

STATION D'ÉPURATION DE  
L'ALMANARRE (HYERES, 83)

DOSSIER DE DEMANDE  
D'AUTORISATION  
ENVIRONNEMENTALE  
POUR L'UNITE DE METHANISATION DES  
BOUES DE STEP  
-  
ANNEXES DE L'ETUDE DE DANGERS

*Juin 2022*



**IDE Environnement**

4, rue Jules Védrines—31 200 TOULOUSE

Tél : 05 62 16 72 72

Email : [contact-ide@ide-environnement.com](mailto:contact-ide@ide-environnement.com)

*Page laissée intentionnellement blanche*

## SOMMAIRE DES ANNEXES

---

- 1 Modélisation des phénomènes dangereux**
- 2 Analyse de l'accidentologie associée à l'explosion de méthaniseurs - BARPI**
- 3 Analyse de l'accidentologie associée à l'explosion de gazomètre - BARPI**

*Page laissée intentionnellement blanche*

# **ANNEXE 1 :**

## **MODELISATION DES PHENOMENES DANGEREUX**

STATION D'ÉPURATION DE  
L'ALMANARRE (HYERES, 83)

MODELISATION DES PHENOMENES  
DANGEREUX – UNITE DE  
METHANISATION DE BOUES

*Mai 2021*



**IDE Environnement**

4, rue Jules Védrières—31 200 TOULOUSE

Tél : 05 62 16 72 72

Email : [contact-ide@ide-environnement.com](mailto:contact-ide@ide-environnement.com)

**MODELISATION DES PHENOMENES DANGEREUX LIES A  
L'UNITE DE METHANISATION DE BOUES DE STEP  
(STATION D'EPURATION DE L'ALMANARRE - HYERES, 83)**

<i>Version</i>	<i>Date</i>	<i>Commentaire révision</i>	<i>Rédigé par</i>	<i>Vérifié par</i>
1	07/05/2021	Original	Céline BORDES, Ingénieure experte risques sanitaires et technologique	/

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DEFINITION DES SEUILS REGLEMENTAIRES .....</b>	<b>4</b>
2.1	VALEURS DE REFERENCE RELATIVES AUX SEUILS D'EFFETS THERMIQUES.....	4
2.2	VALEURS DE REFERENCE RELATIVES AUX SEUILS D'EFFETS DE SURPRESSION .....	4
2.3	VALEURS DE REFERENCE RELATIVES AUX SEUILS D'EFFETS TOXIQUE (PAR INHALATION) ..	5
<b>3</b>	<b>RISQUE EXPLOSION.....</b>	<b>6</b>
3.1	MODELE DE CALCUL DES EFFETS DE SURPRESSION : METHODE MULTI-ENERGIE .....	6
3.1.1	PRELIMINAIRES – CHOIX DU MODELE.....	6
3.1.2	ETAPE 1 : DETERMINATION DE L'ENERGIE DE L'EXPLOSION .....	6
3.1.3	ETAPE 2 : DETERMINATION DES DISTANCES DES EFFETS DE SURPRESSION – MODELE MULTI-ENERGIE.....	8
3.2	ANALYSE DU RISQUE EXPLOSION LIE AU DIGESTEUR ET AU GAZOMETRE.....	13
3.2.1	DONNEES ET HYPOTHESES DE CALCUL .....	13
3.2.2	SCENARIO 3.1 « FORMATION ET INFLAMMATION D'UNE ATEX DANS LE DIGESTEUR ».....	14
3.2.3	SCENARIO 3.3 ET 3.4 « MONTEE EN PRESSION DU DIGESTEUR, DECOMPRESSION DU BIOGAZ PAR LA SOUPEPE DE SECURITE OU L'EVENT ET EXPLOSION DE BIOGAZ SUITE A LA RUPTURE DE L'EVENT » ....	15
3.2.4	SCENARIO 3.5 « EXPLOSION DE L'ATEX FORMEE SUITE A LA RUINE D'UN GAZOMETRE » .....	21
3.2.5	SCENARIO 3.6 « EXPLOSION DE L'ATEX INTERNE DANS UN GAZOMETRE » .....	22
3.3	ANALYSE DU RISQUE EXPLOSION LIE A UN FUITE DE GAZ DANS UN LOCAL .....	24
3.3.1	DONNEES ET HYPOTHESES DE CALCUL .....	24
3.3.2	DETERMINATION DES ZONES DE DANGERS – LOCAL CHAUFFERIE (SCENARIO 5.1) .....	25
3.3.3	DETERMINATION DES ZONES DE DANGERS – LOCAL DE PURIFICATION (SCENARIO 5.2) .....	26
3.4	ANALYSE DU RISQUE D'EXPLOSION LIE A UNE FUITE DE CANALISATION .....	27
3.4.1	DESCRIPTION DU SCENARIO ET HYPOTHESES DE CALCUL .....	27
3.4.2	DETERMINATION DES ZONES DE DANGERS – FUITE DE LA CANALISATION AERIENNE DE BIOMETHANE(SCENARIO 5.3) .....	28
<b>4</b>	<b>RISQUE FEUX TORCHE .....</b>	<b>30</b>
4.1	DESCRIPTION DU MODELE D'EVALUATION DES EFFETS THERMIQUES D'UN FEU TORCHE	30
4.2	CALCUL DES EFFETS THERMIQUES POUR LE SCENARIO DE FEU TORCHE (SCENARIO 5.4).	30
4.2.1	DESCRIPTION DU SCENARIO ET HYPOTHESES DE CALCUL .....	30
4.2.2	RESULTATS DE LA MODELISATION DES EFFETS THERMIQUES .....	31
<b>5</b>	<b>RISQUE DISPERSION TOXIQUE .....</b>	<b>32</b>
5.1	DESCRIPTION DU MODELE DE DISPERSION ACCIDENTELLE .....	32
5.2	ANALYSE DU RISQUE DE DISPERSION TOXIQUE DE H <sub>2</sub> S.....	32
5.2.1	DESCRIPTION DU SCENARIO ET CARACTERISATION DE LA SOURCE D'EMISSION .....	32
5.2.2	CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	34
5.2.3	DETERMINATION DES RAYONS D'EFFETS TOXIQUES (SCENARIO 3.2).....	35
<b>6</b>	<b>CARTOGRAPHIE DES ZONES DE DANGERS.....</b>	<b>36</b>



<b>7</b>	<b>COTATION DE LA GRAVITE ET EFFET DOMINO .....</b>	<b>44</b>
<b>7.1</b>	<b>COTATION DE LA GRAVITE .....</b>	<b>44</b>
7.1.1	GRILLE DE COTATION DE LA GRAVITE .....	44
7.1.2	GRAVITE POTENTIELLE .....	44
<b>7.2</b>	<b>EFFET DOMINO.....</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>47</b>

## LISTE DES FIGURES

---

<i>Figure 1 : Abaque relatif à la méthode multi-énergie de décroissance des surpressions aériennes.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 2 : Distances d'effet en pied de cellule .....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 3 : Distances d'effets pour le phénomène dangereux de petite brèche (12 mm) avec rejet horizontal à la pression maximale de service suivie de l'inflammation immédiate du rejet.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 4 : Cartographie des seuils d'effets pour le scénario 3.1.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 5 : Cartographie des seuils d'effets pour le scénario 3.3.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 6 : Cartographie des seuils d'effets pour le scénario 3.4.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 7 : Cartographie des seuils d'effets pour les scénarios 3.5 et 3.6.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 8 : Cartographie des seuils d'effets pour le scénario 5.1.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 9 : Cartographie des seuils d'effets pour le scénario 5.2.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 10 : Cartographie des seuils d'effets pour les scénarios 5.3 et 5.4.....</i>	<i>43</i>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des scénarii d'accidents majeurs identifiés .....	2
Tableau 2 : Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques.....	4
Tableau 3 : Valeurs de référence relatives aux seuils de surpression.....	4
Tableau 4 : Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets toxiques .....	5
Tableau 5 : Correspondance entre indices et surpressions maximales .....	9
Tableau 6 : Choix de l'indice de violence selon Kinsella (1993) .....	10
Tableau 7 : Caractéristiques du digesteur et du gazomètre.....	13
Tableau 8 : Caractéristiques du méthane (Source : Yellow Book, TNO, 2005) .....	13
Tableau 9 : Energie de combustion – Scénario 3.1.....	14
Tableau 10 : Effets de surpression – Scénario 3.1 .....	15
Tableau 11 : Energie de combustion – Scénario 3.3 Phase 1 .....	16
Tableau 12 : Effets de surpression – Scénario 3.3 Phase 1.....	17
Tableau 13 : Masse de gaz au sein de l'ATEX – Scénario 3.3 Phase 2 .....	17
Tableau 14 : Energie de combustion – Scénario 3.3 Phase 2 .....	18
Tableau 15 : Effets de surpression – Scénario 3.3 Phase 2.....	18
Tableau 16 : Energie de combustion – Scénario 3.4 Phase 1 .....	19
Tableau 17 : Effets de surpression – Scénario 3.4 Phase 1.....	19
Tableau 18 : Masse de gaz au sein de l'ATEX – Scénario 3.4 Phase 2 .....	20
Tableau 19 : Energie de combustion – Scénario 1b.3 Phase 2 .....	20
Tableau 20 : Effets de surpression – Scénario 3.4 Phase 2.....	21
Tableau 21 : Energie de combustion – Scénario 3.5.....	21
Tableau 22 : Effets de surpression – Scénario 3.5 .....	22
Tableau 23 : Energie de combustion – Scénario 3.6.....	23
Tableau 24 : Effets de surpression – Scénario 3.6 .....	23
Tableau 25 : Caractéristiques du méthane (Source : Yellow Book, TNO, 2005) .....	24
Tableau 26 : Energie de combustion – Scénario 5.1.....	25
Tableau 27 : Effets de surpression – Scénario 5.1 .....	25
Tableau 28 : Energie de combustion – Scénario 5.2.....	26
Tableau 29 : Effets de surpression – Scénario 5.2 .....	26
Tableau 30 : Masse de gaz au sein de l'ATEX – Scénario 5.3 .....	28
Tableau 31 : Energie de combustion – Scénario 5.3.....	29
Tableau 32 : Effets de surpression – Scénario 5.3 .....	29
Tableau 33 : Définition des rayons des zones de dangers – Feu torche (scénario 6.4) .....	31
Tableau 34 : Seuil des effets toxiques du sulfure d'hydrogène (Source : fiche INERIS) .....	33
Tableau 35 : Débit de rejet en H <sub>2</sub> S.....	33
Tableau 36 : Paramètres de modélisation du rejet en H <sub>2</sub> S par la soupape de sécurité .....	34
Tableau 37 : Conditions météorologiques considérées pour la dispersion accidentelle .....	34
Tableau 38 : Distance d'effets toxiques – Scénario 3.2 .....	35
Tableau 39 : Définition des rayons des zones de dangers (à hauteur d'homme).....	36
Tableau 40 : Cotation de la gravité pour les effets sur les personnes.....	44
Tableau 41 : Gravité des différents scénarios .....	45

