explosion de la chambre de combustion de la chaudière biomasse .....	21
6.3. PhD n°2 : BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière biomasse .....	24
6.4. PhD n°3 : Éclatement de la calandre de la chaudière biomasse.....	27
6.5. PhD n°4 : Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie .....	30
6.6. PhD n°5 : Flash fire – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie .....	32
6.7. PhD n°6 : Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie .....	34
6.8. PhD n°7 : Explosion secondaire (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie .....	37
6.9. PhD n°8 : Explosion de la chambre de combustion de la chaudière gaz .....	40
6.10. PhD n°9 : BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière gaz .....	42
6.11. PhD n°10 : Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie .....	44
6.12. PhD n°11 : Flash fire – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie .....	46
6.13. PhD n°12 : Explosion (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie .....	48
<b>7. Matrice de maîtrise des risques .....</b>	<b>50</b>
<b>8. Récapitulatif des résultats .....</b>	<b>51</b>
<b>9. Conclusion.....</b>	<b>52</b>
<b>10. Annexes .....</b>	<b>54</b>
10.1. Cartographie des effets pour les différents scénarios .....	54
10.2. Propositions de mesures de sécurité .....	64

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Seuils réglementaires pour les effets thermiques sur les personnes.....	8
Tableau 2 : Seuils réglementaires pour les effets thermiques sur les structures .....	9
Tableau 3 : Seuils réglementaires pour les effets de surpression sur la vie humaine et sur les structures .....	9
Tableau 4 : Conditions météorologiques utilisées pour les modélisations d'un rejet horizontal .....	10
Tableau 5 : Caractéristiques physico-chimiques du gaz naturel.....	13
Tableau 6 : Échelle d'appréciation de la gravité des conséquences humaines d'un accident à l'extérieur des installations (Arrêté du 29/09/05) .....	16
Tableau 7 : Méthodologie de comptage du nombre de personnes exposées à des phénomènes dangereux (circulaire 10 mai 2010).....	16
Tableau 8 : Échelle de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux et accidents .....	17
Tableau 9 : Matrice de maîtrise des risques (circulaire du 10 mai 2010) .....	18
Tableau 10 : Barrières actives de sécurité propres aux chaudières prévues sur le projet.....	19
Tableau 11 : Distances maximales d'effets – Explosion chambre de combustion – chaudière biomasse .....	21
Tableau 12 : Distances de sortie des limites de propriété – Explosion chambre de combustion – chaudière biomasse .....	22
Tableau 13 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°1 .....	22
Tableau 14 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°1 .....	23
Tableau 15 : Distances maximales d'effets – BLEVE capacité d'eau – chaudière biomasse .....	24
Tableau 16 : Distances de sortie des limites de propriété – BLEVE capacité d'eau – chaudière biomasse .....	25
Tableau 17 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°2 .....	25
Tableau 18 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°2 .....	26
Tableau 19 : Distances maximales d'effets – Éclatement calandre – chaudière biomasse .....	27
Tableau 20 : Distances de sortie des limites de propriété – Éclatement calandre – chaudière biomasse.....	28
Tableau 21 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°3 .....	28
Tableau 22 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°3 .....	29
Tableau 23 : Distances maximales d'effets thermiques – Feu torche – Fuite de gaz sur une canalisation intérieure .....	30
Tableau 24 : Distances de sortie des limites de propriété – Feu torche – Fuite de gaz sur une canalisation intérieure .....	31
Tableau 25 : Distances maximales d'effets – Flash fire – Fuite de gaz sur une canalisation intérieure.....	32
Tableau 26 : Distances de sortie des limites de propriété – Flash fire – Fuite de gaz sur une canalisation intérieure .....	33
Tableau 27 : Distances maximales d'effets – Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie – Enceinte non éventée .....	35
Tableau 28 : Distances maximales d'effets – Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie – Enceinte éventée .....	35
Tableau 29 : Distances de sortie des limites de propriété – Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie – Enceinte éventée .....	35
Tableau 30 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°6 .....	36
Tableau 31 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°6 .....	36
Tableau 32 : Distances maximales d'effets – Explosion secondaire (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie...	37
Tableau 33 : Distances de sortie des limites de propriété – Explosion secondaire (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie .....	38
Tableau 34 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°7 .....	38
Tableau 35 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°7 .....	39
Tableau 36 : Distances maximales d'effet – Explosion chambre de combustion – chaudière gaz.....	40
Tableau 37 : Distances de sortie des limites de propriété – Explosion chambre de combustion – chaudière gaz .....	40
Tableau 38 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°8 .....	41
Tableau 39 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°8 .....	41
Tableau 40 : Distances maximales d'effet – BLEVE capacité d'eau – chaudière gaz.....	42
Tableau 41 : Distances de sortie des limites de propriété – BLEVE capacité d'eau – chaudière gaz .....	42
Tableau 42 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°9 .....	43
Tableau 43 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°9 .....	43
Tableau 44 : Distances maximales d'effets thermiques – Feu torche – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure .....	44
Tableau 45 : Distances de sortie des limites de propriété – Feu torche – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure.....	45
Tableau 46 : Distances maximales d'effets thermiques – Flash fire – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure .....	46
Tableau 47 : Distances de sortie des limites de propriété – Flash fire – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure .....	47
Tableau 48 : Distances maximales d'effets – Explosion – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure .....	48
Tableau 49 : Distances de sortie des limites de propriété – Explosion – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure.....	49
Tableau 50 : Matrice de maîtrise des risques (circulaire du 10 mai 2010) – classement des phénomènes dangereux étudiés.....	50
Tableau 51 : Bilan des résultats de l'étude .....	51
Tableau 52 : Mesures de sécurité contre l'occurrence de phénomènes dangereux associés aux installations et équipements sur site.....	64

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan masse du projet (source : CORIANCE – Mai 2025).....	6
Figure 2 : Abaques de la méthode Multi-Energie développée par le TNO (1984) .....	14
Figure 4 : Cartographie des effets - PhD n°1 - Explosion de la chambre de combustion de la chaudière biomasse déterminée avec la Limite Supérieure d'Explosivité (LSE) .....	54
Figure 3 : Cartographie des effets – PhD n°1 – Explosion de la chambre de combustion de la chaudière biomasse, déterminée avec la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE) .....	54
Figure 5: Cartographie des effets - PhD n°2 - BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière biomasse.....	55
Figure 6 : Cartographie des effets - PhD n°3 – Éclatement de la calandre de la chaudière biomasse .....	56
Figure 7 : Cartographie des effets - PhD n°4 - Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie – brèche de 30 mm (à gauche), brèche de 100 mm (à droite) – météo F3 .....	57
Figure 8 : Cartographie des effets - PhD n°5 – Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie – brèche de 30 mm (à gauche), brèche de 100 mm (à droite) – météo F3 .....	57
Figure 9 : Cartographie des effets - PhD n°6 – Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie déterminée avec la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE) – enceinte correctement éventée .....	58
Figure 10 : Cartographie des effets - PhD n°6 – Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie déterminée avec la Limite Supérieure d'Explosivité (LSE) – enceinte correctement éventée .....	59
Figure 11 : Cartographie des effets – PhD n°7 – Explosion secondaire (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie déterminée avec la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE) .....	60
Figure 13 : Cartographie des effets – PhD n°8 – Explosion de la chambre de combustion de la chaudière gaz .....	61
Figure 14 : Cartographie des effets – PhD n°9 – BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière gaz .....	62
Figure 15 : Cartographie des effets – PhD n°10 – Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie – brèche de 30 mm (à gauche), brèche de 100 mm (à droite) – météo F3 .....	63
Figure 16 : Cartographie des effets – PhD n°12 – Explosion (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie – brèche 25 mm (à gauche), brèche de 100 mm (à droite), – météo F3 .....	63

## 1. Préambule

Ce document est relatif aux modélisations des phénomènes dangereux susceptibles de se produire au sein du futur site de la chaufferie biomasse Solev, qui se situera sur la commune Saint-Genis-Laval dans le département du Rhône [69].

Cette prestation s'inscrit dans le cadre du montage d'un Dossier de demande d'Autorisation, en accord avec la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

## 2. Présentation du projet

Le projet prévoit l'installation de deux chaudières biomasse et d'une chaudière de secours au gaz naturel. Les chaudières biomasse seront de type tubes de fumées fonctionnant avec de l'eau surchauffée, et la chaudière gaz sera de type tubes de fumées.

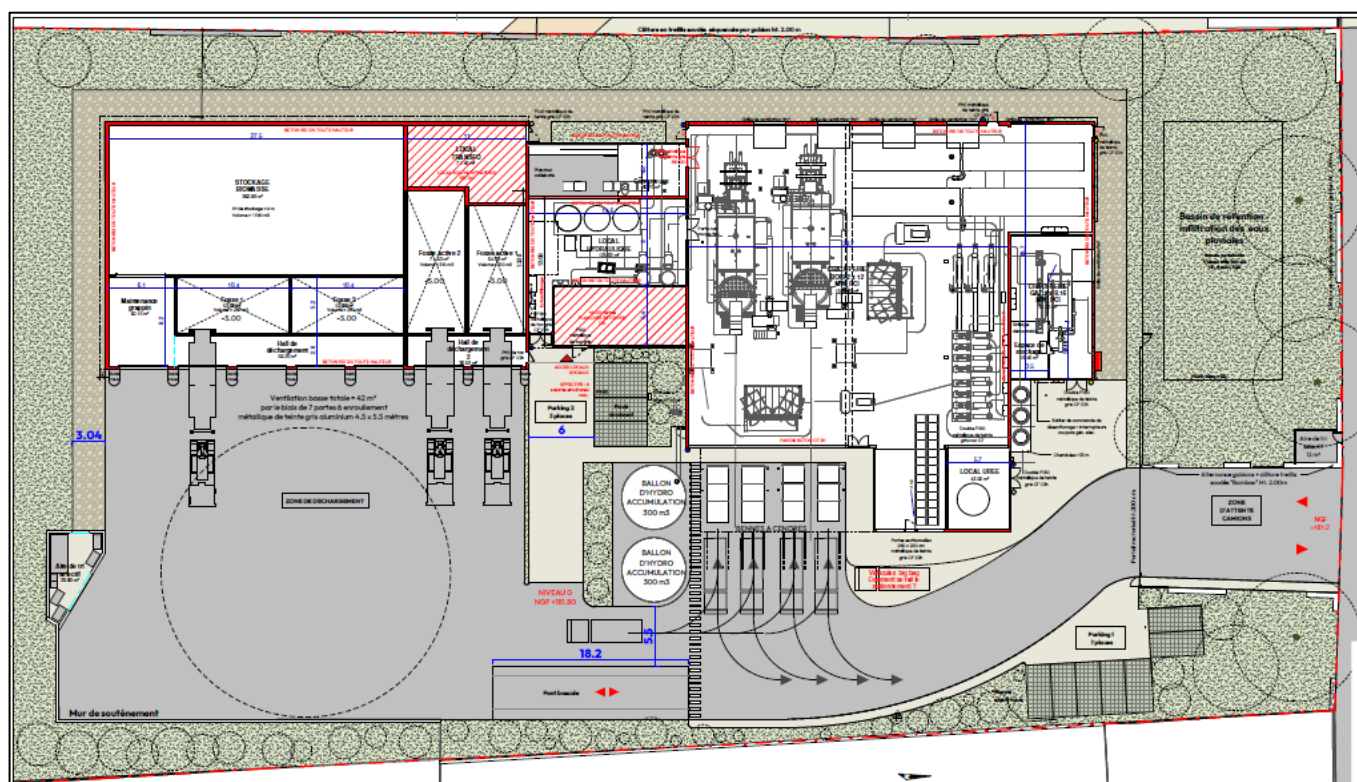


Figure 1 : Plan masse du projet (source : CORIANCE – Mai 2025)

### 3. Cadre réglementaire

#### 3.1. Documents de référence

D'une manière générale, les phénomènes dangereux sont modélisés selon les méthodologies développées dans les documents Omega de l'INERIS.

D'un point de vue réglementaire, les modélisations sont conformes aux textes suivants :

- **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 ;
- **Circulaire du 10 mai 2010** récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

#### 3.2. Porter à connaissance « risques technologiques »

Les nouvelles installations classées, soumises à Autorisation, peuvent nécessiter l'élaboration d'un porter à connaissance (PAC) – Risques technologiques, dans le cas où il serait observé des zones d'effets des seuils réglementaires en dehors des limites de propriété du site.

D'après la **Circulaire DPPR/SEI2/FA-07-0066 du 04/05/07**<sup>1</sup>, Le « porter à connaissance risques technologiques » comporte obligatoirement deux parties :

- une première partie relative à la connaissance des aléas technologiques, dont les éléments sont fournis par la DRIRE, au préfet et à la DDE ;
- une deuxième partie relative aux préconisations en matière d'urbanisme élaborées par la DDE sur la base des éléments que la DRIRE a fournis au préfet.

Toujours d'après cette circulaire, le « porter à connaissance risques technologiques » pour les installations soumises à autorisation doit contenir l'ensemble des phénomènes dangereux, susceptibles d'être générés par ces installations, caractérisés en probabilité et distances d'effet, ainsi que les seules installations et équipements soumis à déclaration (voire non classés) qui, par leur proximité et leur connexité avec les installations soumises à autorisation, sont de nature à modifier les dangers pour les intérêts visés à **l'article L. 511-1 du CE** ».

Pour les phénomènes dangereux dont la probabilité d'occurrence est E (événement extrêmement peu probable), il convient de formuler les préconisations suivantes :

- toute nouvelle construction est interdite dans les territoires exposés à des effets létaux significatifs à l'exception d'installations industrielles directement en lien avec l'activité à l'origine des risques, d'aménagements et d'extensions d'installations existantes ou de

<sup>1</sup> Circulaire DPPR/SEI2/FA-07-0066 du 04/05/07 relatif au porter à la connaissance " risques technologiques " et maîtrise de l'urbanisation autour des installations classées (circulaire.legifrance.gouv.fr)

nouvelles installations classées soumises à autorisation compatibles avec cet environnement (notamment au regard des effets dominos et de la gestion des situations d'urgence) ;

- dans les zones exposées à des effets létaux, l'aménagement ou l'extension de constructions existantes sont possible. Par ailleurs, l'autorisation de nouvelles constructions est possible sous réserve de ne pas augmenter la population exposée à ces effets létaux. Les changements de destinations doivent être réglementés dans le même cadre ;

- l'autorisation de nouvelles constructions est la règle dans les zones exposées à des effets irréversibles ou indirects. Néanmoins, il conviendra d'introduire dans les règles d'urbanisme du PLU les dispositions permettant de réduire la vulnérabilité des projets dans les zones d'effet de surpression.

### 3.3. Seuils réglementaires

En respect de l'**arrêté du 29 septembre 2005**, la délimitation des différentes zones de dangers pour la vie humaine mentionnées à l'article L. 515-16 du code de l'environnement correspond aux seuils d'effets de référence suivants :

- Les seuils des effets irréversibles (SEI) délimitent la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;
- Les seuils des effets létaux (SEL) correspondant à une CL (concentration létale) 1 % délimitent la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
- Les seuils des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à une CL 5 % délimitent la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

Les valeurs de références relatives aux seuils d'effets thermiques sont reportées dans les tableaux suivants.

**Tableau 1 : Seuils réglementaires pour les effets thermiques sur les personnes**

Effets du flux thermique	Seuil	Dose
SEI : Seuil des effets irréversibles <i>Zone des dangers significatifs pour la vie humaine</i>	3 kW/m <sup>2</sup>	600 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s
SEL : Seuil des effets létaux <i>Zone des dangers graves pour la vie humaine</i>	5 kW/m <sup>2</sup>	1 000 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s
SELS : Seuil des effets létaux significatifs <i>Zone des dangers très graves pour la vie humaine</i>	8 kW/m <sup>2</sup>	1 800 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s



**Tableau 2 : Seuils réglementaires pour les effets thermiques sur les structures**

Effets du flux thermique reçu sur les structures	Seuil
Seuil des destructions de vitres significatives	5 kW/m <sup>2</sup>
Seuil des effets domino, correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures	8 kW/m <sup>2</sup>
Seuil d'exposition prolongée des structures, correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton	16 kW/m <sup>2</sup>
Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures, correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton	20 kW/m <sup>2</sup>
Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes	200 kW/m <sup>2</sup>

Les valeurs de références relatives aux seuils d'effets de surpression sont reportées dans le tableau suivant.

**Tableau 3 : Seuils réglementaires pour les effets de surpression sur la vie humaine et sur les structures**

Surpression	Effets sur l'Homme	Effets sur les structures
20 mbar <sup>2</sup>	Seuil des effets indirects <i>Zone des effets indirects par bris de verre</i>	Seuil des destructions significatives de vitres
50 mbar	SEI : Seuil des effets irréversibles <i>Zone des dangers significatifs</i>	Seuil des dégâts légers sur les structures
140 mbar	SEL : Seuil des effets létaux <i>Zone des dangers graves</i>	Seuil des effets domino
200 mbar	SELS : Seuil des effets létaux significatifs <i>Zone des dangers très graves</i>	Seuil des dégâts graves sur les structures
300 mbar	-	Seuil des dégâts très graves sur les structures

### 3.4. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques utilisées pour les différentes simulations sont celles indiquées pour le cas d'un rejet horizontal dans la Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

<sup>2</sup> Compte tenu des dispersions de modélisation pour les faibles surpressions, il peut être adopté pour la surpression de 20 mbar une distance d'effets égale à deux fois la distance d'effet obtenue pour une surpression de 50 mbar.