## 1 INTRODUCTION

---

Une analyse préliminaire des risques a été réalisée pour le site. Cette première étape de l'analyse des risques conduit notamment à l'identification des phénomènes dangereux susceptibles de se produire suite à l'occurrence d'évènements non désirés, eux-mêmes résultants de la combinaison de dysfonctionnements, dérives ou agressions extérieures sur le système. Elle permet également une hiérarchisation de ces situations accidentelles et une sélection des phénomènes dangereux pouvant conduire un accident majeur.

Le présent rapport a pour objet de modéliser les distances d'effets (thermiques, de surpression ou toxique) afin de déterminer les éventuelles conséquences de l'évènement redouté central.

Sur l'unité de méthanisation des boues de STEP, les scénarios d'accident majeur retenus suite à l'APR sont présentés dans le tableau en page suivante :

Sur la base des dangers identifiés, les scénarii suivants peuvent être retenus comme risques majeurs liés à l'installation de traitement de déchets :

Tableau 1 : Liste des scénarii d'accidents majeurs identifiés

Activités / Opérations	Equipements	Evènements initiateurs	Evènement redouté central	Phénomènes dangereux	N° sc.
1. Transport	Camions / Engins de manutention	<i>Aucun scénario identifié</i>			/
2. Réception, stockage et prétraitement des boues et graisses		<i>Aucun scénario identifié</i>			/
3. Méthanisation	Digesteur	Travaux à l'intérieur du digesteur (opérations de curage ...) alors qu'il reste du biogaz à l'intérieur	Formation d'une ATEX à l'intérieur du digesteur vide	VCE en présence d'une source d'ignition	3.1
		Torchère hors service (1 <sup>er</sup> niveau de sécurité) => montée en pression dans le digesteur (bouchage des canalisations en sortie, arrêt du brassage et formation d'une croûte en surface)	Décompression du biogaz via la soupape de sécurité	Dispersion H <sub>2</sub> S toxique	3.2
		Torchère hors service (1 <sup>er</sup> niveau de sécurité) + montée en pression dans le digesteur + défaillance de la soupape (obturation) (2 <sup>ème</sup> niveau de sécurité)	Décompression du biogaz via le toit soufflable du digesteur	Formation et inflammation d'une ATEX en présence d'une source d'ignition	3.3
				Formation et inflammation d'une ATEX en présence d'une source d'ignition	3.4
	Stockeur digestat brut	<i>Aucun scénario identifié</i>			/
Gazomètre double-membrane	Vents violents	Envol de la membrane souple du gazomètre / Ruine du gazomètre	Formation et inflammation d'une ATEX	3.5	
3. Méthanisation	Gazomètre double-membrane	Perte d'étanchéité entre les deux membranes du gazomètre	Formation d'une ATEX interne au gazomètre	Inflammation de l'ATEX – effet de surpression	3.6
4. Stockage et traitement des digestats		<i>Aucun scénario identifié</i>			/
5. Gestion du biogaz	Local chaudière	Fuite d'une canalisation de biogaz	Formation d'une ATEX (atmosphère semi-confinée)	Inflammation de l'ATEX Effet de surpression	5.1
	Local de purification	Fuite d'une canalisation de biogaz ou biométhane	Formation d'une ATEX (atmosphère semi-confinée)	Inflammation de l'ATEX Effet de surpression	5.2

Activités / Opérations	Equipements	Evènements initiateurs	Evènement redouté central	Phénomènes dangereux	N° sc.
5. Gestion du biogaz	Canalisations aériennes de biométhane en aval de l'unité de purification (gaz comprimé)	Fuite d'une canalisation de biométhane (gaz comprimé)	Formation d'une ATEX (air libre)	Inflammation de l'ATEX Effet de surpression	5.3
			Présence d'une source d'inflammation	Feu torche Effet thermique	5.4
	Autres canalisations biogaz ou biométhane	<i>Aucun scénario identifié</i>			/
6. Autres	<i>Aucun scénario majeur identifié</i>				/

## 2 DEFINITION DES SEUILS REGLEMENTAIRES

Les valeurs de référence des seuils d'effets ont été fixées par arrêté du Ministère de l'Ecologie et du Développement durable (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). Les seuils, correspondent à des effets attendus sur les hommes et les structures.

### 2.1 VALEURS DE REFERENCE RELATIVES AUX SEUILS D'EFFETS THERMIQUES

Les valeurs de référence des seuils d'effets pour les paramètres permettant de caractériser les effets thermiques sont les suivants :

Tableau 2 : Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques

Flux thermiques		Effets sur l'homme	Effets sur les structures
3 kW/m <sup>2</sup>	600 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s	Seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine.	
5 kW/m <sup>2</sup>	1 000 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s	Seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine.	Seuil des destructions de vitres significatives.
8 kW/m <sup>2</sup>	1 800 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s	Seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.	Seuil des effets domino et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures.
16 kW/m <sup>2</sup>			Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton.
20 kW/m <sup>2</sup>			Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton.
200 kW/m <sup>2</sup>			Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

### 2.2 VALEURS DE REFERENCE RELATIVES AUX SEUILS D'EFFETS DE SURPRESSION

Les valeurs de référence des seuils d'effets pour les paramètres permettant de caractériser les effets de surpression sont les suivants :

Tableau 3 : Valeurs de référence relatives aux seuils de surpression

Surpression	Effets sur l'homme	Effets sur les structures
20 mbar	Seuil des effets délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme	Seuil des destructions significatives de vitres
50 mbar	Seuil des effets irréversibles délimitant la « zone de dangers significatifs pour la vie humaine »	Seuil des dégâts légers sur les structures
140 mbar	Seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine »	Seuil des dégâts graves sur les structures
200 mbar	seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine »	Seuil des effets dominos
300 mbar		Seuil des dégâts très graves sur les structures

Concernant les valeurs relatives aux seuils **d'effets liés à l'impact d'un projectile ou effets de projection**, compte tenu des connaissances limitées en matière de détermination et de modélisation des effets de projection, pour la délimitation des zones d'effets sur l'homme ou sur les structures des installations classées, il n'existe pas à l'heure actuelle de valeur de référence.

## 2.3 VALEURS DE REFERENCE RELATIVES AUX SEUILS D'EFFETS TOXIQUE (PAR INHALATION)

Pour la délimitation des zones d'effets significatifs sur la vie humaine, les seuils d'effets de référence pour les installations classées sont les suivants :

*Tableau 4 : Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets toxiques*

Temps d'exposition	Types d'effets constatés	Concentration d'exposition	Types de zone de dangers
Exposition de 1 à 60 minutes	Létaux	Seuil des Effets Létaux Significatifs SELS	Zone de dangers très grave pour la vie humaine
		Seuil des Premiers Effets Létaux SPEL	Zone de dangers graves pour la vie humaine
	Irréversibles	Seuil des Effets Irréversibles SEI	Zone de dangers significatifs pour la vie humaine
	Réversibles	Seuil des Effets Réversibles SER	-



## 3 RISQUE EXPLOSION

### 3.1 MODELE DE CALCUL DES EFFETS DE SURPRESSION : METHODE MULTI-ENERGIE

#### 3.1.1 Préliminaires – Choix du modèle

Les méthodes simples d'évaluation des conséquences des explosions ne sont jamais prévues pour traiter à la fois des aspects à la fois mécaniques (ondes de pression) et thermiques. Ainsi, dans cette étude ne seront abordés que les calculs dédiés aux ondes de pression.

La méthode permettant de déterminer les effets de pression dans le cas d'une explosion repose sur :

- la détermination de l'énergie disponible lors de l'explosion,
- la méthode multi-énergie pour évaluer l'atténuation des effets de pression.

Cette démarche a l'avantage d'être applicable aussi bien pour les explosions à l'air libre (UVCE) que pour l'évaluation des effets de surpression liés à l'éclatement d'un réservoir (atmosphère confiné).

L'idée centrale des méthodes basées sur le concept multi-énergie est qu'une explosion de gaz produit des effets d'autant plus importants qu'elle se développe dans un environnement encombré ou turbulent dans lequel la flamme peut se propager rapidement et qu'en dehors de ces zones, les effets de pression associés à la propagation de flamme sont minimes.

Le principe de la méthode multi-énergie et la méthodologie appliquée pour la détermination de l'énergie disponible d'explosion sont détaillées ci-après.