**Tableau 4 : Conditions météorologiques utilisées pour les modélisations d'un rejet horizontal**

Condition météorologique	Classe de stabilité atmosphérique (Pasquill)	Vitesse de vent à 10 m du sol	Température sol et atmosphère	Humidité
<b>D 5</b>	Neutre	5 m/s	20°C	70 %
<b>F 3</b>	Très stable	3 m/s	15°C	

## 4. Phénomènes dangereux

Dans le cas des gaz inflammables, l'évènement redouté central « fuite de gaz » peut donner lieu à deux phénomènes dangereux distincts : l'explosion avec inflammation de nuage (UVCE ou Flash fire) et le jet enflammé. Les modélisations sont réalisées avec le logiciel PHAST® v9.1 (DNV).

### 4.1. Feu torche

Le feu torche, également appelé jet enflammé, peut survenir à la suite d'une fuite accidentelle de gaz ou de liquide inflammable ou à une évacuation intentionnelle de produits résiduels par l'intermédiaire de torchères. Les fuites peuvent survenir à la suite de la rupture d'une canalisation, d'une vanne ou d'un raccord, ou bien de la perforation d'une paroi. Ce type de feu peut être dévastateur en milieu industriel et est caractérisé par une flamme fortement rayonnante.

### 4.2. Flash fire

Un flash fire se produit lors de l'inflammation d'un nuage de gaz dérivant. La réaction de combustion se déroule très rapidement et les effets thermiques du phénomène sont alors principalement causés par le passage du front de flamme, plutôt que par le rayonnement thermique.

### 4.3. UVCE/VCE

Le phénomène d'UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion) caractérise les effets de surpression associé à l'explosion non confinée d'un nuage de gaz et/ou de vapeurs inflammables. Lorsque le nuage inflammable est confiné ou semi-confiné, le phénomène étudié est le VCE (Vapour Cloud Explosion).

De la même manière que le flash fire, l'UVCE dépend du débit de fuite, de la température et pression interne de la conduite ainsi que de la taille, la composition, et la turbulence du nuage inflammable. L'onde de pression est produite par l'expansion de la boule de feu produite par la propagation rapide du front de flamme.

En cas d'explosion d'une enceinte (VCE), l'énergie interne accumulée va se libérer sous deux formes :

- En une onde de surpression générée lors de la détente adiabatique du ciel gazeux ;
- En projection de missiles.

En raison des grandes incertitudes liées à l'étude des distances de projections de missiles, il est considéré que ces distances sont au moins égales aux distances du seuil de 50 mbar. Par ailleurs, dans le cas des explosions confinées, les effets externes sont essentiellement des effets de pression<sup>3</sup>.

Remarque : Dans le cas d'un rejet vertical de gaz naturel en champ libre, le scénario d'UVCE n'est pas étudié en raison des distances d'effets de surpression qui sont inférieures aux effets thermiques<sup>4</sup>.

Concernant les capacités d'eau des chaudières, deux phénomènes sont susceptibles de survenir suite à une montée en pression (éclatement) ou à une vaporisation brutale de l'eau contenue dans la calandre (BLEVE).

## 4.4. BLEVE

### 4.4.1. Phénomène

Le BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) peut survenir dans les installations de stockage de gaz liquéfiés. Ce phénomène est défini par l'INERIS comme une vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température normale d'ébullition à la pression atmosphérique.

Le BLEVE est associé avant tout à un changement d'état à caractère explosif, et non à une réaction de combustion comme c'est le cas des explosions de nuages de gaz. Ainsi, il n'est pas nécessaire que le produit concerné soit inflammable pour qu'un BLEVE soit possible.

### 4.4.2. Accidentologie

Le rapport Omega 5<sup>5</sup> de l'INERIS fait l'état des lieux de l'accidentologie relative au phénomène de BLEVE.

Il est recensé uniquement des cas de BLEVE impliquant des liquides inflammables, type gaz de pétrole liquéfié (GPL), propylène, etc. Entre 1951 et 2016 (65 années), 20 accidents de type BLEVE ont été observés dans le monde (soit moins de 1 cas par an), et tous concernaient des réservoirs de GPL.

Autrement dit, bien que la probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux ne puisse être admise comme étant nulle, il paraît extrêmement peu probable qu'un BLEVE impliquant une vaporisation brutale de l'eau de la calandre d'une chaudière puisse se produire, étant donné l'absence d'accidentologie à ce sujet, et la faible fréquence d'occurrence déjà observée pour des BLEVE de liquides inflammables.

<sup>3</sup> INERIS, « Ω 31 – Phénoménologie et modélisation des explosions de gaz confinés » (2022)

<sup>4</sup> GESIP, « Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquides ou liquéfiés, gaz naturel ou assimilé et produits chimiques) » (2019)

<sup>5</sup> INERIS, « Ω 5 – Le BLEVE, phénoménologie et modélisation des effets » (2017)

## 4.5.Éclatement de capacités

### 4.5.1. Phénomène

Toute capacité susceptible de contenir, de façon usuelle ou accidentelle, une phase gazeuse sous pression, peut être victime d'un éclatement. Selon l'INERIS, ce phénomène peut être dû :

- Soit à une augmentation de la pression interne jusqu'à une pression supérieure à la pression de rupture de la capacité (échauffement de la phase gazeuse, sur-remplissage, inflammation et explosion, emballement de réaction, etc.),
- Soit à une diminution de la pression de rupture jusqu'à une pression inférieure à la pression interne en raison de la dégradation des propriétés mécaniques de l'enveloppe par exemple (fatigue de l'enveloppe, érosion, corrosion, défaut, impact d'un projectile, etc.).

### 4.5.2. Accidentologie

Le rapport Omega 15<sup>6</sup> de l'INERIS fait l'état des lieux de l'accidentologie relative au éclatements de capacités.

Il est recensé principalement des éclatements de capacités impliquant du gaz (propane, butane, azote), du GNL, du GPL, etc. Entre 1962 et 2010 (48 années), 21 accidents d'éclatements de capacités ont été observés dans le monde (soit moins de 1 cas par an), et seulement 2 concernaient des capacités contenant de l'eau ou de la vapeur d'eau.

L'accident du 13 mars 2010 par exemple, qui a eu lieu à Gonfreville-l'orcher<sup>7</sup> (France) dans une raffinerie, était dû à un ballon de dégazage d'eau de chaudière, contenant des gaz inertes et de la vapeur d'eau, et ayant subi un déchirement en raison d'une corrosion externe ou d'une défaillance de certains purgeurs. Les dégâts ont été observés sur des équipements proches uniquement, avec la présence de vitres intacts à 40 m de la source de l'accident, et aucun dégâts sur des personnes n'ont été recensés.

<sup>6</sup> INERIS, « Ω 15 – Les éclatements de capacité, phénoménologie et modélisation des effets » (2013)

<sup>7</sup> Base de données ARIA – État au 19/09/2018, Accidentologie des appareils à pression (France) – page 4

## 5. Outils et méthodologies

### 5.1. Gaz naturel

Le gaz naturel est utilisé pour l'alimentation de la chaudière gaz via des réseaux enterrés. Aucune canalisation hors sol n'est prévue à ce stade de l'étude. Les caractéristiques physico-chimiques du gaz naturel sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 5 : Caractéristiques physico-chimiques du gaz naturel**

Produit	Gaz naturel
Composition	95 % CH <sub>4</sub> <sup>8</sup>
Masse volumique (P = 1 bar, T = 15 °C)	0,679 kg/m <sup>3</sup> <sup>9</sup>
Température d'auto-inflammation	540 °C <sup>9</sup>
Limites d'inflammabilité	4,4 %vol (LIE)– 16,5 %vol (LSE) <sup>9</sup>
Chaleur de combustion	50 MJ/kg <sup>9</sup>
Concentration stœchiométrique	9,47 %vol <sup>9</sup>

### 5.2. Débit de fuite

Lors d'une fuite de gaz sur une canalisation, il est possible de calculer le débit massique de fuite avec la méthodologie de l'INERIS<sup>10</sup>. L'équation est la suivante :

$$Q_g = C_d \times A_b \times \Psi \times \sqrt{\rho_g \times P_{res} \times \gamma \times \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)} \quad [\text{kg/s}]$$

Avec	C <sub>d</sub>	Coefficient de décharge (= 1 pour rupture guillotine)	[-]
	A <sub>b</sub>	Surface de la fuite	[m <sup>2</sup> ]
	ρ <sub>g</sub>	Densité massique du gaz dans la canalisation	[kg/m <sup>3</sup> ]
	Ψ	« Outflow coefficient »	[-]
	P <sub>res</sub>	Pression interne de la canalisation	[Pa]

### 5.3. Energie d'explosion

Dans le cas d'une explosion confinée, l'énergie mécanique libérée par la détente isotherme d'une poche d'air pressurisée est obtenue par la formule de Brode :

$$E_{Brode} = \frac{\Delta P V}{\gamma - 1} \quad [\text{Joules}]$$

Avec	ΔP : Surpression maximale atteinte	[Pa]
	V : Volume du ciel gazeux	[m <sup>3</sup> ]
	γ : Rapport de chaleurs spécifiques des gaz brûlés	[-]

Le volume du ciel gazeux est considéré comme le volume de stockage soustrait au volume total de la cellule.

<sup>8</sup> Guide GESIP (2008/01)

<sup>9</sup> Valeurs pour le méthane

<sup>10</sup> INERIS, « Ω 19 - Détermination des grandeurs caractéristiques du terme source nécessaires à l'utilisation d'un modèle de dispersion atmosphérique des rejets accidentels » (2006)

## 5.4. Effets de surpression

La méthode Multi-Energie proposée par le TNO<sup>11</sup> en 1984 permet de décrire l'atténuation de l'onde de surpression avec la distance en tenant compte notamment de la réactivité du combustible, du degré d'encombrement et de confinement de la zone et de la turbulence du nuage.

Ces paramètres sont traduits par un « indice » de violence compris entre 1 et 10 correspondants à des niveaux maximum et des courbes d'atténuation de la surpression visibles sur les abaques présentées ci-après.

Dans le cadre d'un rejet dans un environnement confiné, l'INERIS<sup>12</sup> préconise de façon majorante de retenir l'indice de violence 10, le plus sévère, considérant l'éclatement de l'enceinte.

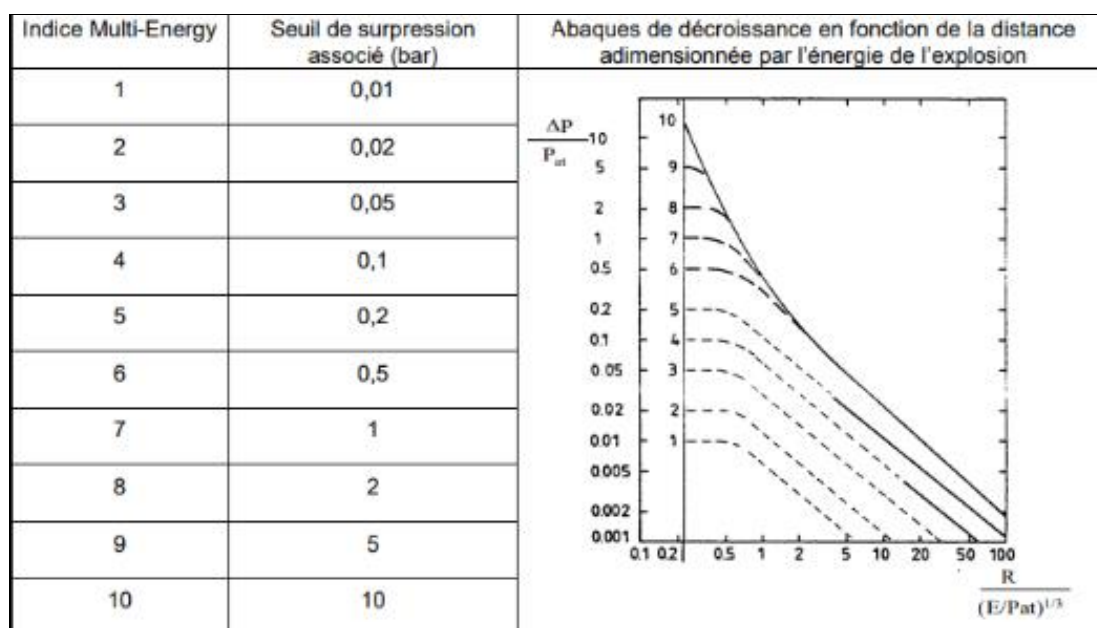


Figure 2 : Abaques de la méthode Multi-Energie développée par le TNO (1984)

## 5.5. Effets thermiques

Les distances des effets thermiques générés par le front de flamme dépendent de la dispersion du nuage traduit par la limite inférieure d'inflammabilité (LII) telle que défini par la circulaire du 10 mai 2010 :

- Distance d'atteinte des effets létaux significatifs (8 kW/m<sup>2</sup>) = distance d'atteinte de la LII ;
- Distance d'atteinte des effets létaux (5 kW/m<sup>2</sup>) = distance d'atteinte de la LII ;
- Distance d'atteinte des effets irréversibles (3 kW/m<sup>2</sup>) = 1,1 x distance d'atteinte de la LII.

<sup>11</sup> TNO : Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique appliquée

<sup>12</sup> INERIS, « Ω 31 – Phénoménologie et modélisation des explosions de gaz confinées » (2022)

## 5.6. Logiciel PHAST® v9.1

Le modèle PHAST®, commercialisé par DNV, est largement utilisé dans l'industrie pour la modélisation de scénarios accidentels (explosion, incendie, dispersion, etc.). Il a été rigoureusement validé et vérifié en continu par des experts depuis plus de 40 ans.

Le logiciel comporte un module de dispersion atmosphérique appelé « UDM » pour Unified Dispersion Model qui est un modèle intégral permettant de prendre en compte les mécanismes physiques des fluides tels que :

- La turbulence dynamique lors de rejet sous forme de jet ;
- Les effets de gravité pour les gaz lourds ;
- Les effets de flottabilité pour les gaz légers.

Le modèle intégral utilise un modèle gaussien pour calculer la trajectoire et la dilution du panache dans sa phase passive.

Les distances d'effets thermiques sont estimées à partir de la méthode de la « flamme solide » associée au modèle de Chamberlain pour calculer les caractéristiques géométriques de la flamme. Ce modèle est conçu pour modéliser des rejets gazeux ou diphasiques, verticaux, horizontaux ou inclinés.

## 5.7. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques utilisées pour les différentes simulations sont celles indiquées pour le cas d'un rejet vertical dans la Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux **P**lans de **P**révention des **R**isques **T**echnologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

Pour un rejet horizontal, il est préconisé l'étude des effets en conditions F3 (très stable) et D5 (neutre), considérées comme majorantes.

## 5.8. Surfaces soufflables

La norme NF EN 14996 – Systèmes de protection par événement contre les explosions de gaz (2007) permet de dimensionner les surfaces soufflables nécessaires pour garantir la tenue des parois lors d'une explosion. Inversement, elle permet de calculer la surpression d'explosion réduite (Pred), soit la pression théorique atteinte dans le local après ouverture des événements.

Le dimensionnement d'événements est réalisé pour les phénomènes dangereux de type Explosion confinée d'un nuage de gaz (VCE).

## 5.9.Évaluation de la gravité

La gravité d'un scénario est appréciée en se référant à l'échelle suivante définie par l'Annexe 3 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. À noter que les effets indirects par bris de verres ne sont pas pris en compte dans l'évaluation de la gravité.

**Tableau 6 : Échelle d'appréciation de la gravité des conséquences humaines d'un accident à l'extérieur des installations (Arrêté du 29/09/05)**

Niveau de gravité des conséquences	Effets létaux significatifs	Effets létaux	Effets irréversibles
<b>Désastreux</b>	Plus de 10 personnes exposées (1)	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées
<b>Catastrophique</b>	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes	Entre 100 et 1 000 personnes exposées
<b>Important</b>	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
<b>Sérieux</b>	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
<b>Modéré</b>	Pas de zone de létalité hors de l'établissement		Présence humaine exposée inférieure à une personne

(1) Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permet.

Le nombre de personnes exposées est évalué conformément à la fiche n°1 relative à la méthodologie de comptage des personnes pour la détermination de la gravité des accidents de la circulaire du 10 mai 2010. Dans le cadre d'installation A non Seveso, la méthodologie est rappelée dans le tableau suivant. Il est cependant préféré les données réelles lorsqu'elles sont disponibles.

**Tableau 7 : Méthodologie de comptage du nombre de personnes exposées à des phénomènes dangereux (circulaire 10 mai 2010)**

Zone exposée	Nombre de personnes exposée selon la circulaire du 10 mai 2010
- Zone rurale	20 p/ha
- Zone semi-rurale	40-50 p/ha
- Zone urbaine	400-600 p/ha
- Zone urbaine dense	1000 p/ha
- Zone d'activité	Nombre de salariés
- Axe embouteillé	300 p/voie/km
- Axe non embouteillé	0,4 p/km/100 véh/j
- Voie ferroviaire	0,4 p/km/train
- Voie piétonne (promenade)	0,02 p/km/j
- Voie navigable	0,1 p/km/péniche/j
- Terrain non bâti peu fréquenté	1 p/100 ha
- Terrain aménagé peu fréquenté	1 p/10 ha
- Terrain aménagé fréquenté	10 p/ha



### 5.9.1. Évaluation de la fréquence d'occurrence

Dans le cadre d'une étude de dangers, les phénomènes dangereux et accidents sont quantifiés en classe de probabilité conformément à l'Annexe 1 (relative aux échelles de probabilité) de l'**arrêté PCIG du 29 septembre 2005**. Ces classes sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 8 : Échelle de probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux et accidents**  
(Annexe 1 de l'Arrêté du 29 septembre 2005)

Échelle de probabilité	E	D	C	B	A
Qualitative	Évènement possible mais extrêmement peu probable	Évènement très improbable	Évènement improbable	Évènement probable	Évènement courant
	N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années et d'installations	S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	S'est déjà produit dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité	S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation	S'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation, malgré d'éventuelles mesures correctives
Semi-quantitative	Échelle intermédiaire permettant de tenir compte des mesures de maîtrise des risques				
Quantitative (par unité annuelle)	$P \leq 10^{-5}$	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$	$P > 10^{-2}$

### 5.9.2. Matrice de maîtrise des risques

La grille suivante visualise les niveaux de risques en fonction du couple Gravité/Probabilité des conséquences sur les personnes physiques correspondant à des intérêts visés par l'article L. 511-1 du code de l'environnement.