#### 3.1.2 Etape 1 : Détermination de l'énergie de l'explosion

##### 3.1.2.1 Explosion en atmosphère confiné – Equation de Brode

La détermination de l'énergie de l'explosion de gaz s'effectue à partir de l'équation de Brode :

$$E = \frac{1}{\gamma - 1} \times V \times (P_{ex} - P_{atm})$$

- Où :
- E = énergie de l'explosion (en Joule)
  - $\gamma$  = Gamma (rapport des capacités thermiques massiques du gaz considéré)
  - V = Volume de l'enceinte considéré (en m<sup>3</sup>)
  - $P_{ex} - P_{atm}$  = Pression relative de l'explosion (en Pa)
  - $P_{ex}$  = Pression absolue de l'explosion (en Pa)
  - $P_{atm}$  = Pression atmosphérique (en Pa)

Dans une approche dimensionnante, on retiendra comme pression relative  $P_{ex} - P_{atm}$  d'une explosion primaire :

- Si le volume est correctement éventé :  $P_{ex} - P_{atm} = P_{redmax}$  (la pression d'explosion réduite utilisée pour calculer la surface d'évent).
- Si le volume est non éventé :  $P_{ex} - P_{atm} = 2 * P_{rupture}$  (où  $P_{rupture}$  est la pression statique de rupture de l'enceinte).

### 3.1.2.2 Explosion en atmosphère non confiné

#### 1. Détermination du débit de fuite

Le débit massique de fuite d'un gaz à travers un orifice peut être estimé à partir de l'équation généralisée suivante (Yellow Book, TNO, 2005) :

$$q_s = C_d \times A_h \times \psi \times \sqrt{(\rho_0 \times P_0 \times \gamma \times (2/(\gamma + 1))^{(\gamma + 1)/(\gamma - 1)})}$$

Où :

- $q_s$  = Débit massique de fuite (en kg/s)
- $C_d$  = Coefficient de trainée (sans unité)
- $A_h$  = Section de la brèche (en m<sup>2</sup>)
- $\psi$  = coefficient de fuite (sans unité)
- $\gamma$  = Gamma
- $\rho_{réf}$  = Masse volumique du gaz aux conditions  $T_{réf}$  et  $P_{atm}$  (kg /m<sup>3</sup>)
- $\rho_0$  = Masse volumique du gaz aux conditions  $T_o$  et  $P_o$  (kg /m<sup>3</sup>)

$$1. \quad \rho_0 = \rho_{réf} \times \frac{T_{réf}}{T_o} \times \frac{P_o}{P_{atm}}$$

- $P_o$  = Pression de service (en Pa)
- $P_{atm}$  = Pression atmosphérique (en Pa)
- $T_{réf}$  = Température de référence (en K)
- $T_o$  = Température de service (en K)

Le facteur  $\psi^2$  dépend de la nature du flux de gaz, s'il est critique ou non. Le flux est dit critique (ou supersonique) lorsque :

$$P_0/P_a \geq ((\gamma + 1)/2)^{(\gamma/(\gamma - 1))}$$

Si le flux est critique :  $\psi^2 = 1$

Si le flux est subsonique (ou sub-critique) :

$$\psi^2 = 2/(\gamma - 1) \times ((\gamma + 1)/2)^{(\gamma + 1)/(\gamma - 1)} \times (P_a/P_0)^{2/\gamma} \times (1 - (P_a/P_0)^{((\gamma - 1)/\gamma)})$$

#### 2. Détermination de la masse explosive

La masse de gaz inflammable est déterminée suivant la formule :

$$m_{inf} = q_s \times \Delta t$$

Où :

- $q_s$  = Débit massique de fuite (en kg/s)
- $\Delta t$  = Délai d'ignition

Le délai d'allumage de la masse de gaz considéré est généralement de 60 s. Ce délai est justifié par l'étude de Lannoy (Analyse des explosions air – hydrocarbures en champs libre, 1984), qui indique que statistiquement, le délai d'allumage est généralement court, c'est-à-dire inférieur à 1 min dans 69% des cas étudiés. Les fuites de gaz sont en effet souvent associées à des interventions ou à des travaux, ou bien ont lieu en zone urbaine, qui offrent autant de sources d'ignition potentielles. On notera également qu'un nombre significatif de fuites de gaz ne rencontre pas de source d'ignition et ne produit pas d'explosion.

### 3. Détermination du volume du nuage à la stœchiométrie

Le volume du nuage de vapeurs dans les conditions stœchiométriques est déterminé comme suit (cf. Yellow Book, TNO, 2005) :

$$V_n = \frac{m_{inf}}{\rho_{ref} \times C_s}$$

Où :

- $V_n$  = volume du nuage de gaz dans les conditions stœchiométriques (en m<sup>3</sup>)
- $\rho_{ref}$  = Masse volumique du gaz dans les conditions ambiantes (kg /m<sup>3</sup>)
- $C_s$  = Concentration de gaz à la stœchiométrie (en %)

### 4. Détermination de l'énergie d'explosion

L'énergie de combustion de la charge explosive, dans le cadre d'un espace libre de tout encombrement, est alors obtenue comme suit :

$$E = E_{gaz} = V_n \times \Delta H_c$$

Où :

- E = Energie disponible lors de l'explosion (en J)
- $V_n$  = volume du nuage de gaz dans les conditions stœchiométriques (en m<sup>3</sup>)
- $\Delta H_c$  = chaleur de combustion dans les conditions stœchiométriques (en J /m<sup>3</sup>)

### 3.1.3 Etape 2 : Détermination des distances des effets de surpression – Modèle Multi-Energie

#### 3.1.3.1 Description du modèle multi-énergie

Les principes de base sur lesquels repose cette méthode sont directement inspirés des mécanismes qui gouvernent le déroulement des explosions de gaz.

L'idée centrale des méthodes basées sur le concept multi-énergie est qu'une explosion de gaz produit des effets d'autant plus importants qu'elle se développe dans un environnement encombré ou turbulent dans lequel la flamme peut se propager rapidement et qu'en dehors de ces zones, les effets de pression associés à la propagation de flamme sont minimes.

Ainsi, pour comprendre la méthode Multi-Energie, il convient tout d'abord de garder à l'esprit qu'une explosion de gaz n'est susceptible d'engendrer de fortes surpressions que si :

- les flammes atteignent une vitesse de propagation importante (plusieurs dizaines de m/s),
- ou si les gaz sont confinés par des parois solides.

Pour cela, il convient de tenir compte des nombreux paramètres qui ont une influence sur la vitesse de propagation des flammes, parmi lesquels peuvent être cités :

- la densité d'obstacles,
- le degré de confinement,
- la forme et les dimensions du nuage inflammable,
- la réactivité du combustible,
- l'énergie et la position de la source d'inflammation,
- et la turbulence du mélange réactif avant allumage.

Dans le cadre d'une application de la méthode Multi-Energie, la « violence » de chaque explosion élémentaire peut ensuite être caractérisée par un indice compris entre 1 et 10. A chaque indice correspond un niveau de surpression maximum.

Les niveaux maximum et les courbes d'atténuation de la surpression en fonction de la distance sont donnés, pour chaque indice, sur des abaques.

### 3.1.3.2 Choix de l'indice de violence

S'agissant de l'utilisation de la méthode Multi-Energie, déterminer la ou les surpressions maximales revient à choisir un « indice de violence » pertinent parmi les 10 proposés. Pour mémoire la correspondance entre les indices compris entre 1 et 10 et les niveaux de surpression maximum est rappelée dans le tableau suivant.

*Tableau 5 : Correspondance entre indices et surpressions maximales*

Indice de la méthode (-)	Surpression maximale correspondante	
	(kPa)	(mbar)
1	1	10
2	2	20
3	5	50
4	10	100
5	20	200
6	50	500
7	100	1000
8	200	2000
9	500	5000
10	2000	20000

Au cours du temps, différentes recommandations ont été proposées pour les choix d'indice mais parmi les recommandations les plus largement employées se trouve celle proposée par Kinsella (Kinsella, 1993). En se basant sur l'analyse des accidents dits « majeurs » passés, Kinsella a proposé de choisir les indices de violence d'explosion en considérant :

- l'énergie d'inflammation,
- le degré d'encombrement dû aux obstacles solides,
- et le degré de confinement.

Ces recommandations sont traduites dans le tableau reporté en page suivante.

Dans ce tableau, l'énergie d'inflammation est à considérer comme :

- forte lorsqu'une explosion confinée peut être à l'origine de l'inflammation du nuage (régime de détonation),
- ou faible lorsque la source d'inflammation potentielle se limite aux sources courantes comme les surfaces chaudes, les étincelles, ...

Le degré d'encombrement est :

- fort lorsque le volume des obstacles correspond à plus de 30 % du volume total de la zone encombrée, l'espace entre obstacles étant inférieur ou égal à 3 m ;
- faible lorsque des obstacles existent mais que les conditions précédentes ne sont pas simultanément satisfaites,
- et inexistant lorsqu'il n'y a pas d'obstacle dans le nuage inflammable.

Le confinement est à considérer de façon « binaire » comme :

- existant lorsque le nuage inflammable est confiné par des surfaces solides sur 2 à 3 faces,
- et inexistant si la seule surface solide à considérer est le sol.

Tableau 6 : Choix de l'indice de violence selon Kinsella (1993)

Energie d'inflammation		Le degré d'encombrement			Le degré de confinement		Indice
faible	forte	fort	faible	inexistant	existant	inexistant	
	×	×			×		7 - 10
	×	×				×	7 - 10
×		×			×		5 - 7
	×		×		×		5 - 7
	×		×			×	4 - 6
	×			×	×		4 - 6
×		×				×	4 - 5
	×			×		×	4 - 5
×			×		×		3 - 5
×			×			×	2 - 3
×				×	×		1 - 2
×				×		×	1

### 3.1.3.3 Détermination de la distance réduite $R'$ pour une valeur de surpression donnée

Dans le cas de la méthode multi-énergie, à chaque indice de violence, noté de 1 à 10, est associée une courbe de décroissance des surpressions aériennes.

Les paramètres d'explosion représentés sur l'abaque en page suivante sont :

- la surpression maximale rapportée à la pression atmosphérique :

$$P_s' = \frac{\Delta P}{P_{atm}}$$

- la distance réduite  $r'$  (en m) qui est le rapport entre la distance  $R$  (en m) (entre le point considéré et le centre de l'explosion) sur la racine cubique de l'énergie de combustion de la charge explosive  $E$  (en J) sur la pression atmosphérique (en Pa) :

$$r' = \frac{R}{(E / P_{atm})^{1/3}}$$

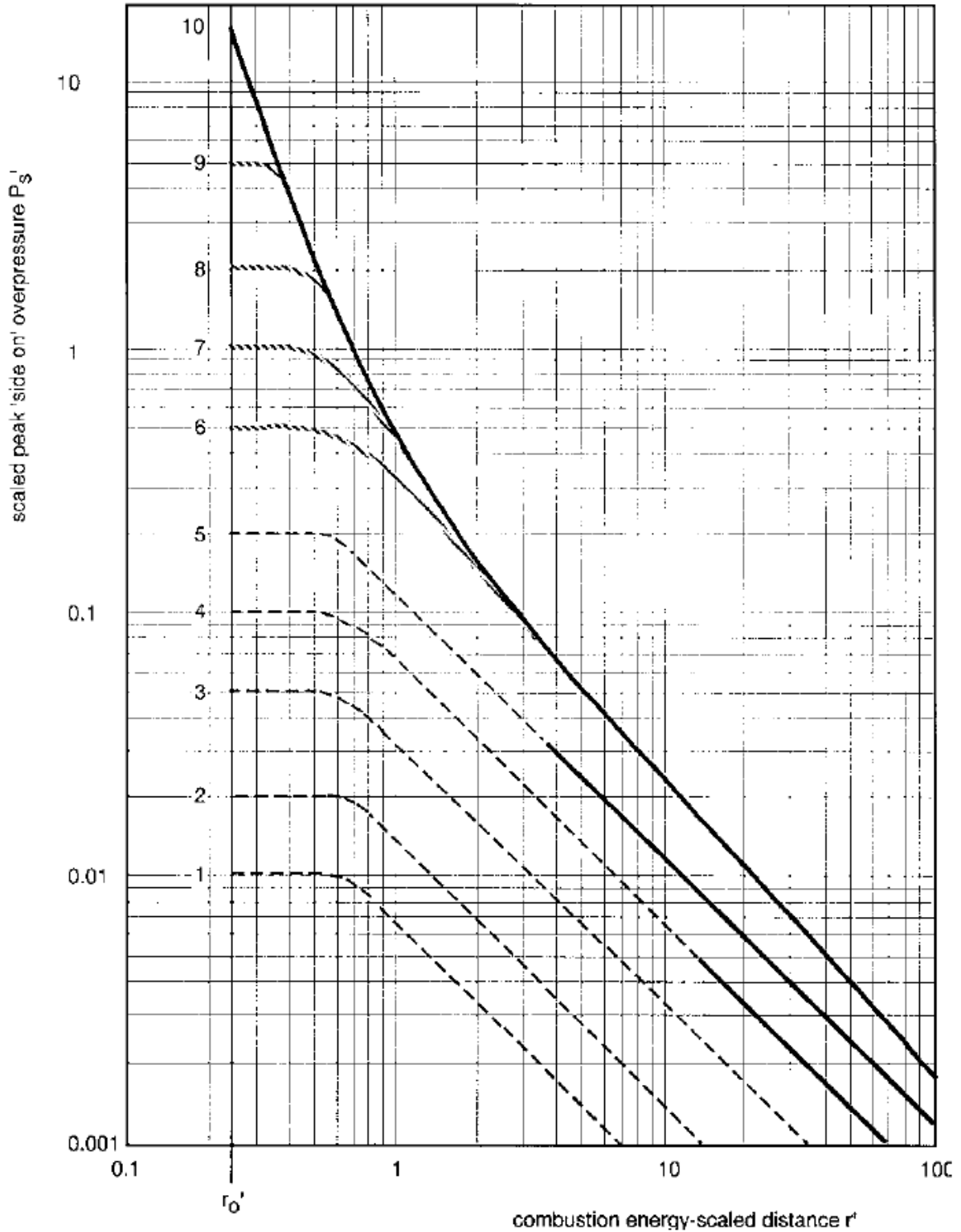


Figure 1 : Abaque relatif à la méthode multi-énergie de décroissance des surpressions aériennes

Lors de l'explosion de cellules, l'onde de surpression qui se forme est de forme sphérique centrée sur le toit de la cellule. Les effets au sol sont alors évalués en retranchant la hauteur des cellules à la distance d'effets calculée ci-avant. Il convient de souligner que ce raisonnement ne peut être accepté que s'il est démontré que le fût de la cellule résistera à l'onde de surpression partant du toit (si le fût résiste, il canalise en effet l'explosion vers le haut).

Si la distance des effets est inférieure à la hauteur de la cellule, la distance d'effet en pied de cellule est de 0 mètre.

Si la distance des effets est supérieure à la hauteur de la cellule, la distance d'effet en pied de cellule est alors de  $Z = \sqrt{d^2 - H^2}$  (application du théorème de Pythagore).

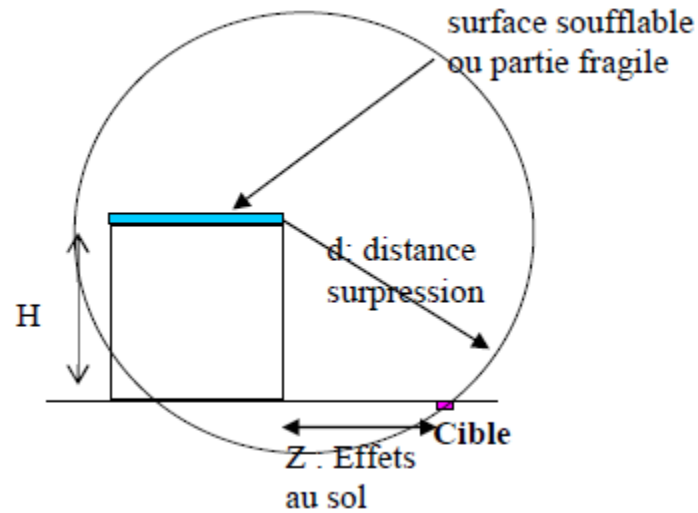


Figure 2 : Distances d'effet en pied de cellule

## 3.2 ANALYSE DU RISQUE EXPLOSION LIE AU DIGESTEUR ET AU GAZOMETRE

### 3.2.1 Données et hypothèses de calcul

#### 3.2.1.1 Description des installations

##### Description des installations

Les données nécessaires à la modélisation des effets de surpression sont fournies dans le tableau ci-après :

Tableau 7 : Caractéristiques du digesteur et du gazomètre

		Digesteur		Gazomètre	
<b>Enceinte</b>	Volume total	3 500	m <sup>3</sup>	570	m <sup>3</sup>
	Volume du ciel gazeux	1 000	m <sup>3</sup>		
	Hauteur de l'enceinte	10	m	9	m
	Pression statique d'ouverture du toit	150 <sup>1</sup>	mbar	30 <sup>2</sup>	mbar
	Matériau de l'enveloppe	Béton armé et porte étanche		Gazomètre en double membrane PVC	
<b>Garde hydraulique / Soupape</b>	Diamètre	0,2	m	/	
	Surface	0,0314	m <sup>2</sup>		
	Pression statique d'ouverture	33	mbar		
	Hauteur du plan du disque par rapport au sol	12	m		

Les caractéristiques du biogaz sont les suivantes :

- Température moyenne : 30°C ;
- Teneur en méthane : 62%.

#### 3.2.1.2 Caractéristiques du combustible

Dans le cadre du projet, le combustible considéré est le méthane dont les caractéristiques sont rappelées dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Caractéristiques du méthane (Source : Yellow Book, TNO, 2005)

Masse volumique (à 15 °C et à P = 1 atm)	Gamma	Température d'auto-inflammation	Caractéristiques d'explosivité			Chaleur de combustion pour un mélange stœchiométrique avec l'air
			Limite inférieure d'explosivité	Concentration stœchiométrique avec l'air	Limite supérieure d'explosivité	
0,68 kg/m <sup>3</sup>	1,305	595 °C	5 %	9,5 %	15 %	3,23 MJ / m <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pression statique d'ouverture standard sur ce type d'équipement comprise entre 100 et 150 mbar (Source : INERIS, Rapport d'étude « Scénarios accidentels et modélisation d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle », janvier 2010. La pression maximale de 150 mbar est retenue pour les modélisations.

<sup>2</sup> Source : INERIS, Rapport d'étude « Scénarios accidentels et modélisation d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle », janvier 2010



### 3.2.2 Scénario 3.1 « Formation et inflammation d'une ATEX dans le digesteur »

#### 3.2.2.1 Description du scénario

Lors de la vidange du digesteur pour des opérations de maintenance/curage, le digesteur est arrêté, son ciel gazeux est évacué par ventilation forcée pour écarter le risque d'explosivité. La qualité de l'air sortant du fermenteur est analysée, et lorsque le taux d'oxygène dans le fermenteur est compatible alors le digesteur peut être ouvert pour des opérations de maintenance. Une Atmosphère Explosive est donc présente transitoirement au cours de la phase de dilution du biogaz par l'air aspiré mais en l'absence de source d'ignition dans le digesteur, tout risque d'explosion peut être écarté.

Le risque de formation d'une ATEX à l'intérieur du digesteur vide pourrait se produire en cas de travaux à l'intérieur du digesteur alors qu'il reste du biogaz, scénario extrêmement peu probable au regard des procédures de vidange du digesteur et d'intervention mise en place sur le site. Toutefois, ce scénario identifié dans le guide INERIS a été retenu à l'issue de l'analyse préliminaire des risques.

#### 3.2.2.2 Détermination des zones de dangers

##### a) Détermination de l'énergie de combustion

Il est considéré la formation d'une ATEX à la stœchiométrie d'un mélange d'air et de méthane (stœchiométrie du CH<sub>4</sub> est de 9,5%) dans le digesteur à vide. Le volume à considérer est donc le volume total du digesteur ou du post-digesteur.