**Tableau 9 : Matrice de maîtrise des risques (circulaire du 10 mai 2010)**

Gravité des conséquences	Probabilité d'occurrence (sens croissant de E vers A) <sup>1</sup>				
	E	D	C	B	A
<b>Désastreux</b>	Non partiel (sites nouveaux <sup>2</sup> ) MMR rang 2 (sites existants <sup>1</sup> )	NON Rang 1	NON Rang 2	NON Rang 3	NON Rang 4
<b>Catastrophique</b>	MMR rang 1	MMR rang 2	NON Rang 1	NON Rang 2	NON Rang 3
<b>Important</b>	MMR rang 1	MMR rang 1	MMR rang 2	NON Rang 1	NON Rang 2
<b>Sérieux</b>			MMR rang 1	MMR rang 2	NON Rang 1
<b>Modéré</b>					MMR rang 1

<sup>1</sup> probabilité et gravité des conséquences sont évaluées conformément à l'arrêté ministériel 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.

<sup>2</sup> l'exploitant doit mettre en œuvre des mesures techniques complémentaires permettant de conserver le niveau de probabilité E en cas de défaillance de l'une des mesures de maîtrise du risque.

Cette grille délimite trois niveaux de risques accidentels :

- **Accident majeur inacceptable (Zone rouge)** : il convient de mettre en place des mesures supplémentaires de réduction du risque qui permettront de sortir de la zone inacceptable ;
- **Accident majeur acceptable (Zone orange)** : il convient de vérifier que l'exploitant a analysé toutes les mesures de maîtrise des risques (MMR) envisageables en vue d'atteindre, dans des conditions économiques acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation ;
- **Accident majeur acceptable (Zone verte)** : cela n'implique pas d'obligation de réduction complémentaire du risque d'accident au titre des installations classées.

La gradation des cases « NON » ou « MMR » en « rangs », correspond à un risque croissant, depuis le rang 1 jusqu'au rang 4 pour les cases « NON » et depuis le rang 1 jusqu'au rang 2 pour les cases « MMR ». Cette gradation correspond à la priorité que l'on peut accorder à la réduction des risques, en s'attachant d'abord à réduire les risques les plus importants (rangs les plus élevés).

### 5.9.3. Barrières de sécurité actives et passives du projet

#### Barrières actives

Les installations prévues dans le cadre du projet présentent des dispositifs de sécurité, permettant de réduire grandement le risque d'occurrence des phénomènes dangereux considérés, et listés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 10 : Barrières actives de sécurité propres aux chaudières prévues sur le projet**

Organes de sécurité	Partie eau	Partie fumée	Partie gaz
Chaudière gaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surchauffe eau TSHH</li> <li>• Manque de débit eau FSLL</li> <li>• Surpression eau PSHH</li> <li>• Manque de pression d'eau PSLL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonde O<sub>2</sub> (sonde de régulation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doubles vannes de coupures gaz asservies sur manque de pression ou sur pression gaz, détection gaz, coupure électrique</li> </ul>
Chaudière biomasse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surchauffe eau TSHH</li> <li>• Manque de débit eau FSLL</li> <li>• Surpression eau PSHH</li> <li>• Manque de pression d'eau PSLL</li> <li>• Manque d'eau LSLL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surpression foyer (chambre de combustion)</li> <li>• O<sub>2</sub> bas</li> <li>• Surchauffe chambre de combustion</li> <li>• Conduit de fumées non disponible (problème sur des registres de by-pass venant empêcher l'évacuation des fumées)</li> <li>• Ouverture de la porte foyer</li> </ul>	

*Un ensemble d'alarmes secondaires est également prévu en cas de dysfonctionnement du process (burrage bois, cendres, comportement anormal d'équipements, etc.)*

#### Barrières passives

Différentes caractéristiques constructives du bâtiment constituent des barrières passives visant à diminuer les effets (thermiques et de surpression) des différents phénomènes dangereux :

- ✓ Toiture BROOF (t3) ;
- ✓ Sol incombustible ;
- ✓ Murs béton isolé coupe-feu 2h, résistants à une pression de 200 mbar ;
- ✓ Lanterneaux de désenfumage (surfaces soufflables) ;
- ✓ Ventilation mécanique.

L'ensemble de ces mesures, considérées comme étant non-fonctionnels lors de la modélisation, permettent de réduire grandement le risque d'occurrence ainsi que les effets des phénomènes dangereux présentés ci-après.

## 6. Modélisations des phénomènes dangereux

### 6.1. Phénomène dangereux modélisés

En tenant compte des informations connues à ce stade du projet, les scénarios modélisés suivants ont été choisis et validés par le Pétitionnaire ou son représentant :

- Phénomène dangereux n°1 : Explosion de la chambre à combustion de la chaudière biomasse ;
- Phénomène dangereux n°2 : BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière biomasse ;
- Phénomène dangereux n°3 : Éclatement de la calandre de la chaudière biomasse ;
- Phénomène dangereux n°4 : Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie ;
- Phénomène dangereux n°5 : Flash Fire – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie ;
- Phénomène dangereux n°6 : Explosion du local de la chaudière gaz (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie ;
- Phénomène dangereux n°7 : Explosion secondaire du local de la chaudière gaz (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie ;
- Phénomène dangereux n°8 : Explosion de la chambre à combustion de la chaudière gaz ;
- Phénomène dangereux n°9 : BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière gaz.
- Phénomène dangereux n°10 : Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie ;
- Phénomène dangereux n°11 : Flash fire – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie ;
- Phénomène dangereux n°12 : Explosion (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie.

Pour chaque scénario présentant des effets thermiques ou de surpression, une cartographie des résultats est disponible en Annexe 10.1 de ce rapport.

## 6.2.PhD n°1 : Explosion de la chambre de combustion de la chaudière biomasse

### 6.2.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé l'accumulation de gaz ou vapeurs inflammables dans la chambre à combustion avant redémarrage. Lors du démarrage de la chaudière, ce scénario conduit à l'explosion de la chambre de combustion.

L'explosion a été modélisée sur la base des éléments suivants :

- Nature du gaz : gaz naturel assimilé à du méthane de façon majorante ;
- Matériaux des parois et de la toiture : béton ;
- Volume de la chambre de combustion : 100 m<sup>3</sup> ;
- Pression de rupture : 1 bar

### 6.2.2. Distances d'effet

L'énergie d'explosion est calculée avec l'équation de Brode (cf. 5.3) en considérant la pression de rupture (1 bar), soit E = 1,42 MJ (prise en compte de la LIE) et E = 5,32 MJ (prise en compte de la LSE).

Les distances maximales d'effet de l'onde de surpression sont estimées avec les abaques de la méthode Multi-Energy niveau 10 (cf. 5.4) et sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 11 : Distances maximales d'effets – Explosion chambre de combustion – chaudière biomasse**

Seuil des effets de surpression	Distance d'effet à partir du centre de l'enceinte	
	LIE (4,4 %vol)	LSE (16,5 %vol)
<b>300 mbar</b>	4 m	6 m
<b>200 mbar (SELS)</b>	5 m	7 m
<b>140 mbar (SEL)</b>	6 m	9 m
<b>50 mbar (SEI)</b>	13 m	19 m
<b>20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)</b>	28 m	44 m

N/A : Non atteint

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 12 : Distances de sortie des limites de propriété – Explosion chambre de combustion – chaudière biomasse**

Seuil des effets de surpression	Distances de sortie des limites de propriété			
Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
300 mbar	N/A	N/A	N/A	N/A
200 mbar (SELS)	N/A	N/A	N/A	N/A
140 mbar (SEL)	N/A	N/A	N/A	N/A
50 mbar (SEI)	N/A	N/A	N/A	N/A
20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)	N/A	N/A	N/A	LIE : 11 m LSE : 25 m

N/A : Non atteint

Dans le cas de l'explosion de la chambre de combustion de la chaudière biomasse, le seuil des effets indirects par bris de verre (20 mbar) est susceptible d'être atteint en dehors des limites de propriété, à l'ouest.

### 6.2.3. Évaluation de la gravité

La gravité du phénomène dangereux est présentée dans le tableau suivant.

**Tableau 13 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°1**

	Surface hors site	Nombre de personnes exposées	Gravité
Effets létaux significatifs	0	0	Modéré
Effets létaux	0	0	Modéré
Effets irréversibles	0	0	Modéré
Gravité retenue	<b>Modéré</b>		

\*Pour l'évaluation de la gravité, seuls les seuils des 50 mbar (SEI), 140 mbar (SEL) et 200 mbar (SELS) sont évalués. Le seuil des 20 mbar (effets indirects par bris de verre) n'est pas pris en compte.

### 6.2.4. Probabilité d'occurrence

Le niveau de gravité attribué au phénomène dangereux n°1 étant **Modéré**, il n'implique pas d'obligation de réduction complémentaire du risque d'accident, sauf dans le cas où la probabilité d'occurrence du phénomène serait classée A « Évènement courant », ce qui paraît assez invraisemblable.

Le tableau suivant présente, à titre d'exemple, des mesures pouvant permettre de réduire la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux n°1.

**Tableau 14 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°1**

Causes	Mesures préconisées	Conséquence en cas d'échec de la mesure	Autre mesure préconisée
Excès ou défaut de comburant	Capteur atmosphérique <sup>1</sup>	Arrêt de la chaudière suite à une perte/absence de flamme > Accumulation de gaz/CO	Détecteur de flamme <sup>5</sup>
Excès ou défaut de combustible	Capteur atmosphérique <sup>1</sup> Capteur de pression <sup>2</sup>		Thermomètre <sup>6</sup>
Fuite sur une buse d'alimentation de gaz, en phase d'arrêt de la chaudière	Contrôle <sup>3</sup> Ventilation <sup>4</sup>	> Accumulation de gaz/CO	
Débit faible/nul d'extraction des fumées de combustion	Ventilation <sup>4</sup>	> Accumulation de gaz/CO	

<sup>1</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur le rapport air/combustible dans la chambre de combustion

<sup>2</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur la pression en chambre de combustion

<sup>3</sup> Actions de contrôle d'étanchéité, de purge, etc., dans la procédure de mise en service/arrêt de la chaudière

<sup>4</sup> Actions de balayage de l'air lors de la séquence de mise en service de la chaudière

<sup>5</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur la présence de la flamme dans la chambre de combustion

<sup>6</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur la présence de la flamme dans la chambre d'alimentation

Une liste plus détaillée de mesures de sécurité est proposée en Annexe 10.2 de ce rapport.

La classe de probabilité d'occurrence retenue pour le PhD n°1 est E (événement extrêmement peu probable).

## 6.3.PhD n°2 : BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière biomasse

### 6.3.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé la vaporisation brutale d'eau par contact avec les tubes de fumées chauds, suite à un dysfonctionnement de l'alimentation en eau.

Le BLEVE a été modélisée sur la base des éléments suivants :

- Volume de la calandre : 59 m<sup>3</sup> ;
- Taux de remplissage de la calandre : 100 % ;
- Pression au sein de la calandre : 10 bar ;
- Pression de rupture de la calandre : 12 bar.

### 6.3.2. Distances d'effet

L'énergie d'explosion est calculée avec l'équation de Brode (cf. 5.3) en considérant la pression de rupture (12 bar), soit E = 217,4 MJ.

Les distances maximales d'effet de l'onde de surpression sont estimées avec les abaques de la méthode Multi-Energy niveau 10 (cf. 5.4) et sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 15 : Distances maximales d'effets – BLEVE capacité d'eau – chaudière biomasse**

Seuil des effets de surpression	Distance d'effet à partir du centre de l'enceinte
<b>300 mbar</b>	19 m
<b>200 mbar (SELS)</b>	24 m
<b>140 mbar (SEL)</b>	30 m
<b>50 mbar (SEI)</b>	65 m
<b>20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)</b>	149 m

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.



**Tableau 16 : Distances de sortie des limites de propriété – BLEVE capacité d'eau – chaudière biomasse**

Seuil des effets de surpression	Distances de sortie des limites de propriété			
Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
300 mbar	N/A	N/A	N/A	N/A
200 mbar (SELS)	N/A	N/A	N/A	4 m
140 mbar (SEL)	N/A	N/A	N/A	11 m
50 mbar (SEI)	N/A	5 m	N/A	29 m
20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)	97 m	99 m	70 m	132 m

N/A : Non atteint

Dans le cas du BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière biomasse, les seuils des effets indirects (20 mbar), irréversibles (50 mbar), létaux (140 mbar) et létaux significatifs (200 mbar) sont susceptibles d'être atteints en dehors des limites de propriété.

### 6.3.3. Évaluation de la gravité

La gravité du phénomène dangereux est présentée dans le tableau suivant.

**Tableau 17 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°2**

	Surface hors site	Nombre de personnes exposées	Gravité
Effets létaux significatifs	- 190 m <sup>2</sup> d'espace vert à l'ouest	< 1	Important
Effets létaux	- 520 m <sup>2</sup> d'espace vert à l'ouest	< 1	Sérieux
Effets irréversibles	- 160 m de route (2 voies) à l'ouest - 0,2 ha d'espace vert à l'ouest - 1 170 m <sup>2</sup> de terrain peu fréquenté à l'est - 1 logement (2,5 p./logement) à l'ouest	101	Important
Gravité retenue	<b>Important</b>		

\*Pour l'évaluation de la gravité, seuls les seuils des 50 mbar (SEI), 140 mbar (SEL) et 200 mbar (SELS) sont évalués. Le seuil des 20 mbar (effets indirects par bris de verre) n'est pas pris en compte.

Le niveau de gravité attribué à ce phénomène dangereux peut être expliqué par la localisation du projet en milieu urbain, avec la présence de voies routières et de zones d'habitations à proximité de l'emprise du projet.

### 6.3.4. Probabilité d'occurrence

Le niveau de gravité attribué au phénomène dangereux n°2 étant **Important**. Pour les phénomènes de type BLEVE, la probabilité d'occurrence est généralement classée entre D « Événement très improbable » et E « Événement possible mais extrêmement peu probable ». L'ensemble des mesures de maîtrise des risques prévues doivent donc être présentées. Le tableau ci-dessous présente quelques mesures pouvant permettre de réduire la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux n°2.

**Tableau 18 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°2**

Causes	Mesures préconisées	Conséquence en cas d'échec de la mesure	Autre mesure préconisée
Purge laissée ouverte	Arrêt alimentation eau <sup>1</sup>	Arrivée d'eau sur les tubes de fumées et vaporisation brutale > Surpression de la capacité d'eau	Soupape de sécurité <sup>3</sup>
Défaillance de la régulation du niveau d'eau	Débitmètre <sup>2</sup>		
Bouchon dans les canalisations			
Arrêt de la pompe d'alimentation			
Fuite d'eau entre la pompe et la capacité d'eau			

<sup>1</sup> Asservissement de l'alimentation en eau sur détection d'un manque de débit d'eau ou d'un manque de pression

<sup>2</sup> Détection d'une absence ou d'une variation du débit d'eau

<sup>3</sup> Évacuation immédiate de la surpression générée dans la capacité d'eau

Une liste plus détaillée de mesures de sécurité est proposée en Annexe 10.2 de ce rapport.

La classe de probabilité d'occurrence retenue pour le PhD n°2 est E (événement extrêmement peu probable).

## 6.4.PhD n°3 : Éclatement de la calandre de la chaudière biomasse

### 6.4.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé l'éclatement, en raison d'une montée en pression, de la capacité d'eau de la chaudière biomasse.

L'éclatement a été modélisé via l'outil **PROJEX** (PRIMARISK), développé par l'INERIS<sup>13</sup>, sur la base des éléments suivants :

- Longueur du réservoir : 13,55 m
- Diamètre du réservoir : 3,86 m
- Masse volumique du mélange air vapeur à la température de service et pression de service : 1,196 kg/m<sup>3</sup>
- Rapport Cp/Cv de l'atmosphère : 1,3
- Pression de rupture : 12 bar

### 6.4.2. Distances d'effet

Les distances maximales d'effet de l'onde de surpression sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 19 : Distances maximales d'effets – Éclatement calandre – chaudière biomasse**

Seuil des effets de surpression	Distance d'effet à partir du centre de l'enceinte
<b>300 mbar</b>	24 m
<b>200 mbar</b>	32 m
<b>140 mbar</b>	41 m
<b>50 mbar</b>	92 m
<b>20 mbar</b>	185 m

N/A : Non atteint

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.

<sup>13</sup> Décrit dans Omega 15 « Les éclatements de capacités, phénoménologie et modélisation des effets »

**Tableau 20 : Distances de sortie des limites de propriété – Éclatement calandre – chaudière biomasse**

Seuil des effets de surpression	Distances de sortie des limites de propriété			
Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
300 mbar	N/A	N/A	N/A	4 m
200 mbar (SELS)	N/A	N/A	N/A	12 m
140 mbar (SEL)	N/A	N/A	N/A	21 m
50 mbar (SEI)	41 m	51 m	17 m	72 m
20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)	132 m	140 m	107 m	166 m

N/A : Non atteint

Dans le cas de l'éclatement de la capacité d'eau de la chaudière biomasse, les seuils des effets indirects (20 mbar), irréversibles (50 mbar), létaux (140 mbar) et létaux significatifs (200 mbar) sont susceptibles d'être atteints en dehors des limites de propriété.