L'explosion éjecte à l'extérieur 75% du volume inflammable initial à travers les ouvertures (porte ouverte pendant la phase de maintenance / curage). Le nuage formé est fortement turbulent sous l'impulsion de la pression résiduelle de l'explosion primaire. Le digesteur devient largement ventilé. Dans ces conditions, les effets de pression sont largement supérieurs à l'extérieur du digesteur qu'à l'intérieur. Pour cette raison, l'évaluation des effets de pression se fait avec un indice de violence de 5<sup>3</sup> qui correspond selon Kinsella (voir Tableau 6) :

- énergie d'inflammation = faible (vitesse de propagation de flamme subsonique – régime de déflagration),
- degré d'encombrement dû aux obstacles solides = fort,
- pas de confinement du nuage.

Tableau 9 : Energie de combustion – Scénario 3.1

	Valeurs	Commentaires
Concentration en méthane à la stœchiométrie (en %)	9,50%	Caractéristiques du méthane
Chaleur de combustion du mélange air / méthane à la stœchiométrie (en J)	3 230 000	
Masse volumique du méthane (en kg/m <sup>3</sup> )	0,68	Données pour des conditions ambiantes (T =15 °C et P = Patm)
Volume du nuage de vapeurs (en m <sup>3</sup> )	3 500,0	Volume du digesteur
Energie d'explosion (en J)	1,1E+10	Explosion non confinée
<b>Energie d'explosion (en MJ)</b>	<b>11 305,0</b>	

<sup>3</sup> Source : Rapport de l'INERIS DRA-09-101660-12814A « Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielles », janvier 2010.

### b) Résultats de la modélisation des effets de surpression

Les résultats de la modélisation des effets de surpression obtenus avec les hypothèses spécifiées ci-dessus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Effets de surpression – Scénario 3.1

<b>Energie d'explosion (en J)</b>	<b>11 305 000 000</b>			
Pression atmosphérique (en Pa)	101 325			
<b>Indice de violence</b>	<b>5</b>			
Surpression (en mbar)	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar <sup>4</sup>
Distance réduite (en m)	0,5	0,9	1,2	/
<b>Distance R* (en m)</b>	/	<b>43,3</b>	<b>105,9</b>	<b>211,8</b>
<b>Distance observée à h = 1,8 m</b>	/	<b>42,5</b>	<b>105,6</b>	<b>211,7</b>

\* à la hauteur du centre de l'explosion (h = 10 m)

### **3.2.3 Scénario 3.3 et 3.4 « Montée en pression du digesteur, décompression du biogaz par la soupape de sécurité ou l'événement et explosion de biogaz suite à la rupture de l'événement »**

#### 3.2.3.1 Description des scénarios

Dans le cadre de ces scénarios, nous considérons une enceinte correctement protégée par la soupape de sécurité. Le phénomène étudié va donc comporter deux phases d'explosion :

- L'explosion primaire (évacuation de l'énergie d'explosion à l'atmosphère lors de l'ouverture de la soupape ou de l'événement), l'énergie libérée dépend de la pression maximale atteinte dans l'enceinte (Pred) pendant l'explosion ;
- l'explosion secondaire (inflammation à l'extérieur, du gaz non brûlé lors de l'explosion primaire et expulsé à l'atmosphère lors de l'ouverture de la soupape ou de l'événement ou de la surface soufflable.

Dans le cas du site, compte-tenu du risque de surpression, plusieurs systèmes de sécurité ont été prévus à la conception du digesteur :

- Sécurité 1 : A partir de 28 mbar, le biogaz alimente la torchère,
- Sécurité 2 : Si la torchère est hors service, son alimentation est interrompue. La pression de biogaz continue à monter dans le réseau biogaz. Ce dernier est équipé au niveau haut de chacun des digesteurs relié à une soupape tarée à 33 mbar. Lorsque la pression dépasse 33 mbar, la soupape s'ouvre et le biogaz est évacué à l'atmosphère.
- Sécurité 3 : en dernier recours, le toit du digesteur est soufflable, sa pression statique d'ouverture est de 150 mbar<sup>5</sup>, son ouverture permet de conserver l'intégrité de la structure du digesteur.

Les soupapes ainsi que les événements protègent donc contre les surpressions et les dépressions dans les fermenteurs. Le scénario de rupture totale des enceintes apparaît donc très improbable et n'a pas été intégré à l'étude.

<sup>4</sup> La distance d'effet au seuil de 20 mbar est fixée par la réglementation de façon forfaitaire au double de la distance d'effet à 50 mbar.

<sup>5</sup> Pression statique d'ouverture standard sur ce type d'équipement comprise entre 100 et 150 mbar (Source : INERIS, Rapport d'étude « Scénarios accidentels et modélisation d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle », janvier 2010. La pression maximale de 150 mbar est retenue pour les modélisations.

Par contre, le scénario potentiel de surpression suivant peut être envisagé : **défaillance du 1<sup>er</sup> voire du 2<sup>nd</sup> niveau de sécurité, montée en pression du digesteur provoquant la décompression à l'air libre du biogaz contenu dans le ciel gazeux du digesteur et son inflammation différé.**

Ce scénario correspond au scénario d'explosion du digesteur en fonctionnement de l'INERIS.

Dans le cadre du site, les deux phases d'explosion sont les suivantes :

- Pour le scénario 3.3 :
  - o l'explosion primaire (phase 1) : montée en pression dans le digesteur à plus de 33 mbar et évacuation de l'énergie d'explosion à l'atmosphère par la soupape de sécurité et le biogaz contenu dans le digesteur se décomprime rapidement ;
  - o l'explosion secondaire (phase 2) : inflammation retardé du biogaz évacué à l'air libre (UVCE).
- Pour le scénario 3.4 :
  - o l'explosion primaire (phase 1) : montée en pression dans le digesteur à plus de 150 mbar et évacuation de l'énergie d'explosion à l'atmosphère par la toiture soufflée et le biogaz contenu dans le digesteur se décomprime rapidement ;
  - o l'explosion secondaire (phase 2) : inflammation retardé du biogaz évacué à l'air libre (UVCE).

Les distances des effets de surpression seront calculées pour ces deux phases.

### 3.2.3.2 Montée en pression dans le digesteur en fonctionnement

#### **a) Phase 1 : Montée en pression dans le digesteur plein avant décompression du biogaz via la soupape de sécurité**

Cette première phase se passe en atmosphère confinée, la méthode appliquée est donc la suivante :

- calcul de l'énergie d'explosion avec l'équation de Brode,
- application de la méthode multi-énergie avec un indice de violence de 10.

Cette approche correspond à celle recommandée dans le Guide de l'état de l'art sur les silos (INERIS, 2008).

L'énergie d'explosion déterminée est présentée dans le tableau suivant :

*Tableau 11 : Energie de combustion – Scénario 3.3 Phase 1*

	Valeurs	Commentaires
Gamma	1,305	Caractéristique du méthane
Volume de l'enceinte (en m3)	1000	Volume du ciel gazeux du digesteur
[Pex - Patm] (en Pa)	3300	Enceinte correctement éventée => Pex - Patm = pression de rupture de la soupape de sécurité du digesteur
Energie d'explosion (en J)	10 819 672,1	Application de l'équation de Brode
<b>Energie d'explosion (en MJ)</b>	<b>10,82</b>	

Tableau 12 : Effets de surpression – Scénario 3.3 Phase 1

<b>Energie d'explosion (en J)</b>	<b>10 819 672</b>			
Pression atmosphérique (en Pa)	101 325			
<b>Indice de violence</b>	<b>10</b>			
Surpression (en mbar)	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar
Distance réduite (en m)	1,5	2,3	5,1	/
<b>Distance R * (en m)</b>	<b>Non atteint **</b>	<b>Non atteint **</b>	<b>Non atteint **</b>	<b>48,7</b>
<b>Distance observée à h = 1,8 m</b>	<b>Non atteint **</b>	<b>Non atteint **</b>	<b>Non atteint **</b>	<b>47,5</b>

\* à la hauteur du centre de l'explosion (h = 12 m)

\*\* La pression d'ouverture de la soupape de sécurité étant de 33 mbar, les surpressions de 50, 140 et 200 mbar ne peuvent être atteints lors de cette phase.

### ***b) Phase 2 : Décompression du biogaz à l'air libre par la soupape de sécurité***

#### **1. Détermination du débit de fuite et de la masse de méthane inflammable**

Les résultats des calculs pour évaluer le débit massique de gaz sont présentés ci-dessous (les formules de calcul sont issues du Yellow Book, TNO) :

Tableau 13 : Masse de gaz au sein de l'ATEX – Scénario 3.3 Phase 2

Paramètres		Unité	Valeurs	Source
Cd	Coefficient de traînée	-	0,62	Yellow Book, 2005
Ah	Section de la brèche	m <sup>2</sup>	3,142E-02	Surface de la soupape de sécurité
γ	Gamma (Méthane)		1,305	Caractéristique du méthane
ρ <sub>réf</sub>	Masse volumique du gaz (à T <sub>réf</sub> et à P <sub>atm</sub> )	kg/m <sup>3</sup>	0,68	Mv du méthane à 15 ° et P <sub>atm</sub>
<b>ρ<sub>0</sub></b>	<b>Masse volumique du gaz aux conditions T<sub>0</sub> et P<sub>0</sub></b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>0,67</b>	
P <sub>a</sub>	Pression atmosphérique	Pa	101 325	-
P <sub>0</sub>	Pression de service	Pa	104 625	Pression du biogaz de 33 mbar = pression de déclenchement de la soupape de sécurité
<b>P<sub>c</sub></b>	<b>Pression critique</b>	<b>Pa</b>	<b>185 977</b>	
	Nature de l'écoulement		<b>Subsonique</b>	P <sub>0</sub> < P <sub>c</sub>
T	Température de référence	K	288	soit 15 °C
T <sub>0</sub>	Température de service	K	303	Température du biogaz = 30°C
<b>ψ</b>	<b>Coefficient de fuite subsonique</b>	-	<b>0,369</b>	
<b>Q</b>	<b>Débit massique subsonique</b>	<b>kg/s</b>	<b>1,27E+00</b>	
t	Délai d'ignition	s	60	-
<b>M</b>	<b>Masse de gaz accumulée au bout de t</b>	<b>kg</b>	<b>76,146</b>	

Remarque : Le rejet de biogaz à l'atmosphère est de nature subsonique, l'énergie nécessaire à son inflammation est donc faible (régime de la déflagration).

La masse de méthane accumulée après 60 secondes est de 76,1 kg. Or, cette masse est bien inférieure à la masse initialement présente dans le digesteur qui est de près de 414 kg :

Paramètres		
Volume du ciel gazeux	1000	m <sup>3</sup>
Teneur maximale en méthane du biogaz	62%	
<b>Masse volumique du méthane aux conditions T<sub>0</sub> et P<sub>0</sub> (ρ<sub>0</sub>)</b>	<b>0,667</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Masse de méthane présente dans le méthaniseur</b>	<b>413,8</b>	<b>kg</b>

## 2. Détermination du volume du nuage à la stœchiométrie et de l'énergie de combustion

A partir de la masse de méthane inflammable de 76,1 kg, le volume du nuage de vapeurs dans les conditions stœchiométriques est alors de près de 1 179 m<sup>3</sup> soit une énergie de combustion de 3 807 MJ.

Tableau 14 : Energie de combustion – Scénario 3.3 Phase 2

	Valeurs	Commentaires
Concentration en méthane à la stœchiométrie (en %)	9,50 %	Caractéristiques du méthane
Chaleur de combustion du mélange air / méthane à la stœchiométrie (en J/m <sup>3</sup> )	3 230 000	
Masse volumique du méthane (en kg/m <sup>3</sup> )	0,68	Données pour des conditions ambiantes (T = 15 °C et P = P <sub>atm</sub> )
Masse de gaz inflammable (en kg)	76,15	cf. calcul de la masse de gaz dans l'ATEX
Volume du nuage de vapeurs (en m <sup>3</sup> )	1 178,7	Calcul à la stœchiométrie
Energie d'explosion (en J)	3,8E+09	Pas d'obstacle considéré
<b>Energie d'explosion (en MJ)</b>	<b>3 807,3</b>	

## 3. Détermination de l'indice de violence

En se basant sur les recommandations de Kinsella, l'indice de violence retenu est de 3 dans le cas de figure considéré :

- énergie d'inflammation = faible (régime de déflagration),
- degré d'encombrement dû aux obstacles solides = faible (nuage évacué par la garde hydraulique au-dessus des équipements),
- nuage inflammable à l'air libre.

## 4. Résultats de la modélisation des effets de surpression

Les résultats de la modélisation des effets de surpression obtenus avec les hypothèses spécifiées ci-dessus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Effets de surpression – Scénario 3.3 Phase 2

<b>Energie d'explosion (en J)</b>	<b>3 807 285 722</b>			
Pression atmosphérique (en Pa)	101 325			
<b>Indice de violence</b>	<b>3</b>			
Surpression (en mbar)	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar <sup>6</sup>
Distance réduite (en m)	<i>Non atteint</i>	<i>Non atteint</i>	0,7	/
<b>Distance R* (en m)</b>	/	/	<b>23,4</b>	<b>46,9</b>
<b>Distance observée à h = 1,8 m</b>	/	/	<b>21,1</b>	<b>45,8</b>

\* à la hauteur du centre de l'explosion (h = 12 m)

<sup>6</sup> La distance d'effet au seuil de 20 mbar est fixée par la réglementation de façon forfaitaire au double de la distance d'effet à 50 mbar.

### 3.2.3.3 Montée en pression dans le digesteur en fonctionnement jusqu'à rupture du toit

#### **a) Phase 1 : Montée en pression dans le digesteur plein avant décompression du biogaz**

Cette première phase se passe en atmosphère confinée, la méthode appliquée est donc la suivante :

- calcul de l'énergie d'explosion avec l'équation de Brode,
- application de la méthode multi-énergie avec un indice de violence de 10.

Cette approche correspond à celle recommandée dans le Guide de l'état de l'art sur les silos (INERIS, 2008).

Les résultats de la modélisation des effets de surpression obtenus avec les hypothèses spécifiées ci-dessus sont présentés dans les tableaux suivants :

*Tableau 16 : Energie de combustion – Scénario 3.4 Phase 1*

	Valeurs	Commentaires
Gamma	1,305	Caractéristique du méthane
Volume de l'enceinte (en m <sup>3</sup> )	1000	Volume du ciel gazeux du digesteur
[Pex - Patm] (en Pa)	15000	Enceinte correctement éventée => Pex - Patm = pression de rupture de la toiture soufflable
Energie d'explosion (en J)	49 180 327,9	Application de l'équation de Brode
<b>Energie d'explosion (en MJ)</b>	<b>49,18</b>	

*Tableau 17 : Effets de surpression – Scénario 3.4 Phase 1*

<b>Energie d'explosion (en J)</b>	<b>49 180 328</b>			
Pression atmosphérique (en Pa)	101 325			
<b>Indice de violence</b>	<b>10</b>			
Surpression (en mbar)	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar
Distance réduite (en m)	1,5	2,3	5,1	/
<b>Distance R * (en m)</b>	<b>Non atteint **</b>	<b>18,3</b>	<b>40,3</b>	<b>80,6</b>
<b>Distance observée à h = 1,8 m</b>	<b>Non atteint **</b>	<b>16,2</b>	<b>39,4</b>	<b>80,2</b>

\* à la hauteur du centre de l'explosion (h = 10 m)

\*\* La pression de rupture de la toiture étant de 150 mbar, la surpression de 200 mbar ne peut être atteint lors de cette phase.

#### **b) Phase 2 : Décompression du biogaz à l'air libre par le toit soufflable**

##### **1. Détermination de la masse de méthane inflammable au sein de l'ATEX**

L'explosion primaire éjecte à l'extérieur 75% du volume inflammable initial à travers les parois soufflés (toiture dans le cas du digesteur). Le nuage formé est fortement turbulent sous l'impulsion de la pression résiduelle de l'explosion primaire. Le digesteur devient largement ventilé. Dans ces conditions, les effets de pression sont largement supérieurs à l'extérieur du digesteur qu'à l'intérieur.

La masse de méthane dans le ciel gazeux au sein de l'ATEX est de près de 460 kg.

Tableau 18 : Masse de gaz au sein de l'ATEX – Scénario 3.4 Phase 2

Pa	Pression atmosphérique	101325	Pa
Po	Pression de service	116 325	Pa
Tréf	Température de référence	288	K
To	Température de service	303	K
r réf	Masse volumique du gaz (Tréf ; Patm)	0,68	kg/m <sup>3</sup>
r0	Masse volumique du gaz aux conditions T et P	0,742	kg/m <sup>3</sup>
Volume du ciel gazeux du digesteur		1 000	m <sup>3</sup>
Teneur moyenne en méthane du biogaz		62%	
<b>Masse volumique du méthane aux conditions T et P</b>		<b>0,742</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Masse de méthane présente dans l'ATEX (100% du volume inflammable initial – hypothèse majorante)</b>		<b>460,1</b>	<b>kg</b>

## 2. Détermination du volume du nuage à la stœchiométrie et de l'énergie de combustion

A partir de la masse de méthane inflammable de 460 kg, le volume du nuage de vapeurs dans les conditions stœchiométriques est alors de 7 121,5 m<sup>3</sup> soit une énergie de combustion de 23 003 MJ.

Tableau 19 : Energie de combustion – Scénario 1b.3 Phase 2

	Valeurs	Commentaires
Concentration en méthane à la stœchiométrie (en %)	9,50 %	Caractéristiques du méthane
Chaleur de combustion du mélange air / méthane à la stœchiométrie (en J/m <sup>3</sup> )	3 230 000	
Masse volumique du méthane (en kg/m <sup>3</sup> )	0,68	Données pour des conditions ambiantes (T = 15 °C et P = P <sub>atm</sub> )
Masse de gaz inflammable (en kg)	460,05	Masse de méthane dans l'ATEX
Volume du nuage de vapeurs (en m <sup>3</sup> )	7 121,5	-
Energie d'explosion (en J)	2,3E+10	Pas d'obstacle considéré
<b>Energie d'explosion (en MJ)</b>	<b>23 002,6</b>	

## 3. Détermination de l'indice de violence

En se basant sur les recommandations de Kinsella, l'indice de violence retenu est de 5 dans le cas de figure considéré :

- énergie d'inflammation = faible (vitesse de propagation de flamme subsonique – régime de déflagration),
- degré d'encombrement dû aux obstacles solides = fort,
- nuage inflammable à l'air libre.

Cet indice correspond à celui retenu par le guide INERIS<sup>7</sup> pour une explosion dans un digesteur en fonctionnement.

<sup>7</sup> Source : Rapport de l'INERIS DRA-09-101660-12814A « Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielles », janvier 2010.

#### 4. Résultats de la modélisation des effets de surpression

Les résultats de la modélisation des effets de surpression obtenus avec les hypothèses spécifiées ci-dessus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 20 : Effets de surpression – Scénario 3.4 Phase 2

<b>Energie d'explosion (en J)</b>	<b>23 002 599 321</b>			
Pression atmosphérique (en Pa)	101 325			
<b>Indice de violence</b>	<b>5</b>			
Surpression (en mbar)	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar <sup>8</sup>
Distance réduite (en m)	0,5	0,9	1,2	/
<b>Distance R* (en m)</b>	<b>30,5</b>	<b>54,9</b>	<b>73,2</b>	<b>146,4</b>
<b>Distance observée à h = 1,8 m</b>	<b>22,6</b>	<b>50,9</b>	<b>72,7</b>	<b>146,2</b>

\* à la hauteur du centre de l'explosion (h = 10 m)

#### 3.2.4 Scénario 3.5 « Explosion de l'ATEX formée suite à la ruine d'un gazomètre »

##### 3.2.4.1 Description du scénario d'explosion

Dans le cadre de ce scénario (sc. 3.5), la ruine d'un gazomètre fait suite à des vents violents ou à la chute d'un avion. Dans les deux cas de figure, la ruine du gazomètre entraînerait la libération du volume de biogaz dans l'atmosphère. Le nuage de biogaz va ensuite s'élever en se diluant.