#### 6.4.3. Évaluation de la gravité

La gravité du phénomène dangereux est présentée dans le tableau suivant.

**Tableau 21 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°3**

	Surface hors site	Nombre de personnes exposées	Gravité
Effets létaux significatifs	- 0,05 ha d'espace vert à l'ouest	< 1	Important
Effets létaux	- 0,18 ha d'espace vert à l'ouest	< 1	Sérieux
Effets irréversibles	- 5 620 m <sup>2</sup> de terrain peu fréquenté à l'est - 0,272 ha d'espace verts à l'ouest et au sud - 7 logements (2,5 p./logement) à l'ouest - 170 m de route au nord et à l'ouest	250	Catastrophique
Gravité retenue	<b>Catastrophique</b>		

\*Pour l'évaluation de la gravité, seuls les seuils des 50 mbar (SEI), 140 mbar (SEL) et 200 mbar (SELS) sont évalués. Le seuil des 20 mbar (effets indirects par bris de verre) n'est pas pris en compte.

Le niveau de gravité attribué à ce phénomène dangereux peut être expliqué par la localisation du projet en milieu urbain, avec la présence de voies routières et de zones d'habitations à proximité de l'emprise du projet.

#### 6.4.1. Probabilité d'occurrence

Le niveau de gravité attribué au phénomène dangereux n°3 est **Catastrophique**. Pour les éclatements de capacité, la probabilité d'occurrence est généralement classée E « Événement possible mais extrêmement peu probable ». L'ensemble des mesures de maîtrise des risques prévues doivent donc être présentées. Le tableau ci-dessous présente plusieurs mesures pouvant permettre de réduire la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux n°3.

**Tableau 22 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°3**

Causes	Mesures préconisées	Conséquence en cas d'échec de la mesure	Autre mesure préconisée
Purge laissée ouverte	Arrêt alimentation eau <sup>1</sup>	Arrivée d'eau sur les tubes de fumées et vaporisation brutale > Surpression de la capacité d'eau	Soupape de sécurité <sup>3</sup>
Défaillance de la régulation du niveau d'eau	Débitmètre <sup>2</sup>		
Bouchon dans les canalisations			
Arrêt de la pompe d'alimentation			
Fuite d'eau entre la pompe et la capacité d'eau			

<sup>1</sup> Asservissement de l'alimentation en eau sur détection d'un manque de débit d'eau ou d'un manque de pression

<sup>2</sup> Détection d'une absence ou d'une variation du débit d'eau

<sup>3</sup> Évacuation immédiate de la surpression générée dans la capacité d'eau

Une liste plus détaillée de mesures de sécurité est proposée en Annexe 10.2 de ce rapport.

La classe de probabilité d'occurrence retenue pour le PhD n°3 est E (événement extrêmement peu probable).

## 6.5.PhD n°4 : Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie

### 6.5.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé la perte de confinement sur une tuyauterie aérienne de gaz à l'intérieur de la chaufferie. En présence d'une source d'inflammation, ce scénario conduit à un Feu torche.

La modélisation a été réalisée sur le logiciel PHAST® v9.1, sur la base des éléments suivants :

- Nature du gaz : gaz naturel assimilé à du méthane (majorant) ;
- Longueur de la canalisation : 13,2 m
- Diamètre interne de la canalisation : 100 mm
- Débit de gaz : 650 m<sup>3</sup>/h (soit 0,12 kg/s)
- Hauteur de la canalisation aérienne : 1 m
- Température dans la canalisation : 20 °C
- Pression de service dans la canalisation : 0,3 bar
- Conditions météorologiques : F3 (très stable) et D5 (neutre) ;

### 6.5.2. Distances d'effet

Les distances maximales d'effets thermiques sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 23 : Distances maximales d'effets thermiques – Feu torche – Fuite de gaz sur une canalisation intérieure**

Diamètre de la brèche	Conditions météorologiques	Distance par rapport au bord du foyer atteinte à hauteur d'Homme (m)			
		Longueur de flamme	SEI (3 kW/m <sup>2</sup> )	SEL (5 kW/m <sup>2</sup> )	SELS (8 kW/m <sup>2</sup> )
30 mm	D5	4,7 m	5,4 m	N/A	N/A
	F3	4,8 m	5,6 m	N/A	N/A
100 mm (rupture guillotine)	D5	8,8 m	8,6 m	N/A	N/A
	F3	8,9 m	8,7 m	N/A	N/A

N/A : Non atteint

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 24 : Distances de sortie des limites de propriété – Feu torche – Fuite de gaz sur une canalisation intérieure**

Diamètre de la brèche	Conditions météorologiques	Seuil des effets thermiques	Distances de sortie des limites de propriété			
		Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
30 mm	D5	SEI (3 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL (5 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SELS (8 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
	F3	SEI (3 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL (5 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SELS (8 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
100 mm (rupture guillotine)	D5	SEI (3 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL (5 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SELS (8 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
	F3	SEI (3 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL (5 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SELS (8 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A : Non atteint

Dans le cas d'un Feu torche sur une canalisation à l'intérieur du local de la chaudière gaz, aucun seuil réglementaire n'est atteint en dehors des limites de propriété.

## 6.6.PhD n°5 : Flash fire – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie

### 6.6.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé la perte de confinement sur une tuyauterie aérienne de gaz à l'intérieur de la chaufferie. En présence d'une source d'inflammation, ce scénario conduit à un Flash fire.

La modélisation a été réalisée sur le logiciel PHAST® v9.1, sur la base des éléments suivants :

- Nature du gaz : gaz naturel assimilé à du méthane (majorant) ;
- Longueur de la canalisation : 13,2 m
- Diamètre interne de la canalisation : 100 mm
- Débit de gaz : 650 m<sup>3</sup>/h (soit 0,12 kg/s)
- Hauteur de la canalisation aérienne : 1 m
- Température dans la canalisation : 20 °C
- Pression de service dans la canalisation : 0,3 bar
- Conditions météorologiques : F3 (très stable) et D5 (neutre) ;

### 6.6.2. Distances d'effet

Les distances maximales d'effet de l'onde de surpression sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 25 : Distances maximales d'effets – Flash fire – Fuite de gaz sur une canalisation intérieure**

Diamètre de la brèche	Conditions météorologiques	Distance par rapport au bord du foyer atteinte à hauteur d'Homme (m)	
		SEI (1,1 x LII)	SEL / SELs (LII)
30 mm	D5	2,4 m	2,1 m
	F3	2,5 m	2,2 m
100 mm (rupture guillotine)	D5	2,6 m	2,3 m
	F3	3,5 m	3,2 m

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.



**Tableau 26 : Distances de sortie des limites de propriété – Flash fire – Fuite de gaz sur une canalisation intérieure**

Diamètre de la brèche	Conditions météorologiques	Seuil des effets thermiques	Distances de sortie des limites de propriété			
		Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
30 mm	D5	SEI (1,1 x LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL / SELs (LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
	F3	SEI (1,1 x LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL / SELs (LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
100 mm (rupture guillotine)	D5	SEI (1,1 x LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL / SELs (LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
	F3	SEI (1,1 x LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL / SELs (LII)	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A : Non atteint

**Dans le cas d'un Feu torche sur une canalisation à l'intérieur du local de la chaudière gaz, aucun seuil réglementaire n'est atteint en dehors des limites de propriété.**

## 6.7.PhD n°6 : Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie

### 6.7.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé une explosion confinée (VCE) du local de la chaudière gaz, suite à une fuite sur une canalisation située à l'intérieur de ce local.

L'explosion a été modélisée sur la base des éléments suivants :

- Nature du gaz : gaz naturel assimilé à du méthane (majorant) ;
- Longueur de la canalisation : 13,2 m
- Diamètre interne de la canalisation : 100 mm
- Débit de gaz : 650 m<sup>3</sup>/h (soit 0,12 kg/s)
- Hauteur de la canalisation aérienne : 1 m
- Température dans la canalisation : 20 °C
- Pression de service dans la canalisation : 0,3 bar
- Conditions météorologiques : F3 (très stable) et D5 (neutre)

### 6.7.2. Surface soufflable nécessaire

La surface d'évent nécessaire pour garantir la tenue des parois en béton est calculée avec la norme NF EN 14994:2007 (cf. 5.8 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ainsi, en considérant de façon sécurisée une surpression d'explosion réduite  $P_{red}$  (inférieure à la pression de ruine des parois béton) de 150 mbar, la surface soufflable totale doit être de 51,62 m<sup>2</sup> au minimum.

Les modélisations suivantes concernent :

- L'explosion de la chaufferie non équipée d'évents ;
- L'explosion de la chaufferie équipée de surfaces soufflables  $\geq 52$  m<sup>2</sup>.

### 6.7.3. Distances d'effet

L'énergie d'explosion est calculée avec l'équation de Brode (cf. 5.3) en considérant la pression de rupture des parois (0,2 bar), soit  $E = 2,96$  MJ (prise en compte de la LIE) et  $E = 11,1$  MJ (prise en compte de la LSE).

Les distances maximales d'effet de l'onde de surpression sont estimées avec les abaques de la méthode Multi-Energy niveau 10 (cf. 5.4) et sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 27 : Distances maximales d'effets – Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie – Enceinte non éventée**

Seuil des effets de surpression	Distance d'effet à partir du centre de l'enceinte	
Limite d'explosivité considérée	LIE (4,4 %vol)	LSE (16,5 %vol)
300 mbar	N/A	N/A
200 mbar (SELS)	6 m	9 m
140 mbar (SEL)	8 m	11 m
50 mbar (SEI)	16 m	24 m
20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)	36 m	55 m

N/A : Non atteint

**Tableau 28 : Distances maximales d'effets – Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie – Enceinte éventée**

Seuil des effets de surpression	Distance d'effet à partir du centre de l'enceinte	
Limite d'explosivité considérée	LIE (4,4 %vol)	LSE (16,5 %vol)
300 mbar	N/A	N/A
200 mbar (SELS)	N/A	N/A
140 mbar (SEL)	6 m	9 m
50 mbar (SEI)	13 m	19 m
20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)	29 m	44 m

N/A : Non atteint

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 29 : Distances de sortie des limites de propriété – Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie – Enceinte éventée**

Seuil des effets de surpression	Distances de sortie des limites de propriété			
Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
300 mbar	N/A	N/A	N/A	N/A
200 mbar (SELS)	N/A	N/A	N/A	N/A
140 mbar (SEL)	N/A	N/A	N/A	N/A
50 mbar (SEI)	N/A	N/A	N/A	N/A
20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)	LIE : 4 m LSE : 20 m	LSE : 6 m	N/A	LIE : 5 m LSE : 20 m

N/A : Non atteint

Dans le cas de l'explosion du local de la chaudière gaz, le seuil des effets indirects par bris de verre (20 mbar) est susceptible d'être atteint en dehors des limites de propriétés, au nord, à l'ouest (prise en compte de la LIE), ainsi qu'à l'est (prise en compte de la LSE), dans le cas d'une enceinte correctement éventée.

#### 6.7.4. Évaluation de la gravité

La gravité du phénomène dangereux est présentée dans le tableau suivant.

**Tableau 30 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°6**

	Surface hors site	Nombre de personnes exposées	Gravité
Effets létaux significatifs	0	0	Modéré
Effets létaux	0	0	Modéré
Effets irréversibles	0	0	Modéré
Gravité retenue	<b>Modéré</b>		

*\*Pour l'évaluation de la gravité, seuls les seuils des 50 mbar (SEI), 140 mbar (SEL) et 200 mbar (SELS) sont évalués. Le seuil des 20 mbar (effets indirects par bris de verre) n'est pas pris en compte.*

#### 6.7.5. Probabilité d'occurrence

Le niveau de gravité attribué au phénomène dangereux n°6 étant **Modéré**, il n'implique pas d'obligation de réduction complémentaire du risque d'accident, sauf dans le cas où la probabilité d'occurrence du phénomène serait classée A « Évènement courant », ce qui paraît assez invraisemblable.

Le tableau suivant présente, à titre d'exemple, des mesures pouvant permettre de réduire la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux n°6.

**Tableau 31 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°6**

Causes	Mesures préconisées	Conséquence en cas d'échec de la mesure	Autre mesure préconisée
Défaillance mécanique	Contrôle <sup>1</sup> Débitmètre <sup>2</sup>	Dysfonctionnement des soupapes > Rejet massif de gaz naturel en surpression par les soupapes	Ventilation <sup>3</sup>
Usure			Indication zone ATEX <sup>4</sup>
Erreur humaine			

<sup>1</sup> Actions de contrôle d'étanchéité, de purge, etc., dans la procédure de mise en service/arrêt de la chaudière

<sup>2</sup> Détection du débit de gaz sortant par les soupapes

<sup>3</sup> Actions de balayage de l'air lors de la séquence de mise en service de la chaudière

<sup>4</sup> Information du personnel et signalétique indiquant le caractère ATEX de la zone en cas de dysfonctionnement des soupapes

Une liste plus détaillée de mesures de sécurité est proposée en Annexe 10.2 de ce rapport.

La classe de probabilité d'occurrence retenue pour le PhD n°6 est E (évènement extrêmement peu probable).

## 6.8.PhD n°7 : Explosion secondaire (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie

### 6.8.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé une explosion secondaire déconfinée (UVCE), suite à un VCE du local de la chaudière gaz, en raison d'une fuite sur une canalisation située à l'intérieur de ce local.

L'explosion a été modélisée sur la base des éléments suivants :

- Longueur de la canalisation : 13,2 m
- Diamètre interne de la canalisation : 100 mm
- Débit de gaz : 650 m<sup>3</sup>/h (soit 0,12 kg/s)
- Nature du gaz : Gaz naturel (assimilé à du méthane)
- Hauteur de la canalisation aérienne : 1 m
- Température dans la canalisation : 20 °C
- Pression de service dans la canalisation : 0,3 bar

### 6.8.2. Distances d'effet

L'énergie d'explosion est calculée avec l'équation de Brode (cf. 5.3) en considérant la surpression maximale atteinte dans le cas d'une explosion d'indice Multi-Energie 6 (0,5 bar), soit E = 7,39 MJ (prise en compte de la LIE).

Les distances maximales d'effet de l'onde de surpression sont estimés avec les abaques de la méthode Multi-Energy niveau 6 (cf. 5.4) et sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 32 : Distances maximales d'effets – Explosion secondaire (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie**

Seuil des effets de surpression	Distance d'effet à partir du centre de l'enceinte
Limite d'explosivité considérée	LIE (4,4 %vol)
<b>300 mbar</b>	6 m
<b>200 mbar (SELS)</b>	8 m
<b>140 mbar (SEL)</b>	10 m
<b>50 mbar (SEI)</b>	21 m
<b>20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)</b>	49 m

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 33 : Distances de sortie des limites de propriété – Explosion secondaire (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie**

Seuil des effets de surpression	Distances de sortie des limites de propriété			
Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
300 mbar	N/A	N/A	N/A	N/A
200 mbar (SELS)	N/A	N/A	N/A	N/A
140 mbar (SEL)	N/A	N/A	N/A	N/A
50 mbar (SEI)	N/A	N/A	N/A	N/A
20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)	22 m	9 m	N/A	24 m

N/A : Non atteint

Dans le cas de l'explosion secondaire du local de la chaudière gaz, le seuil des effets indirects par bris de verre (20 mbar) est susceptible d'être atteint en dehors des limites de propriétés, au nord, à l'ouest, ainsi qu'à l'est.

### 6.8.3. Évaluation de la gravité

La gravité du phénomène dangereux est présentée dans le tableau suivant.

**Tableau 34 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°7**

	Surface hors site	Nombre de personnes exposées	Gravité
Effets létaux significatifs	0	0	Modéré
Effets létaux	0	0	Modéré
Effets irréversibles	0	0	Modéré
Gravité retenue	<b>Modéré</b>		

\*Pour l'évaluation de la gravité, seuls les seuils des 50 mbar (SEI), 140 mbar (SEL) et 200 mbar (SELS) sont évalués. Le seuil des 20 mbar (effets indirects par bris de verre) n'est pas pris en compte.

### 6.8.4. Probabilité d'occurrence

Le niveau de gravité attribué au phénomène dangereux n°7 étant **Modéré**, il n'implique pas d'obligation de réduction complémentaire du risque d'accident, sauf dans le cas où la probabilité d'occurrence du phénomène serait classée A « Évènement courant », ce qui paraît assez invraisemblable.

Le tableau suivant présente, à titre d'exemple, des mesures pouvant permettre de réduire la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux n°7.

**Tableau 35 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°7**

Causes	Mesures préconisées	Conséquence en cas d'échec de la mesure	Autre mesure préconisée
Défaillance mécanique	Contrôle <sup>1</sup> Débitmètre <sup>2</sup>	Disfonctionnement des soupapes > Rejet massif de gaz naturel en surpression par les soupapes	Ventilation <sup>3</sup>
Usure			Indication zone ATEX <sup>4</sup>
Erreur humaine			

<sup>1</sup> Actions de contrôle d'étanchéité, de purge, etc., dans la procédure de mise en service/arrêt de la chaudière

<sup>2</sup> Détection du débit de gaz sortant par les soupapes

<sup>3</sup> Actions de balayage de l'air lors de la séquence de mise en service de la chaudière

<sup>4</sup> Information du personnel et signalétique indiquant le caractère ATEX de la zone en cas de disfonctionnement des soupapes

Une liste plus détaillée de mesures de sécurité est proposée en Annexe 10.2 de ce rapport.

La classe de probabilité d'occurrence retenue pour le PhD n°7 est E (événement extrêmement peu probable).