##### 3.2.4.2 Détermination des zones de dangers

###### a) Détermination du volume du nuage à la stœchiométrie et de l'énergie de combustion

Dans le cadre de l'étude, on considère donc une dilution du nuage (570 m<sup>3</sup> à 62% de CH<sub>4</sub>) jusqu'à la formation d'une ATEX à la stœchiométrie d'un mélange d'air et de biogaz au sein du gazomètre (cf. guide INERIS de 2010<sup>9</sup>).

Tableau 21 : Energie de combustion – Scénario 3.5

	Valeurs	Commentaires
Concentration en méthane à la stœchiométrie (en %)	9,50%	Caractéristiques du méthane
Chaleur de combustion du mélange air / méthane à la stœchiométrie (en J)	3 230 000	
Masse volumique du méthane (en kg/m <sup>3</sup> )	0,68	Données pour des conditions ambiantes (T = 15 °C et P = Patm)
Volume du nuage de vapeurs (en m <sup>3</sup> )	3 720,0	-
Energie d'explosion (en J)	1,2E+10	Pas d'obstacle considéré
<b>Energie d'explosion (en MJ)</b>	<b>12 015,6</b>	

<sup>8</sup> La distance d'effet au seuil de 20 mbar est fixée par la réglementation de façon forfaitaire au double de la distance d'effet à 50 mbar.

<sup>9</sup> Source : Rapport de l'INERIS DRA-09-101660-12814A « Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielles », janvier 2010.



### **b) Détermination de l'indice de violence**

En se basant sur les recommandations de Kinsella, l'indice de violence retenu est de 4 dans le cas de figure considéré :

- énergie d'inflammation = faible,
- degré d'encombrement dû aux obstacles solides = fort,
- nuage inflammable à l'air libre.

Cet indice correspond à celui retenu par le guide INERIS<sup>10</sup> pour une explosion de l'ATEX suite à la ruine du gazomètre.

### **c) Résultats de la modélisation des effets de surpression**

Les résultats de la modélisation des effets de surpression obtenus avec les hypothèses spécifiées ci-dessus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 22 : Effets de surpression – Scénario 3.5

<b>Energie d'explosion (en J)</b>	<b>12 015 600 000</b>			
Pression atmosphérique (en Pa)	101 325			
<b>Indice de violence</b>	<b>4</b>			
Surpression (en mbar)	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar <sup>11</sup>
Distance réduite (en m)	-	-	1,4	/
<b>Distance R * (en m)</b>	Non atteint	Non atteint	<b>68,8</b>	<b>137,6</b>
<b>Distance observée à h = 1,8 m</b>	Non atteint	Non atteint	<b>68,7</b>	<b>137,5</b>

\* à la hauteur du centre de l'explosion (h = 9/2 m)

## **3.2.5 Scénario 3.6 « Explosion de l'ATEX interne dans un gazomètre »**

### 3.2.5.1 Description du scénario d'explosion

Dans le cadre de ce scénario, comme défini dans le guide INERIS (« Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle », 2010), on considère la formation d'une ATEX à la stœchiométrie d'un mélange d'air et de biogaz au sein du gazomètre. Les gazomètres sont constitués de membrane en PVC résistant à 30 mbar. Ainsi, ce scénario peut être assimilé à l'explosion à l'air libre.

### 3.2.5.2 Détermination des zones de dangers

#### **a) Détermination du volume du nuage à la stœchiométrie et de l'énergie de combustion**

Il est considéré la formation d'une ATEX à la stœchiométrie d'un mélange d'air et de méthane (stœchiométrie du CH<sub>4</sub> est de 9,5%) dans le gazomètre. Le volume à considérer est donc le volume total du gazomètre.

<sup>10</sup> Source : Rapport de l'INERIS DRA-09-101660-12814A « Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielles », janvier 2010.

<sup>11</sup> La distance d'effet au seuil de 20 mbar est fixée par la réglementation de façon forfaitaire au double de la distance d'effet à 50 mbar.

Tableau 23 : Energie de combustion – Scénario 3.6

	Valeurs	Commentaires
Concentration en méthane à la stœchiométrie (en %)	9,50%	Caractéristiques du méthane
Chaleur de combustion du mélange air / méthane à la stœchiométrie (en J)	3 230 000	
Masse volumique du méthane (en kg/m <sup>3</sup> )	0,68	Données pour des conditions ambiantes (T =15 °C et P = Patm)
Volume du nuage de vapeurs (en m <sup>3</sup> )	570,0	-
Energie d'explosion (en J)	1,8E+09	Pas d'obstacle considéré
<b>Energie d'explosion (en MJ)</b>	<b>1 841,1</b>	

### ***b) Détermination de l'indice de violence***

En se basant sur les recommandations de Kinsella, l'indice de violence retenu est de 4 dans le cas de figure considéré :

- énergie d'inflammation = faible,
- degré d'encombrement dû aux obstacles solides = fort,
- nuage inflammable à l'air libre.

Cet indice correspond à celui retenu par le guide INERIS<sup>12</sup> pour une explosion de l'ATEX suite à la ruine du gazomètre.

### ***c) Résultats de la modélisation des effets de surpression***

Les résultats de la modélisation des effets de surpression obtenus avec les hypothèses spécifiées ci-dessus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 24 : Effets de surpression – Scénario 3.6

<b>Energie d'explosion (en J)</b>	<b>1 841 100 000</b>			
Pression atmosphérique (en Pa)	101 325			
<b>Indice de violence</b>	<b>4</b>			
Surpression (en mbar)	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar <sup>13</sup>
Distance réduite (en m)	-	-	1,4	/
<b>Distance R * (en m)</b>	Non atteint	Non atteint	<b>36,8</b>	<b>73,6</b>
<b>Distance observée à h = 1,8 m</b>	Non atteint	Non atteint	<b>36,7</b>	<b>73,6</b>

\* à la hauteur du centre de l'explosion (h = 9/2 m)

<sup>12</sup> Source : Rapport de l'INERIS DRA-09-101660-12814A « Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielles », janvier 2010.

<sup>13</sup> La distance d'effet au seuil de 20 mbar est fixée par la réglementation de façon forfaitaire au double de la distance d'effet à 50 mbar.

### 3.3 ANALYSE DU RISQUE EXPLOSION LIE A UN FUITE DE GAZ DANS UN LOCAL

#### 3.3.1 Données et hypothèses de calcul

##### 3.3.1.1 Description du scénario d'explosion

Dans le cadre de l'étude, on considère une fuite au niveau des joints de la canalisation de gaz, le volume en méthane dans le local augmente ensuite jusqu'à atteindre la LIE, volume de gaz qui explose en présence d'une source d'ignition.

Les locaux de traitement/valorisation du biogaz ont un volume total de :

- Container Purification : 87,84 m<sup>3</sup> (12,2 m x 2,4 m sur 3 m de haut),
- Local Chaufferie : 360,15 m<sup>3</sup> (7,35 m x 7 m sur 7 m de haut).

Le volume libre dans les locaux est pris égal à 50 % (hypothèse majorante).

Le container abritant les équipements de purification est en bardage métallique dont toutes les parois sont considérées comme soufflables.

Par contre, les chaudières sont situées dans un local béton et bien que ce local dispose de ventilation en partie basse, il n'est actuellement pas équipé d'évents.

Remarque : Ce scénario suppose que :

- la ventilation du local ne fonctionne pas,
- la pression dans la canalisation de gaz ne chute pas car une baisse de pression entraînerait l'arrêt de l'alimentation en gaz,
- le système de détection de CH<sub>4</sub> dans le local ne fonctionne pas.

##### 3.3.1.2 Caractéristiques du combustible

Dans le cadre du projet, le combustible considéré est le méthane dont les caractéristiques sont rappelées dans le tableau suivant :

Tableau 25 : Caractéristiques du méthane (Source : Yellow Book, TNO, 2005)

Masse volumique (à 15 °C et à P = 1 atm)	Gamma	Température d'auto-inflammation	Caractéristiques d'explosivité			Chaleur de combustion pour un mélange stœchiométrique avec l'air
			Limite inférieure d'explosivité	Concentration stœchiométrique avec l'air	Limite supérieure d'explosivité	
0,68 kg/m <sup>3</sup>	1,305	595 °C	5 %	9,5 %	15 %	3,23 MJ / m <sup>3</sup>

### 3.3.2 Détermination des zones de dangers – Local chaufferie (scénario 5.1)

Les chaudières sont situées dans un local béton et bien que ce local dispose de ventilation en partie basse, il n'est actuellement pas équipé d'évents. Dans ce contexte, une explosion au sein du local chaufferie se passe en atmosphère confinée, la méthode appliquée est donc la suivante :

- calcul de l'énergie d'explosion avec l'équation de Brode,
- application de la méthode multi-énergie avec un indice de violence de 10.

Cette approche correspond à celle recommandée dans le Guide de l'état de l'art sur les silos (INERIS, 2008).

L'enceinte considérée étant une cellule béton, les pressions de rupture suivantes peuvent être considérées pour évaluer l'énergie de l'explosion<sup>14</sup> :

- parois de cellule en béton :  $P_{\text{rupture}} = 150 \text{ à } 1\,000 \text{ mbars}$  ;
- toit de cellule en béton :  $P_{\text{rupture}} = 100 \text{ à } 400 \text{ mbars}$ .