## 6.9.PhD n°8 : Explosion de la chambre de combustion de la chaudière gaz

### 6.9.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé l'accumulation de gaz ou vapeurs inflammables dans la chambre à combustion avant redémarrage. Lors du démarrage de la chaudière, ce scénario conduit à l'explosion de la chambre de combustion.

L'explosion de la chaudière gaz a été modélisée sur la base des éléments suivants :

- Volume de la chaudière : 5 m<sup>3</sup> ;
- Nature du gaz : gaz naturel assimilé à du méthane de façon majorante ;
- Pression de rupture : 1 barg (valeur pour une chaudière type tubes de fumées)<sup>14</sup>.

### 6.9.2. Distances d'effets

L'énergie d'explosion est calculée avec l'équation de Brode (cf. 5.3), soit E = 1,6 MJ.

Les distances maximales d'effet de l'onde de surpression sont estimés avec les abaques de la méthode Multi-Energy niveau 10 (cf. 5.4) et sont présentées dans le tableau suivant. Les résultats sont arrondis à l'entier supérieur.

**Tableau 36 : Distances maximales d'effet – Explosion chambre de combustion – chaudière gaz**

Seuil des effets de surpression	Distance d'effet à partir du centre de l'enceinte
300 mbar	N/A
200 mbar (SELS)	4 m
140 mbar (SEL)	6 m
50 mbar (SEI)	13 m
20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)	26 m

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 37 : Distances de sortie des limites de propriété – Explosion chambre de combustion – chaudière gaz**

Seuil des effets de surpression	Distances de sortie des limites de propriété			
Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
300 mbar	N/A	N/A	N/A	N/A
200 mbar (SELS)	N/A	N/A	N/A	N/A
140 mbar (SEL)	N/A	N/A	N/A	N/A
50 mbar (SEI)	N/A	N/A	N/A	N/A
20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)	N/A	N/A	N/A	3 m

N/A : Non atteint

**Dans le cas de l'explosion de la chambre de combustion de la chaudière gaz, le seuil des effets indirects par bris de verre (20 mbar) est susceptible d'être atteint à l'ouest en dehors des limites de propriété.**

<sup>14</sup> INERIS, « Guide pour la prise en compte des chaudières industrielles dans la rédaction d'une étude de dangers » (2016)



### 6.9.1. Évaluation de la gravité

La gravité du phénomène dangereux est présentée dans le tableau suivant.

**Tableau 38 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°8**

	Surface hors site	Nombre de personnes exposées	Gravité
Effets létaux significatifs	0	0	Modéré
Effets létaux	0	0	Modéré
Effets irréversibles	0	0	Modéré
Gravité retenue	<b>Modéré</b>		

*\*Pour l'évaluation de la gravité, seuls les seuils des 50 mbar (SEI), 140 mbar (SEL) et 200 mbar (SELS) sont évalués. Le seuil des 20 mbar (effets indirects par bris de verre) n'est pas pris en compte.*

### 6.9.2. Probabilité d'occurrence

Le niveau de gravité attribué au phénomène dangereux n°8 étant **Modéré**, il n'implique pas d'obligation de réduction complémentaire du risque d'accident, sauf dans le cas où la probabilité d'occurrence du phénomène serait classée A « Évènement courant », ce qui paraît assez invraisemblable.

Le tableau suivant présente, à titre d'exemple, des mesures pouvant permettre de réduire la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux n°8.

**Tableau 39 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°8**

Causes	Mesures préconisées	Conséquence en cas d'échec de la mesure	Autre mesure préconisée
Excès ou défaut de comburant	Capteur atmosphérique <sup>1</sup>	Arrêt de la chaudière suite à une perte/absence de flamme > Accumulation de gaz/CO	Détecteur de flamme <sup>5</sup>
Excès ou défaut de combustible	Capteur atmosphérique <sup>1</sup> Capteur de pression <sup>2</sup>		Thermomètre <sup>6</sup>
Fuite sur une buse d'alimentation de gaz, en phase d'arrêt de la chaudière	Contrôle <sup>3</sup> Ventilation <sup>4</sup>	> Accumulation de gaz/CO	
Débit faible/nul d'extraction des fumées de combustion	Ventilation <sup>4</sup>	> Accumulation de gaz/CO	

<sup>1</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur le rapport air/combustible dans la chambre de combustion

<sup>2</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur la pression d'entrée du combustible en chambre de combustion

<sup>3</sup> Actions de contrôle d'étanchéité, de purge, etc., dans la procédure de mise en service/arrêt de la chaudière

<sup>4</sup> Actions de balayage de l'air lors de la séquence de mise en service de la chaudière

<sup>5</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur la présence de la flamme dans la chambre de combustion

<sup>6</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur la présence de la flamme dans la chambre d'alimentation

Une liste plus détaillée de mesures de sécurité est proposée en Annexe 10.2 de ce rapport.

La classe de probabilité d'occurrence retenue pour le PhD n°8 est E (évènement extrêmement peu probable).

## 6.10. PhD n°9 : BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière gaz

### 6.10.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé une surpression dans la capacité d'eau (calandre pour les chaudières à tubes de fumées). Ce scénario conduit à un BLEVE de la capacité d'eau.

Le BLEVE de la capacité d'eau a été modélisé sur la base des éléments suivants :

- Volume de la capacité : 7 m<sup>3</sup> ;
- La capacité est entièrement occupée par de la vapeur d'eau ;
- Pression de tarage des soupapes : 10,5 bar.

### 6.10.2. Distances d'effets

L'énergie d'explosion est calculée avec l'équation de Brode (cf. 5.3), soit E = 1,6 MJ.

Les distances maximales d'effet de l'onde de surpression sont estimés avec les abaques de la méthode Multi-Energy niveau 10 (cf. 5.4) et sont présentées dans le tableau suivant. Les résultats sont arrondis à l'entier supérieur.

**Tableau 40 : Distances maximales d'effet – BLEVE capacité d'eau – chaudière gaz**

Seuil des effets de surpression		Distance d'effet à partir du centre de l'enceinte
	<b>300 mbar</b>	N/A
<b>SELS</b>	<b>200 mbar</b>	10 m
<b>SEL</b>	<b>140 mbar</b>	14 m
<b>SEI</b>	<b>50 mbar</b>	32 m
<b>Effets indirects</b>	<b>20 mbar</b>	64 m

N/A : Non atteint

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 41 : Distances de sortie des limites de propriété – BLEVE capacité d'eau – chaudière gaz**

Seuil des effets de surpression	Distances de sortie des limites de propriété			
	Nord	Est	Sud	Ouest
<b>300 mbar</b>	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>200 mbar (SELS)</b>	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>140 mbar (SEL)</b>	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>50 mbar (SEI)</b>	5 m	N/A	N/A	8 m
<b>20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)</b>	38 m	23 m	N/A	39 m

N/A : Non atteint

Dans le cas du BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière gaz, les seuils des effets indirects par bris de verre (20 mbar) et des effets irréversibles (50 mbar) sont susceptibles d'être atteints au nord, à l'ouest, ainsi qu'à l'est, en dehors des limites de propriété.

### 6.10.3. Évaluation de la gravité

La gravité du phénomène dangereux est présentée dans le tableau suivant.

**Tableau 42 : Évaluation de la gravité du scénario – PhD n°9**

	Surface hors site	Nombre de personnes exposées	Gravité
Effets létaux significatifs	0	0	Modéré
Effets létaux	0	0	Modéré
Effets irréversibles	- 0,04 ha d'espaces verts à l'ouest - 30 m de route au nord (2 voies)	9	Sérieux
Gravité retenue	<b>Sérieux</b>		

\*Pour l'évaluation de la gravité, seuls les seuils des 50 mbar (SEI), 140 mbar (SEL) et 200 mbar (SELS) sont évalués. Le seuil des 20 mbar (effets indirects par bris de verre) n'est pas pris en compte.

### 6.10.4. Probabilité d'occurrence

Le niveau de gravité attribué au phénomène dangereux n°9 étant **Sérieux**, il n'implique pas d'obligation de réduction complémentaire du risque d'accident, sauf dans le cas où la probabilité d'occurrence du phénomène serait classée B « Évènement courant » ou C « Évènement improbable », ce qui paraît assez invraisemblable.

Le tableau suivant présente, à titre d'exemple, des mesures pouvant permettre de réduire la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux n°9.

**Tableau 43 : Mesures de réduction de la probabilité d'occurrence – PhD n°9**

Causes	Mesures préconisées	Conséquence en cas d'échec de la mesure	Autre mesure préconisée
Excès ou défaut de comburant	Capteur atmosphérique <sup>1</sup>	Arrêt de la chaudière suite à une perte/absence de flamme > Accumulation de gaz/CO	Détecteur de flamme <sup>5</sup>
Excès ou défaut de combustible	Capteur atmosphérique <sup>1</sup> Capteur de pression <sup>2</sup>		Thermomètre <sup>6</sup>
Fuite sur une buse d'alimentation de gaz, en phase d'arrêt de la chaudière	Contrôle <sup>3</sup> Ventilation <sup>4</sup>	> Accumulation de gaz/CO	
Débit faible/nul d'extraction des fumées de combustion	Ventilation <sup>4</sup>	> Accumulation de gaz/CO	

<sup>1</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur le rapport air/combustible dans la chambre de combustion

<sup>2</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur la pression d'entrée du combustible en chambre de combustion

<sup>3</sup> Actions de contrôle d'étanchéité, de purge, etc., dans la procédure de mise en service/arrêt de la chaudière

<sup>4</sup> Actions de balayage de l'air lors de la séquence de mise en service de la chaudière

<sup>5</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur la présence de la flamme dans la chambre de combustion

<sup>6</sup> Asservissement de l'alimentation en combustible sur la présence de la flamme dans la chambre d'alimentation

Une liste plus détaillée de mesures de sécurité est proposée en Annexe 10.2 de ce rapport.

La classe de probabilité d'occurrence retenue pour le PhD n°9 est E (évènement extrêmement peu probable).

## 6.11. PhD n°10 : Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie

### 6.11.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé la perte de confinement sur une tuyauterie aérienne de gaz à l'extérieur de la chaufferie. En présence d'une source d'inflammation, ce scénario conduit à un feu torche.

La modélisation a été réalisée sur le logiciel PHAST® v9.1, sur la base des éléments suivants :

- Nature du gaz : gaz naturel assimilé à du méthane (majorant) ;
- Distance entre les vannes et le poste GRDF : 25 m ;
- Diamètre interne de la canalisation : 100 mm ;
- Débit de gaz : 650 m<sup>3</sup>/h (soit 0,12 kg/s) ;
- Hauteur de la canalisation aérienne : 1 m ;
- Température dans la canalisation : 20 °C ;
- Pression de service dans la canalisation : 0,3 bar ;
- Conditions météorologiques : F3 (très stable) et D5 (neutre) ;
- Indice Multi-Energy : 5 (gaz réactif en milieu non confiné et non encombré).

### 6.11.2. Distances d'effet

Les distances maximales d'effets thermiques sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 44 : Distances maximales d'effets thermiques – Feu torche – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure**

Diamètre de la brèche	Conditions météorologiques	Distance par rapport au bord du foyer atteinte à hauteur d'Homme (m)		
		SEI (3 kW/m <sup>2</sup> )	SEL (5 kW/m <sup>2</sup> )	SELS (8 kW/m <sup>2</sup> )
30 mm	D5	6 m	5 m	5 m
	F3	6 m	5 m	5 m
100 mm (rupture guillotine)	D5	11 m	11 m	11 m
	F3	11 m	11 m	10 m

N/A : Non atteint

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 45 : Distances de sortie des limites de propriété – Feu torche – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure**

Diamètre de la brèche	Conditions météorologiques	Seuil des effets thermiques	Distances de sortie des limites de propriété			
		Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
30 mm	D5	SEI (3 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL (5 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SELS (8 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
	F3	SEI (3 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL (5 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SELS (8 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
100 mm (rupture guillotine)	D5	SEI (3 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL (5 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SELS (8 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
	F3	SEI (3 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL (5 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A
		SELS (8 kW/m <sup>2</sup> )	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A : Non atteint

Dans le cas d'un Feu torche sur une canalisation à l'extérieur du local de la chaudière gaz, aucun seuil réglementaire n'est atteint en dehors des limites de propriété.

## 6.12. PhD n°11 : Flash fire – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie

### 6.12.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé la perte de confinement sur une tuyauterie aérienne de gaz à l'extérieur de la chaufferie. En présence d'une source d'inflammation, ce scénario conduit à un feu torche.

La modélisation a été réalisée sur le logiciel PHAST® v9.1, sur la base des éléments suivants :

- Nature du gaz : gaz naturel assimilé à du méthane (majorant) ;
- Distance entre les vannes et le poste GRDF : 25 m ;
- Diamètre interne de la canalisation : 100 mm ;
- Débit de gaz : 650 m<sup>3</sup>/h (soit 0,12 kg/s) ;
- Hauteur de la canalisation aérienne : 1 m ;
- Température dans la canalisation : 20 °C ;
- Pression de service dans la canalisation : 0,3 bar ;
- Conditions météorologiques : F3 (très stable) et D5 (neutre) ;
- Indice Multi-Energy : 5 (gaz réactif en milieu non confiné et non encombré).

### 6.12.2. Distances d'effet

Les distances maximales d'effets thermiques sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 46 : Distances maximales d'effets thermiques – Flash fire – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure**

Diamètre de la brèche	Conditions météorologiques	Distance par rapport au bord du foyer atteinte à hauteur d'Homme (m)	
		SEI (1,1 x LII)	SEL / SELs (LII)
30 mm	D5	N/A	N/A
	F3	N/A	N/A
100 mm (rupture guillotine)	D5	N/A	N/A
	F3	N/A	N/A

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 47 : Distances de sortie des limites de propriété – Flash fire – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure**

Diamètre de la brèche	Conditions météorologiques	Seuil des effets thermiques	Distances de sortie des limites de propriété			
		Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
30 mm	D5	SEI (1,1 x LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL / SELs (LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
	F3	SEI (1,1 x LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL / SELs (LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
100 mm (rupture guillotine)	D5	SEI (1,1 x LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL / SELs (LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
	F3	SEI (1,1 x LII)	N/A	N/A	N/A	N/A
		SEL / SELs (LII)	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A : Non atteint

Dans le cas d'un Flash fire sur une canalisation à l'extérieur du local de la chaudière gaz, aucun seuil réglementaire n'est atteint en dehors des limites de propriété.

## 6.13. PhD n°12 : Explosion (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie

### 6.13.1. Paramètres de modélisation

Il est modélisé une explosion secondaire déconfinée (UVCE), suite à un VCE du local de la chaudière gaz, en raison d'une fuite sur une canalisation située à l'intérieur de ce local.

L'explosion a été modélisée sur la base des éléments suivants :

- Longueur de la canalisation : 13,2 m
- Diamètre interne de la canalisation : 100 mm
- Débit de gaz : 650 m<sup>3</sup>/h (soit 0,12 kg/s)
- Nature du gaz : Gaz naturel (assimilé à du méthane)
- Hauteur de la canalisation aérienne : 1 m
- Température dans la canalisation : 20 °C
- Pression de service dans la canalisation : 0,3 bar

### 6.13.2. Distances d'effet

Les résultats des modélisations arrondis à l'entier supérieur sont présentés dans le tableau suivant.

**Tableau 48 : Distances maximales d'effets – Explosion – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure**

Seuil des effets de surpression	Brèche 100 mm		Brèche 25 mm	
	3F	5D	3F	5D
<b>300 mbar</b>	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>200 mbar (SELS)</b>	2 m	2 m	2 m	2 m
<b>140 mbar (SEL)</b>	2 m	2 m	2 m	2 m
<b>50 mbar (SEI)</b>	4 m	4 m	4 m	4 m
<b>20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)</b>	8 m	8 m	7 m	7 m

N/A : Non atteint

Les distances de sortie des limites de propriété, pour les différents seuils, sont présentées dans le tableau suivant.



**Tableau 49 : Distances de sortie des limites de propriété – Explosion – Fuite de gaz sur une canalisation extérieure**

Seuil des effets de surpression	Distances de sortie des limites de propriété			
Direction	Nord	Est	Sud	Ouest
300 mbar	N/A	N/A	N/A	N/A
200 mbar (SELS)	N/A	N/A	N/A	N/A
140 mbar (SEL)	N/A	N/A	N/A	N/A
50 mbar (SEI)	N/A	N/A	N/A	N/A
20 mbar (seuil des effets indirects – bris de verre)	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A : Non atteint

Dans le cas de l'explosion non confinée d'un nuage de gaz à l'extérieur de la chaufferie, aucun seuil réglementaire n'est atteint en dehors des limites de propriétés.

## 7. Matrice de maîtrise des risques

Le tableau ci-dessous récapitule le classement gravité/probabilité d'occurrence pour les phénomènes dangereux dont les effets sortent des limites de propriété.

**Tableau 50 : Matrice de maîtrise des risques (circulaire du 10 mai 2010) – classement des phénomènes dangereux étudiés**

Gravité des conséquences	Probabilité d'occurrence (sens croissant de E vers A) <sup>1</sup>				
	E	D	C	B	A
<b>Désastreux</b>	Non partiel (sites nouveaux) MMR rang 2 (sites existants)	NON Rang 1	NON Rang 2	NON Rang 3	NON Rang 4
<b>Catastrophique</b>	MMR rang 1 <b>PhD n°3</b>	MMR rang 2	NON Rang 1	NON Rang 2	NON Rang 3
<b>Important</b>	MMR rang 1 <b>PhD n°2</b>	MMR rang 1	MMR rang 2	NON Rang 1	NON Rang 2
<b>Sérieux</b>	<b>PhD N°9</b>		MMR rang 1	MMR rang 2	NON Rang 1
<b>Modéré</b>	<b>PhD n°1</b> <b>PhD n°6</b> <b>PhD n°7</b> <b>PhD n°8</b>				MMR rang 1

**Accident majeur inacceptable (Zone rouge) :** il convient de mettre en place des mesures supplémentaires de réduction du risque qui permettront de sortir de la zone inacceptable ;

**Accident majeur acceptable (Zone orange) :** il convient de vérifier que l'exploitant a analysé toutes les mesures de maîtrise des risques (MMR) envisageables en vue d'atteindre, dans des conditions économiques acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation ;

**Accident majeur acceptable (Zone verte) :** cela n'implique pas d'obligation de réduction complémentaire du risque d'accident au titre des installations classées.

**La probabilité d'occurrence de l'ensemble des phénomènes dangereux étudiés peut être considérée comme étant de classe E (événement extrêmement peu probable).**

- ➔ Les phénomènes dangereux **n°1, n°6, n°7, n°8 et n°9** sont classés comme acceptables.
- ➔ Les phénomènes dangereux **n°2 et n°3** sont classés comme acceptables, à condition de présenter l'ensemble de mesures prévues permettant d'atteindre un niveau de risque le plus bas possible.

## 8. Récapitulatif des résultats

**Tableau 51 : Bilan des résultats de l'étude**

Phénomène dangereux	Installation/Équipement concerné	Seuils d'effets sortant du site et distance maximale	Niveau de gravité	Probabilité d'occurrence	Classement sur la matrice MMR
PhD n°1 : Explosion de la chambre de combustion de la chaudière biomasse	Chaudière biomasse	20 mbar : 25 m	Modéré	E	Acceptable
PhD n°2 : BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière biomasse	Chaudière biomasse	20 mbar : 132 m 50 mbar : 29 m 140 mbar : 11 m 200 mbar : 4 m	Important	E	Acceptable – MMR Rang 1*
PhD n°3 : Éclatement de la capacité d'eau de la chaudière biomasse	Chaudière biomasse	20 mbar : 166 m 50 mbar : 72 m 140 mbar : 21 m 200 mbar : 12 m 300 mbar : 4 m	Catastrophique	E	Acceptable – MMR Rang 1*
PhD n°4 : Jet Fire – Fuite de gaz sur canalisation intérieure	Canalisation de gaz à l'intérieur de la chaufferie	Aucun			
PhD n°5 : Flash fire – Fuite de gaz sur canalisation intérieure		Aucun			
PhD n°6 : Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur canalisation intérieure – Enceinte éventée		20 mbar : 20 m	Modéré	E	Acceptable
PhD n°7 : Explosion secondaire (UVCE) – Fuite de gaz sur canalisation intérieure		20 mbar : 24 m	Modéré	E	Acceptable
PhD n°8 : Explosion de la chambre de combustion de la chaudière gaz	Chaudière gaz	20 mbar : 3 m	Modéré	E	Acceptable
PhD n°9 : BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière gaz	Chaudière gaz	20 mbar : 39 m 50 mbar : 8 m	Sérieux	E	Acceptable
PhD n°10 : Jet Fire – Fuite de gaz sur canalisation extérieure	Canalisation de gaz à l'extérieur de la chaufferie	Aucun			
PhD n°11 : Flash Fire – Fuite de gaz sur canalisation extérieure		Aucun			
PhD n°12 : Explosion (UVCE) – Fuite de gaz sur canalisation extérieure		Aucun			

\*MMR – Rang 1 : il convient de vérifier que l'exploitant a analysé toutes les mesures de maîtrise des risques (MMR) envisageables en vue d'atteindre, dans des conditions économiques acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

## 9. Conclusion

Ce document présente les modélisations des phénomènes dangereux susceptibles de se produire au sein du futur site de la chaufferie biomasse Solev, qui se situera sur la commune Saint-Genis-Laval dans le département du Rhône [69].

Ce rapport fait état de la méthodologie mise en œuvre afin de réaliser cette prestation, ainsi que des résultats obtenus. Les résultats recherchés visaient les seuils de surpression et de flux thermiques et leur impact sur l'environnement proche des projets.

**L'analyse des flux thermiques et de surpression a démontré un risque d'atteinte des seuils réglementaires en dehors des limites de propriété pour plusieurs scénarios, à savoir :**

- Explosion de la chambre à combustion de la chaudière biomasse (PhD n°1) ;
- BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière biomasse (PhD n°2) ;
- Éclatement de la calandre de la chaudière biomasse (PhD n°3) ;
- Explosion du local de la chaudière gaz – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur du local de la chaudière gaz (PhD n°6) ;
- Explosion secondaire du local de la chaudière gaz – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur du local de la chaudière gaz (PhD n°7).
- Explosion de la chambre à combustion de la chaudière gaz (PhD n°8) ;
- BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière gaz (PhD n°9).

**Pour ces scénarios, la gravité a été évaluée :**

- PhD n°1 : Gravité Modérée ;
- PhD n°2 : Gravité Importante ;
- PhD n°3 : Gravité Catastrophique ;
- PhD n°6 : Gravité Modérée ;
- PhD n°7 : Gravité Modérée ;
- PhD n°8 : Gravité Modérée ;
- PhD n°9 : Gravité Sérieuse.

**Il est important de rappeler que l'ensemble des modélisations réalisées implique une succession d'hypothèses majorantes, considérant le non-fonctionnement de l'ensemble des barrières de sécurité actives (détecteurs, alarmes, etc.) et passives (murs béton, murs coupe-feu) ainsi que l'absence d'intervention humaine. Les méthodes de calcul des distances d'effets des différents phénomènes dangereux sont elles aussi majorantes.**

**De plus, l'occurrence des phénomènes dangereux étudiés peut être définie comme extrêmement peu probable, en particulier pour les scénarios de BLEVE et d'éclatement de calandre (gravités Importante et Catastrophique), pour lesquels l'accidentologie justifie clairement l'attribution d'une classe de probabilité E (événement extrêmement peu probable).**

**Les couples Gravité/Probabilité permettent de catégoriser les différents phénomènes dangereux étudiés comme étant des « Accidents majeurs acceptables », en raison de la liste des mesures de maîtrise des risques prévues pour le projet.**

**Les ERP présents à proximité du site (École maternelle, EHPAD et Mosquée) ne sont en aucun cas atteints par les seuils réglementaires de 50 mbar (SEI), 140 mbar (SEL) et 200 mbar (SELS), résultants de l'ensemble des phénomènes dangereux étudiés.**

**Il semble néanmoins pertinent d'élaborer un Porter À Connaissance (PAC) « Risques Technologiques », en raison de la nature du projet (nouvelle installation classée soumise à autorisation) et des effets de surpression sortant des limites de propriété du site.**

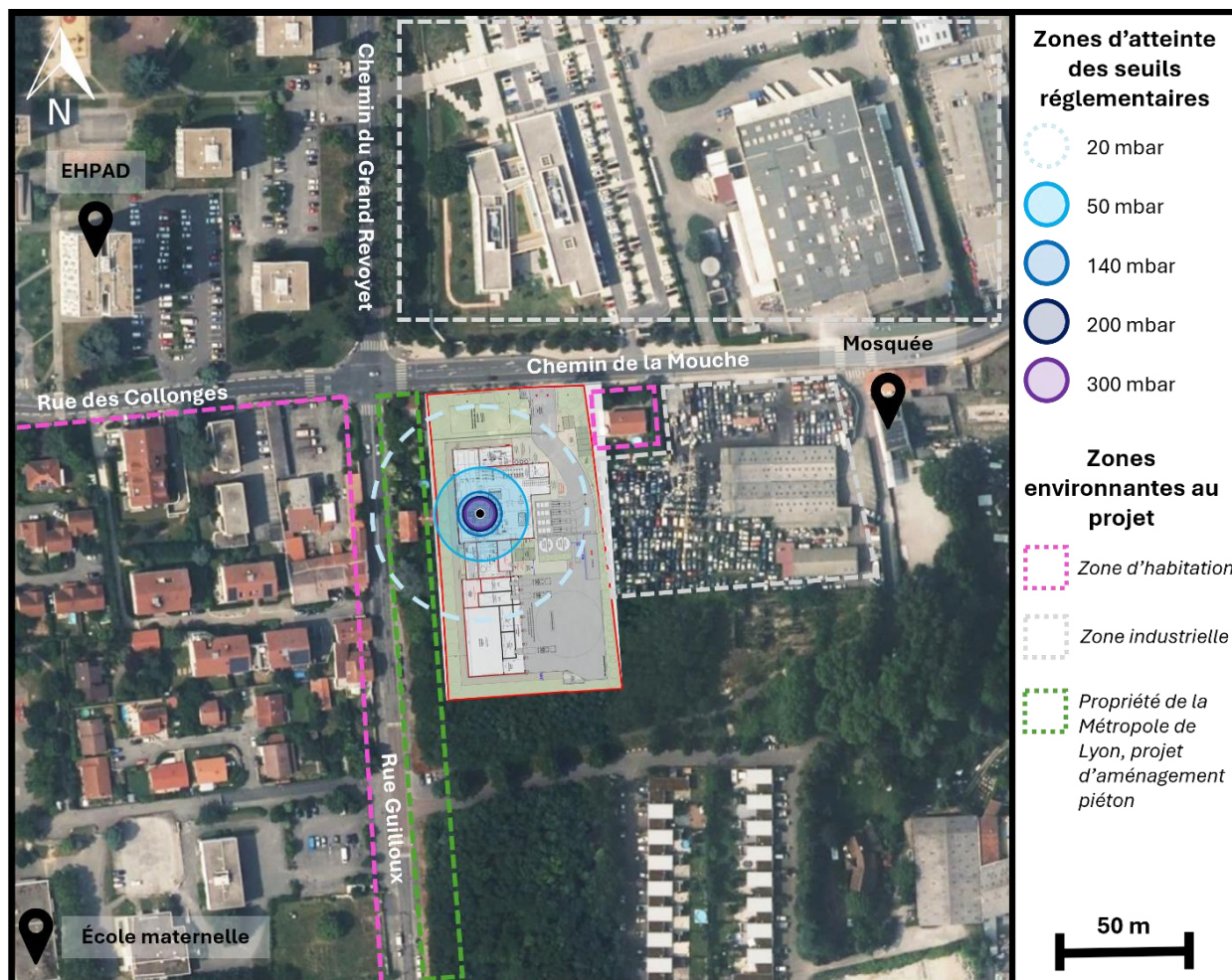
<b>INFORMATION IMPORTANTE</b>	<p>Ces résultats ne sont valables que pour les hypothèses de travail considérées et ne sont en aucun cas transposables à d'autres scénarios.</p> <p>L'appropriation et l'usage des résultats sont de la seule responsabilité de l'utilisateur.</p>
-----------------------------------	--

## 10. Annexes

### 10.1. Cartographie des effets pour les différents scénarios

Les figures suivantes sont fournies à titre purement illustratif.

Seules font foi les données des tableaux de résultats précédents.



**Figure 3 : Cartographie des effets - PhD n°1 - Explosion de la chambre de combustion de la chaudière biomasse déterminée avec la Limite Supérieure d'Explosivité (LSE)**



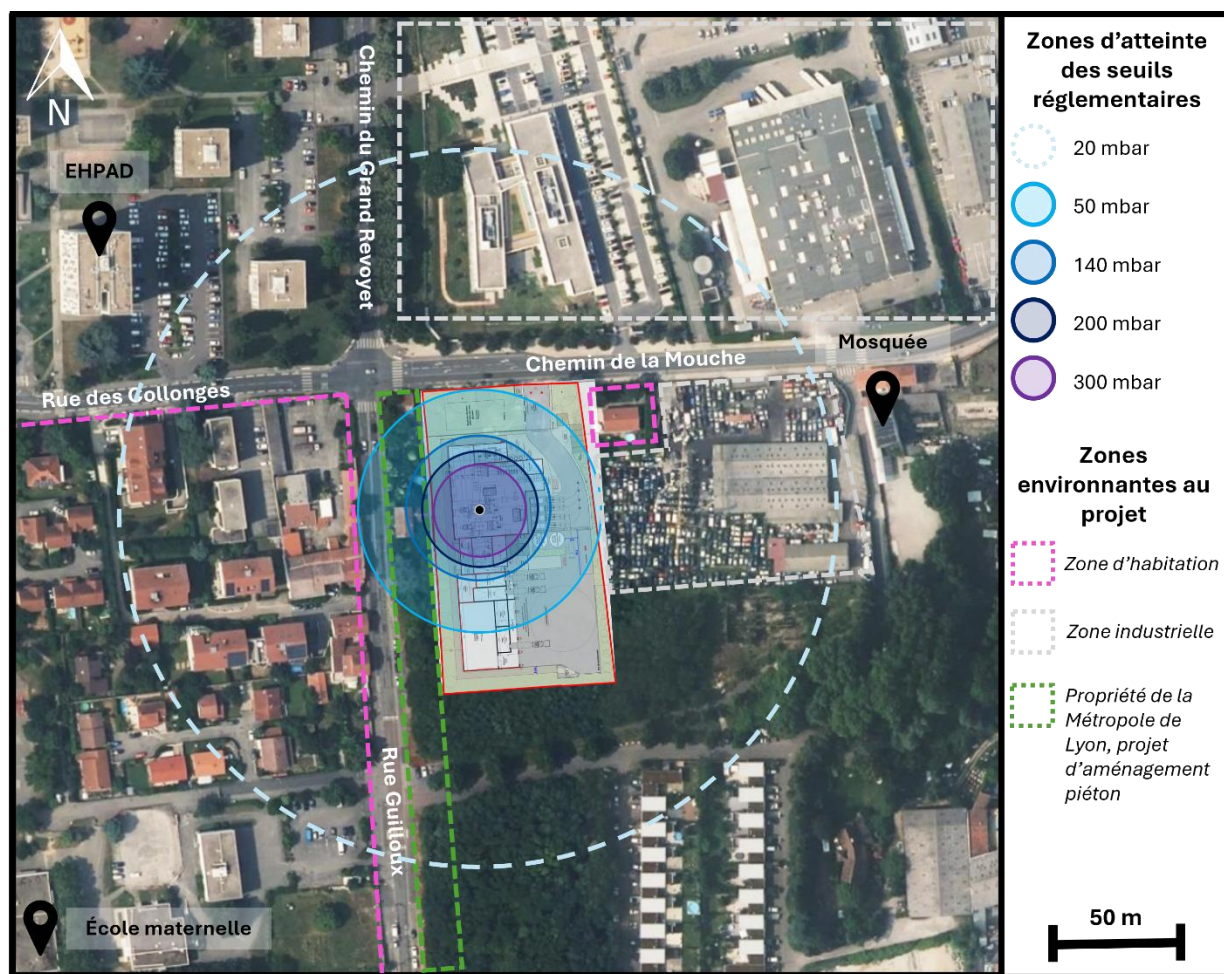


Figure 5: Cartographie des effets - PhD n°2 - BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière biomasse

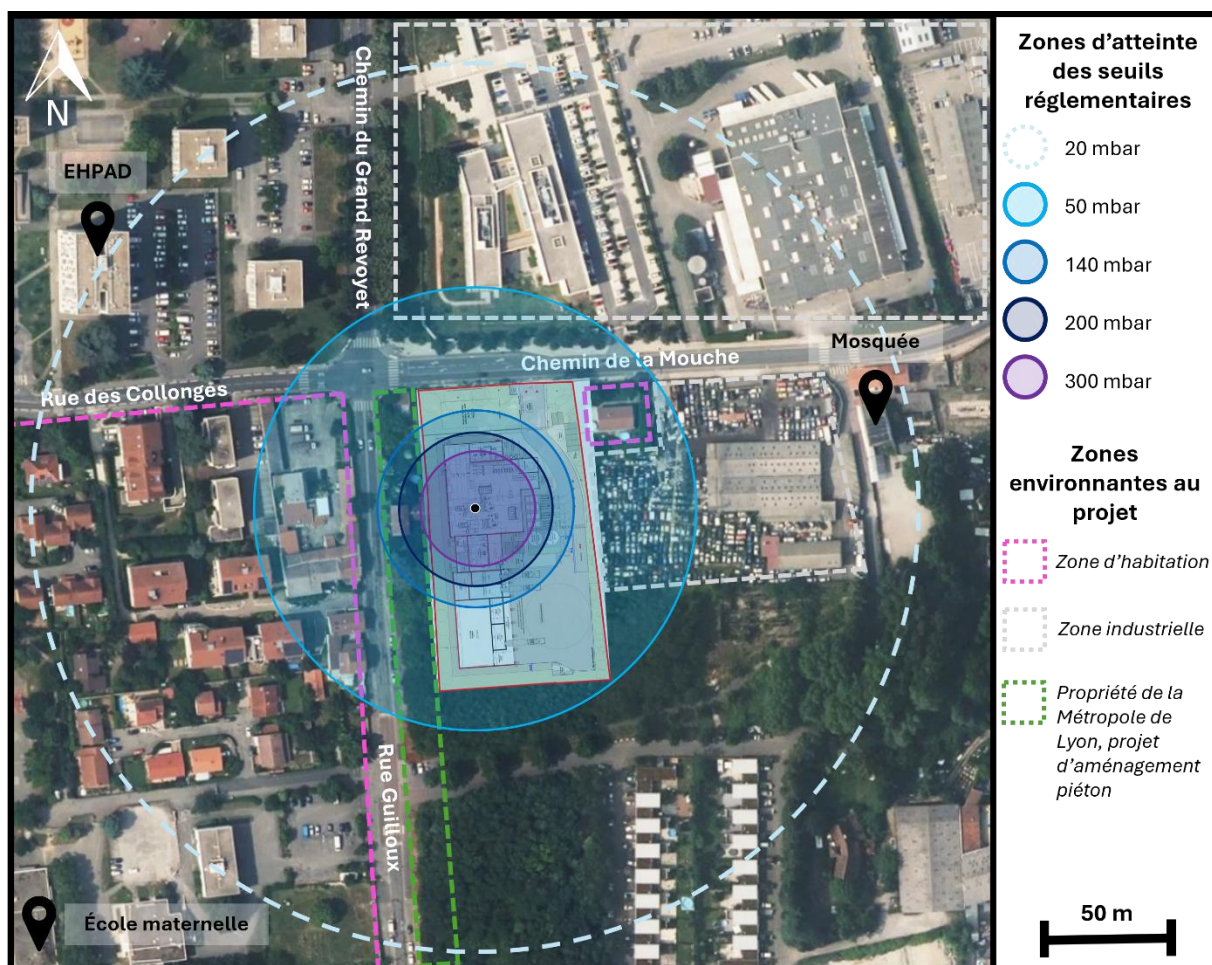


Figure 6 : Cartographie des effets - PhD n°3 – Éclatement de la calandre de la chaudière biomasse



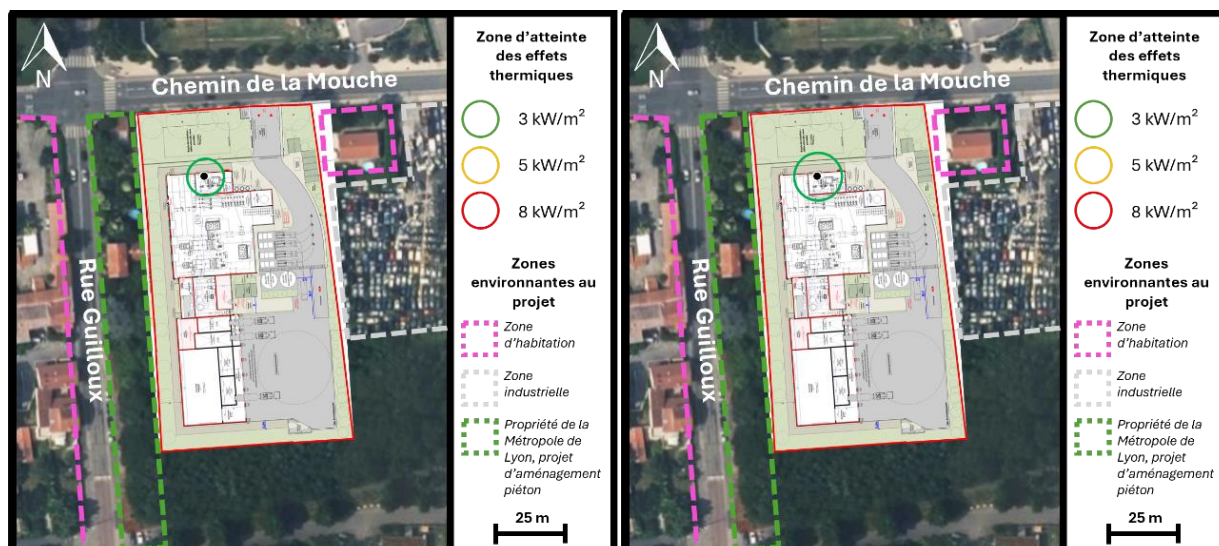


Figure 7 : Cartographie des effets - PhD n°4 - Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie – brèche de 30 mm (à gauche), brèche de 100 mm (à droite) – météo F3

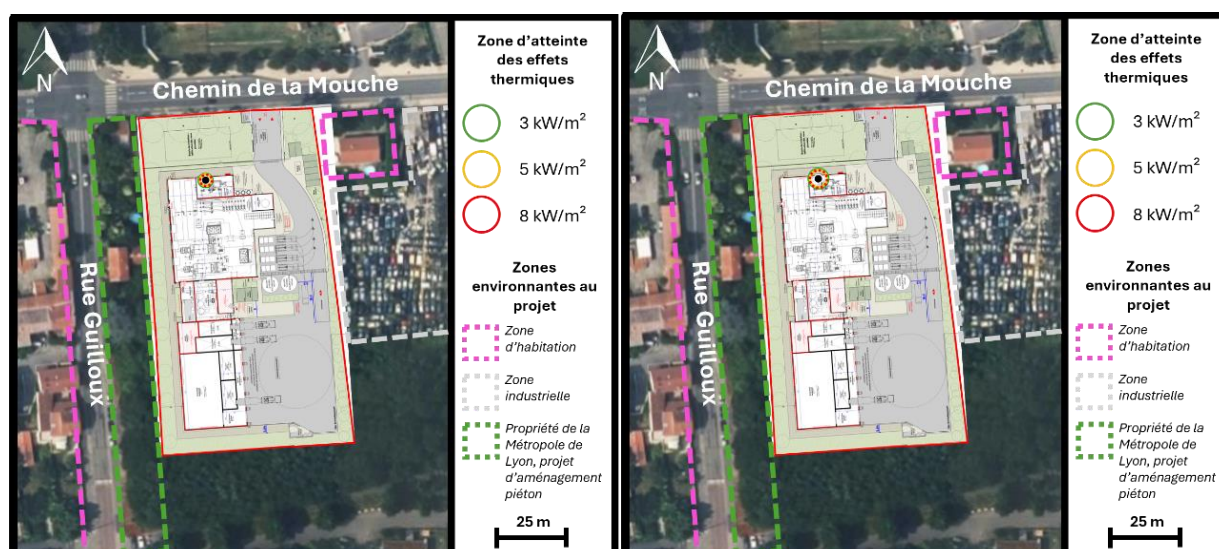


Figure 8 : Cartographie des effets - PhD n°5 – Flash fire – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie – brèche de 30 mm (à gauche), brèche de 100 mm (à droite) – météo F3

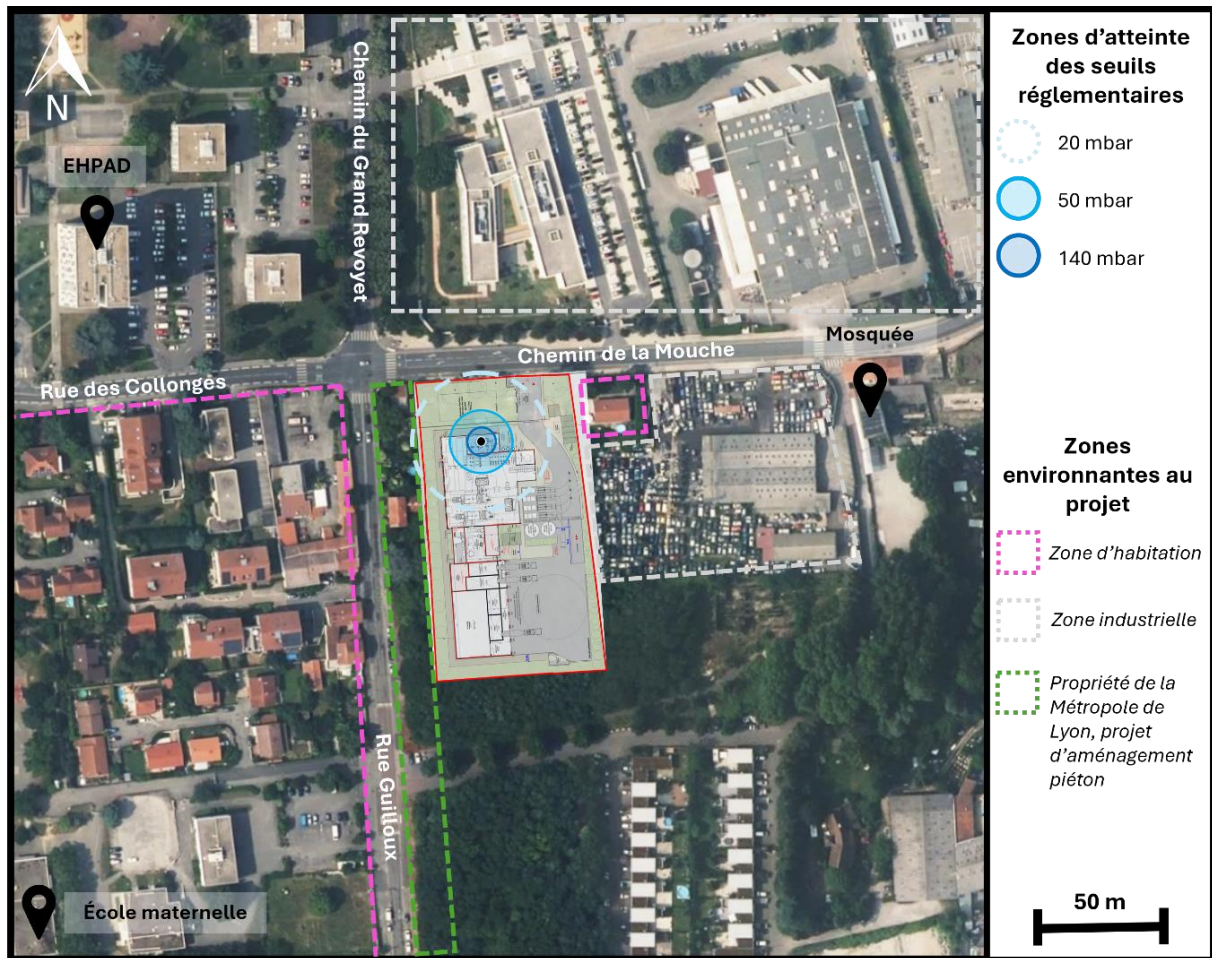


Figure 9 : Cartographie des effets - PhD n°6 – Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie déterminée avec la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE) – enceinte correctement éventée



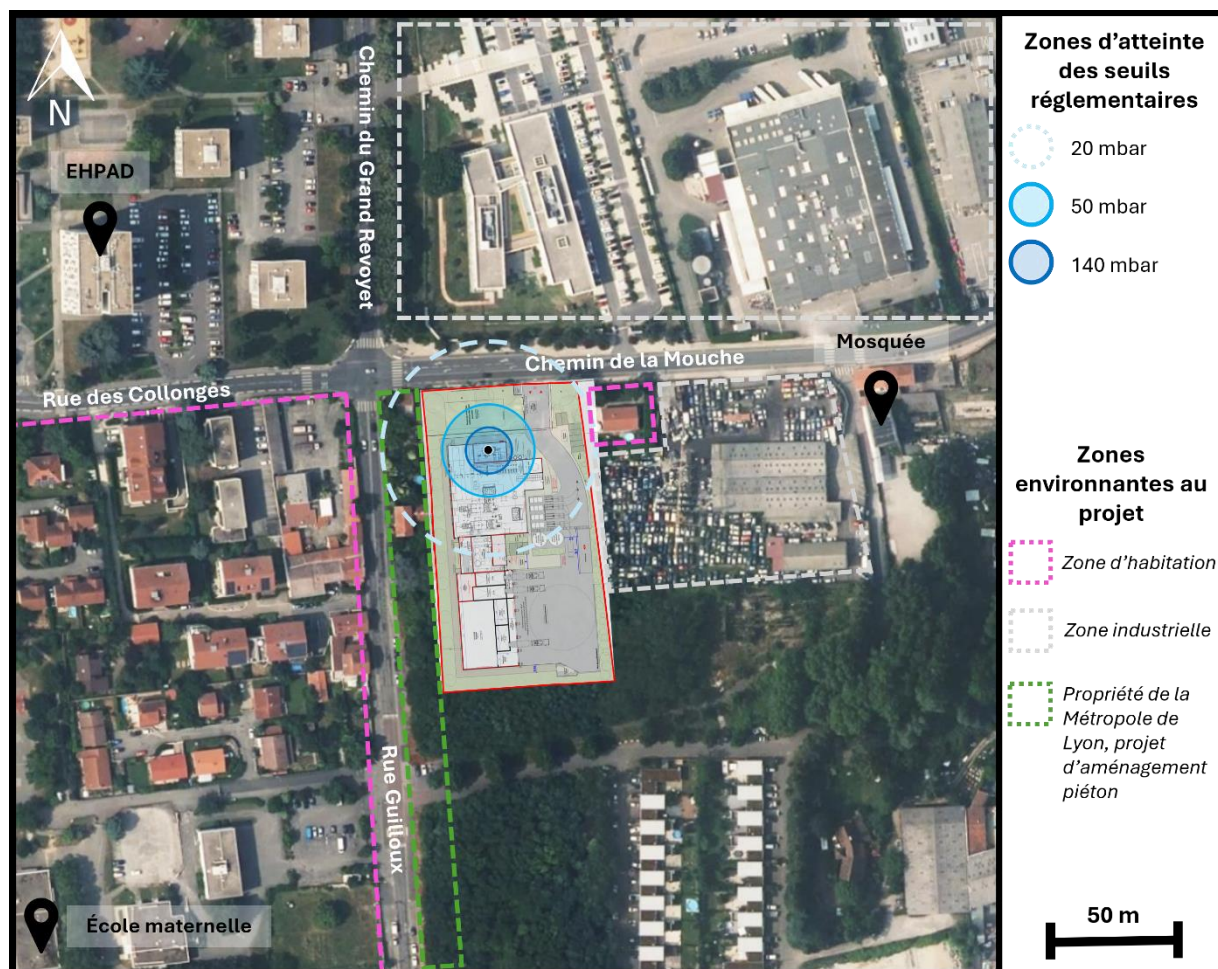


Figure 10 : Cartographie des effets - PhD n°6 – Explosion (VCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie déterminée avec la Limite Supérieure d'Explosivité (LSE) – enceinte correctement éventée

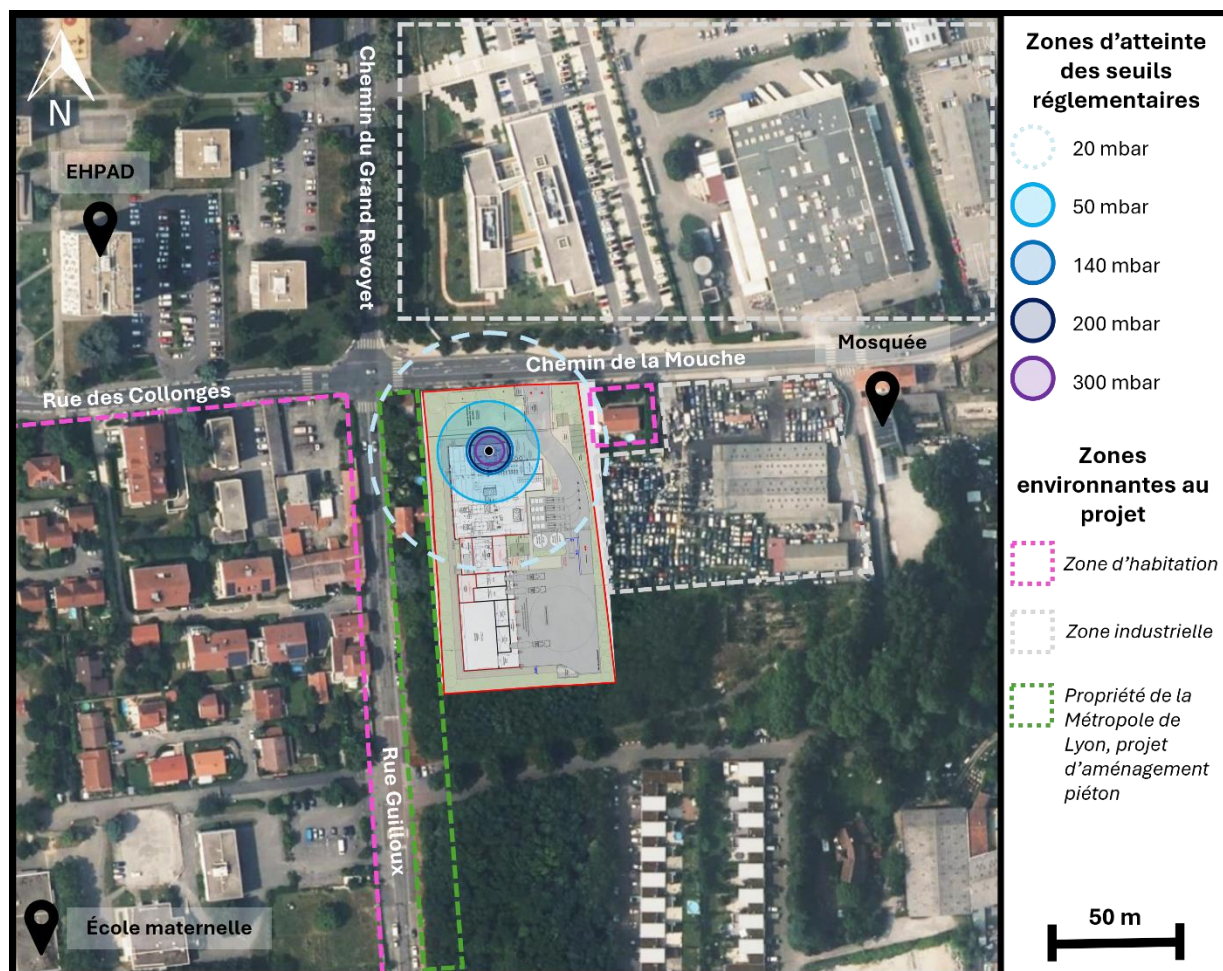


Figure 11 : Cartographie des effets – PhD n°7 – Explosion secondaire (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'intérieur de la chaufferie déterminée avec la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE)



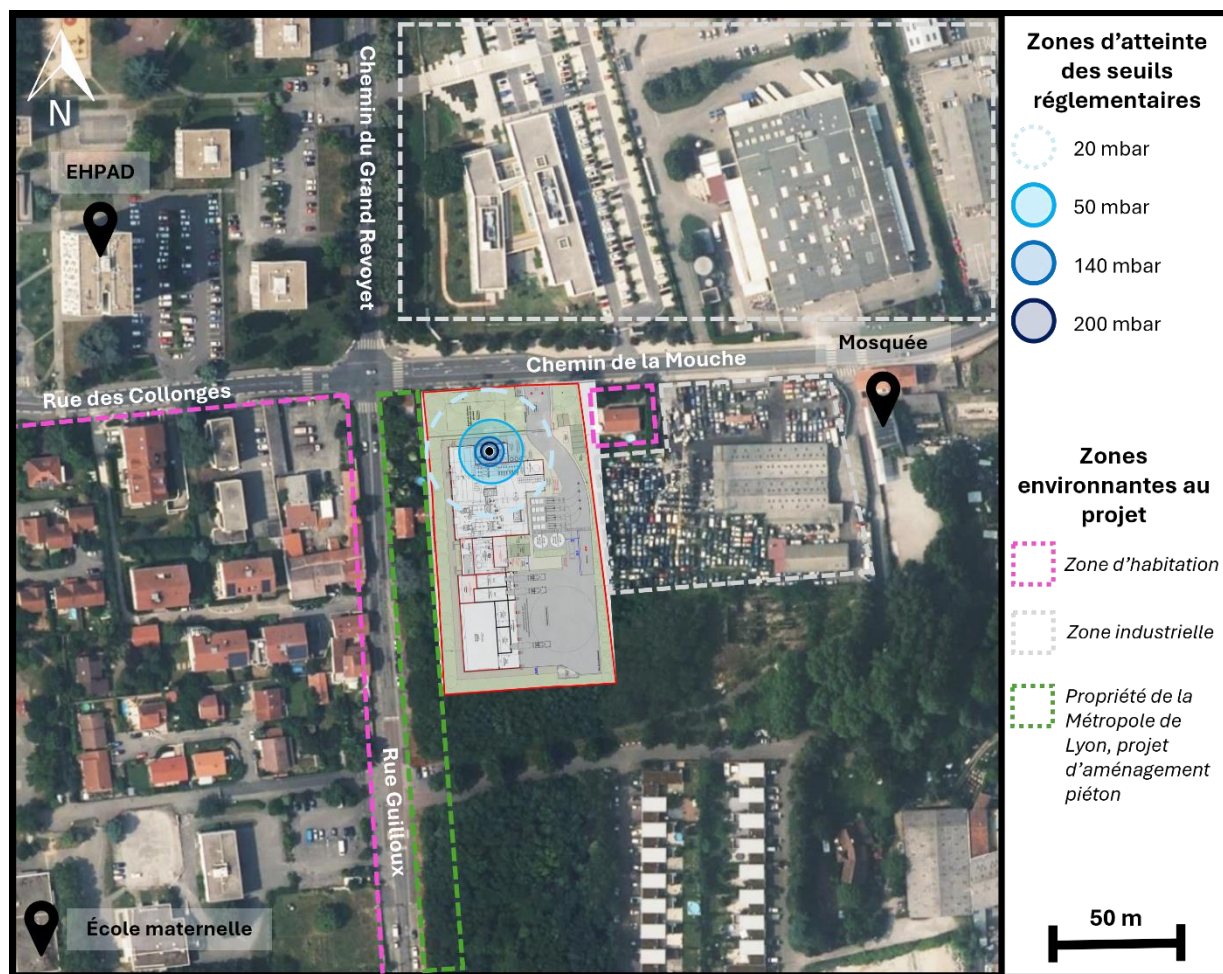


Figure 12 : Cartographie des effets – PhD n°8 – Explosion de la chambre de combustion de la chaudière gaz

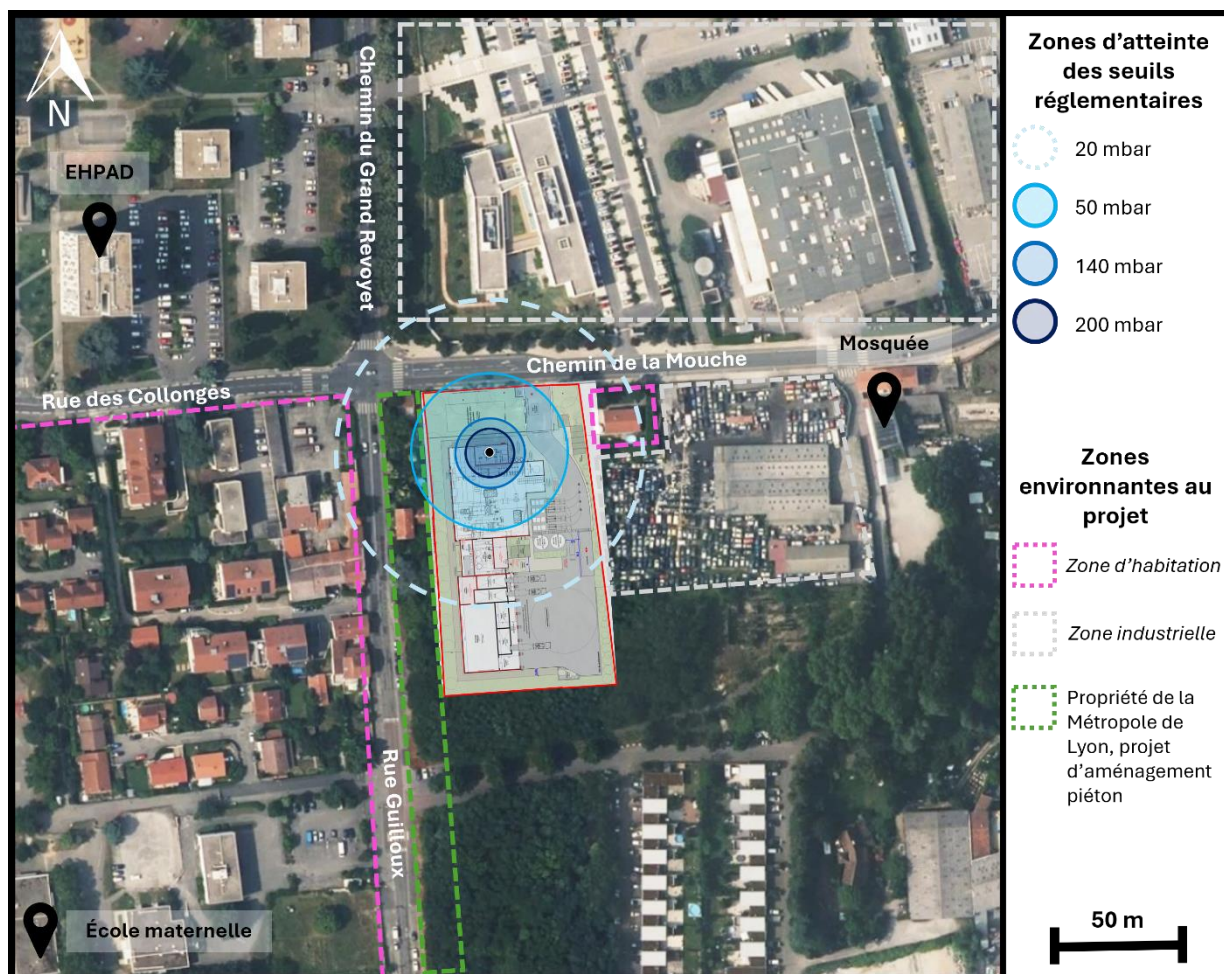


Figure 13 : Cartographie des effets – PhD n°9 – BLEVE de la capacité d'eau de la chaudière gaz



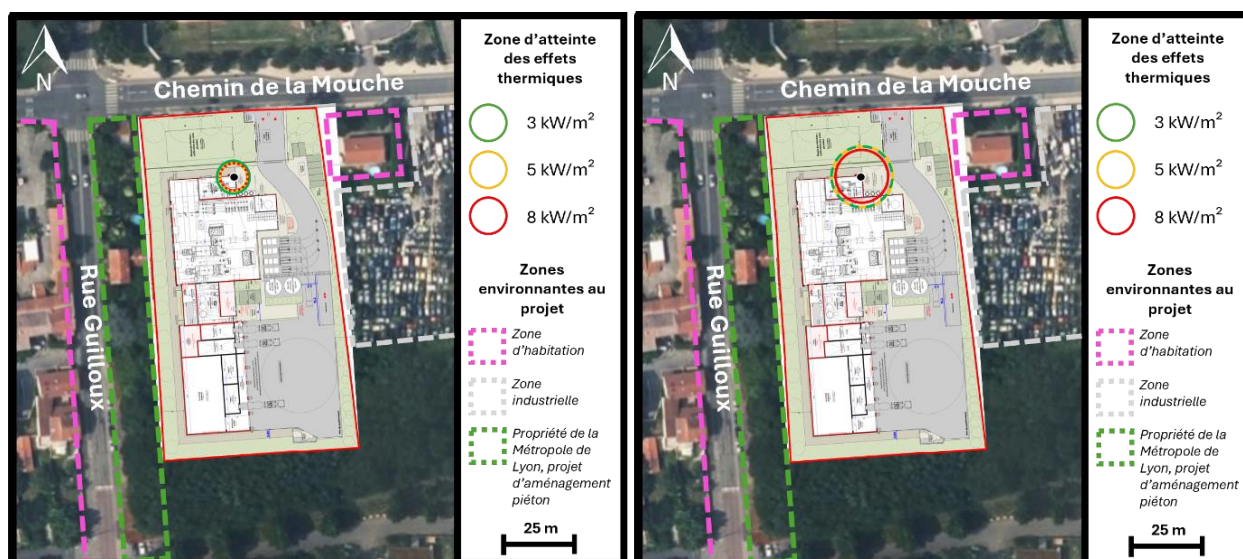


Figure 14 : Cartographie des effets – PhD n°10 – Feu torche – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie – brèche de 30 mm (à gauche), brèche de 100 mm (à droite) – météo F3

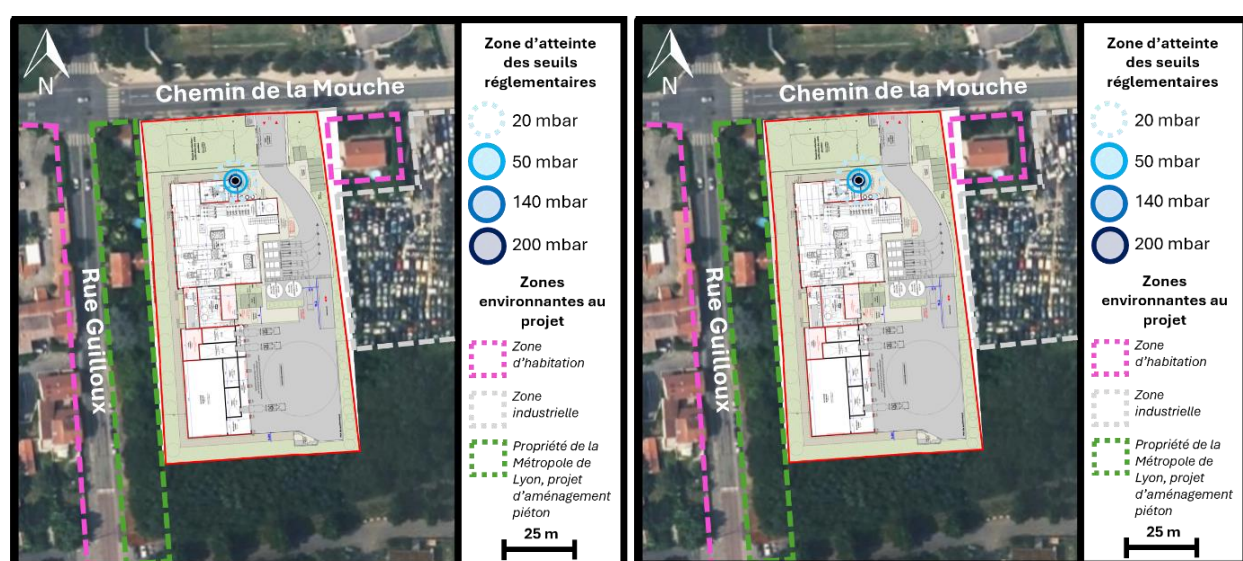


Figure 15 : Cartographie des effets – PhD n°12 – Explosion (UVCE) – Fuite de gaz sur une tuyauterie à l'extérieur de la chaufferie – brèche 25 mm (à gauche), brèche de 100 mm (à droite), – météo F3

## 10.2. Propositions de mesures de sécurité

Le tableau ci-dessous liste les mesures de sécurité, pouvant permettre de réduire les risques d'occurrence des phénomènes dangereux entraînant des effets de surpression en dehors des limites de propriété.

**Tableau 52 : Mesures de sécurité contre l'occurrence de phénomènes dangereux associés aux installations et équipements sur site**

Installation / Équipement	Phénomène dangereux redouté	Mesures
Tuyauteries de gaz	<b>Fuite sur une canalisation, pouvant mener à une explosion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Application des consignes de sécurité</li> <li>⇒ Moyens d'intervention internes</li> <li>⇒ Règles de construction pour les canalisations enterrées (grillage au-dessus de la canalisation)</li> <li>⇒ Plan des réseaux sur site et maintenu à jour</li> <li>⇒ Plan de prévention</li> <li>⇒ Prévention des sources d'ignition</li> <li>⇒ Inspection visuelle périodique des tuyauteries</li> <li>⇒ Procédure de contrôle de fuite</li> <li>⇒ Contrôle des soudures</li> <li>⇒ Limitation du nombre de brides</li> <li>⇒ Test d'étanchéité (gaz inerte) après chaque intervention</li> <li>⇒ Surveillance de l'état des canalisations et des équipements sous pression</li> <li>⇒ Formation du personnel sur les procédures à appliquer sur le site</li> <li>⇒ Sensibilisation du personnel</li> <li>⇒ Renforcement du suivi des capteurs de détection de fuite</li> <li>⇒ Doubles vannes automatiques reliées par un détecteur de basse pression et un détecteur de gaz</li> </ul>



Installation / Équipement	Phénomène dangereux redouté	Mesures
Chaudière gaz	<p><b>Fuite sur une canalisation, pouvant mener à une explosion</b></p> <p><b>Accumulation de gaz/CO dans la chambre de combustion, pouvant mener à une explosion</b></p> <p><b>Surpression de la capacité d'eau, pouvant mener à un BLEVE</b></p>	<p>⇒ Sécurité de pression haute avec mise en sécurité de la chaudière</p> <p>⇒ Sécurité de pression basse avec mise en sécurité de la chaudière puis intervention humaine</p> <p>⇒ 2 électrovannes extérieures sur l'alimentation gaz (sécurité positive sur détection gaz ou détection incendie)</p> <p>⇒ Vanne de coupure sur l'alimentation gaz en cas de dépression dans la canalisation et vanne de sécurité asservie au fonctionnement des brûleurs</p> <p>⇒ Détection de gaz avec mise en sécurité de l'installation</p> <p>⇒ Report défaut de fonctionnement de la pompe avec mise en sécurité de la chaudière</p> <p>⇒ Mesure de débit en continu avec des capteurs indépendants avec mise en sécurité de la chaudière : arrêt de l'alimentation des vannes en combustible.</p> <p>⇒ Sécurité des chaînes du maintien de pression avec mise en sécurité des chaudières</p> <p>⇒ Détection de flamme dans le foyer</p> <p>⇒ Conception et construction conformes à la directive sur les équipements sous pression</p> <p>⇒ Contrôle des paramètres de la chaudière</p> <p>⇒ Rampe de montée en pression</p> <p>⇒ En cas de dépassement des seuils bas de débit d'eau ou de pression, ou de température trop haute mise en sécurité de la chaudière</p> <p>⇒ Procédure de démarrage et de ventilation</p> <p>⇒ Prébalayage de la chambre de combustion</p>

Installation / Équipement	Phénomène dangereux redouté	Mesures
		⇒ Système de contrôle de combustion régulant les débits de gaz et d'air pour assurer une combustion continue et une flamme stabilisée quelles que soient les conditions opératoires ⇒ Séquence de balayage (préventilation du foyer) ⇒ Mesure en continu de la teneur en CO dans les fumées ⇒ Toiture soufflable, orientant la surpression vers le haut
Chaudière biomasse	<b>Accumulation de gaz/CO dans la chambre de combustion, pouvant mener à une explosion</b>  <b>Surpression de la capacité d'eau, pouvant mener à un BLEVE ou à un éclatement de la calandre</b>	⇒ Température surveillée ⇒ Alarme de défaut ⇒ Application des consignes de sécurité ⇒ Moyens d'intervention internes dont aspersion d'eau sur le chargement des chaudières. En cas de perte de pression, arrêt des chaudières ⇒ Nettoyage régulier ⇒ Local électrique isolé ⇒ Appareils électriques étanches ⇒ Application des consignes de sécurité ⇒ Moyens d'intervention internes ⇒ Séquence de balayage (ventilation du foyer) ⇒ Formation du personnel sur les procédures à appliquer sur le site ⇒ Mesure en continu de la teneur en CO dans les fumées

## Contact

**Technisim Consultants**

**316 rue Paul Bert**

**69003 Lyon**

**04 37 69 92 80**

[technisim@wanadoo.fr](mailto:technisim@wanadoo.fr)

Le contenu de ce rapport est uniquement valable pour le projet faisant l'objet de la présente étude.

Toute utilisation à d'autres fins que celles du projet concerné doit faire l'objet d'une autorisation d'exploitation.

### **ADDENDA :**

L'absence de remarque sous un mois à compter de la date de réalisation de l'étude vaut acceptation.

Toute reprise mineure ou majeure ultérieure sera susceptible de faire l'objet d'un avenant financier spécifique.

Nonobstant, le suivi administratif des services instructeurs est inclus dans la prestation.

→ FIN de DOCUMENT ←