En cas d'explosion dans la chaufferie, la surpression serait donc évacuée par la toiture, la pression de rupture étant plus faible que celle des parois. En l'absence de données spécifiques, et dans une approche majorante, pour le calcul de la pression relative de l'explosion, la pression de rupture maximale de la toiture sera considérée (= 400 mbars).

L'énergie d'explosion déterminée est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 26 : Energie de combustion – Scénario 5.1

	Valeurs	Commentaires
Gamma	1,305	Caractéristique du méthane
Volume libre du local (en m3)	180,08	50% du volume total
[Pex - Patm] (en Pa)	80 000	Enceinte non correctement éventée => Pex - Patm = 2 x pression de rupture de l'enceinte
Energie d'explosion (en J)	47 232 786,9	Application de l'équation de Brode
<b>Energie d'explosion (en MJ)</b>	<b>47,23</b>	

La détermination des distances des effets de surpression s'effectue en appliquant la méthode multi-énergie indice 10. Le rayon des différentes zones de dangers sont donc :

Tableau 27 : Effets de surpression – Scénario 5.1

<b>Energie d'explosion (en J)</b>	<b>47 232 787</b>			
Pression atmosphérique (en Pa)	101 325			
<b>Indice de violence</b>	<b>10</b>			
Surpression (en mbar)	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar
Distance réduite (en m)	1,5	2,3	5,1	/
<b>Distance R (en m)</b>	<b>11,6</b>	<b>18,1</b>	<b>39,8</b>	<b>79,5</b>

<sup>14</sup> Source : Guide de l'état de l'art sur les silos, version 3, 2008 – Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire

### 3.3.3 Détermination des zones de dangers – Local de purification (Scénario 5.2)

#### a) Détermination de l'énergie de combustion

Il est considéré la formation d'une ATEX à la LIE d'un mélange d'air et de méthane (LIE du CH<sub>4</sub> est de 5%) dans le local de combustion (dont le volume libre est fixé à 50%).

Tableau 28 : Energie de combustion – Scénario 5.2

	Valeurs	Commentaires
Concentration en méthane à la LIE (en %)	5,00%	Caractéristiques du méthane
Chaleur de combustion du mélange air / méthane à la LIE (en J)	1 700 000	
Masse volumique du méthane (en kg/m <sup>3</sup> )	0,68	Données pour des conditions ambiantes (T = 15 °C et P = P <sub>atm</sub> )
Volume du nuage de vapeurs (en m <sup>3</sup> )	43,92	50% du volume du local
Masse de gaz inflammable (en kg)	1,49	
Energie d'explosion (en J)	7,5E+07	Pas d'obstacle considéré
<b>Energie d'explosion (en MJ)</b>	<b>74,7</b>	

#### b) Détermination de l'indice de violence

En se basant sur les recommandations de Kinsella (voir annexe), l'indice de violence retenu est compris entre 4 et 5 dans le cas de figure considéré :

- énergie d'inflammation = faible,
- degré d'encombrement dû aux obstacles solides = moyen (près de 30% du volume total du local est occupé par les équipements),
- nuage inflammable en milieu confiné, cependant les parois sont facilement soufflables ;

un **indice de violence de 5** est donc retenu dans le cas considéré. Cet indice correspond à celui retenu par le guide INERIS<sup>15</sup> pour une explosion dans un local de séchage suite à une rupture d'une canalisation de gaz.

#### c) Résultats de la modélisation des effets de surpression

Les résultats de la modélisation des effets de surpression obtenus avec les hypothèses spécifiées ci-dessus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 29 : Effets de surpression – Scénario 5.2

<b>Energie d'explosion (en J)</b>	<b>74 664 000</b>			
Pression atmosphérique (en Pa)	101 325			
<b>Indice de violence</b>	<b>5</b>			
Surpression (en mbar)	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar
Distance réduite (en m)	0,5	0,9	2,2	/
<b>Distance R* (en m)</b>	<b>4,5</b>	<b>8,1</b>	<b>19,9</b>	<b>39,7</b>

<sup>15</sup> Source : Rapport de l'INERIS DRA-09-101660-12814A « Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielles », janvier 2010.

## 3.4 ANALYSE DU RISQUE D'EXPLOSION LIÉ À UNE FUITE DE CANALISATION

### 3.4.1 Description du scénario et hypothèses de calcul

#### 3.4.1.1 Description du scénario

Au sein de l'unité de purification et de production de biométhane, se trouve un surpresseur permettant d'obtenir une pression de biométhane entre 5,5 et 8 barg pour injection au réseau GrDF. Or, lorsqu'un gaz est contenu sous pression dans une capacité et lorsque, par suite d'une perte d'étanchéité, un élément de cette capacité présente un orifice de fuite, le gaz s'en échappe et se mélange à l'air ambiant. Si la fuite se produit à l'air libre et tant qu'elle débite, il est possible d'affirmer que :

- c'est toujours du gaz pur qui est présent dans le plan de l'orifice de fuite,
- au contraire, il existe toujours une zone de l'espace suffisamment éloignée de l'orifice de fuite où la concentration de l'air en gaz déchargé reste très faible voire nulle,
- la fuite génère donc un champ de concentration,
- à cause de ce champ de concentration et dans l'hypothèse où le gaz déchargé est inflammable, il existe toujours une zone de l'espace où la concentration du gaz dans l'air appartient au domaine d'explosivité et où le mélange air-gaz constitue donc une ATEX.

Deux types d'évènements sont à envisager en fonctionnement normal :

- rupture guillotine d'une canalisation provenant d'une agression mécanique (véhicules, travaux...),
- fuites au niveau des brides, de presse-étoupe de vannes ou des joints.

Toutefois, dans le cadre du projet, les canalisations de biométhane sont enterrées après la sortie du local de purification ; par conséquent, le risque d'explosion suite à une rupture guillotine de la canalisation extérieure de biométhane est très peu probable au vu de la configuration des équipements et ne sera pas être pris en considération.

Le principal risque de formation d'une ATEX dans le cas étudié est donc lié à des défauts d'étanchéité des brides, de presse-étoupe de vannes ou des joints.

#### 3.4.1.2 Hypothèses de calcul

Bien que non applicable à la tuyauterie d'usine, les hypothèses validées par le guide méthodologique GESIP pour les canalisations de transports seront utilisés. Ainsi, pour les canalisations aériennes, l'évènement initiateur à retenir est celui de la petite brèche<sup>16</sup> de 12 mm avec rejet horizontal<sup>17</sup>.

Ensuite, la pression interne maximale dans la canalisation de biométhane sera considérée soit 8 bars.

Le délai d'allumage de la masse de gaz considéré est de 60 s. Ce délai est justifié par l'étude de Lannoy (Analyse des explosions air – hydrocarbures en champs libre, 1984), qui indique que statistiquement, le délai d'allumage est généralement court, c'est-à-dire inférieur à 1 min dans 69% des cas étudiés. Les fuites de gaz sont en effet souvent associées à des interventions ou à des travaux, ou bien ont lieu en zone urbaine, qui offrent autant de sources d'ignition potentielles. On notera également qu'un nombre significatif de fuites de gaz ne rencontre pas de source d'ignition et ne produit pas d'explosion.

<sup>16</sup> Les brèches de référence sont définies par une section circulaire du diamètre indiqué (soit, ici, 12 mm).

<sup>17</sup> Un rejet horizontal donne des effets plus importants. Pour une tuyauterie aérienne, sur laquelle il n'y a a priori aucune contrainte d'orientation de rejet, c'est donc le rejet horizontal qui est considéré (sauf cas particulier).

### 3.4.1.3 Caractéristique du combustible

Les caractéristiques du biométhane correspondent à celle du méthane précédemment exposées :

Masse volumique (à 15 °C et à P = 1 atm)	Gamma	Température d'auto-inflammation	Caractéristiques d'explosivité			Chaleur de combustion pour un mélange stœchiométrique avec l'air
			Limite inférieure d'explosivité	Concentration stœchiométrique avec l'air	Limite supérieure d'explosivité	
0,68 kg/m <sup>3</sup>	1,305	595 °C	5 %	9,5 %	15 %	3,23 MJ / m <sup>3</sup>

## 3.4.2 Détermination des zones de dangers – Fuite de la canalisation aérienne de biométhane (Scénario 5.3)

### 1. Détermination du débit de fuite et de la masse de méthane inflammable

Les résultats des calculs pour évaluer le débit massique de gaz sont présentés ci-dessous (les formules de calcul sont issues du Yellow Book, TNO) :

Tableau 30 : Masse de gaz au sein de l'ATEX – Scénario 5.3

Paramètres		Unité	Valeurs	Source
Cd	Coefficient de trainée	-	0,62	Yellow Book, 2005
	Fuite Guillotine (G) ou Brèche (B)		B	
	épaisseur du joint défailant ou de la brèche	m	1,20E-02	
Ah	Section de la brèche	m <sup>2</sup>	1,131E-04	Surface du disque de rupture
γ	Gamma (Méthane)		1,305	Caractéristique du méthane
ρ <sub>réf</sub>	Masse volumique du gaz (à T <sub>réf</sub> et à P <sub>atm</sub> )	kg/m <sup>3</sup>	0,68	Mv du méthane à 15 ° et P <sub>atm</sub>
ρ <sub>0</sub>	<b>Masse volumique du gaz aux conditions T<sub>0</sub> et P<sub>0</sub></b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>5,369</b>	
Pa	Pression atmosphérique	Pa	101325	-
P <sub>0</sub>	Pression de service	Pa	800 000	Pression du biométhane de 8 bar
P <sub>c</sub>	<b>Pression critique</b>	<b>Pa</b>	<b>185 977</b>	
	Nature de l'écoulement		<b>Supersonique</b>	P <sub>0</sub> > P <sub>c</sub>
T	Température de référence	K	288	soit 15 °C
T <sub>0</sub>	Température de service	K	288	-
ψ	<b>Coefficient de fuite supersonique</b>	-	<b>1</b>	
Q	<b>Débit massique supersonique</b>	<b>kg/s</b>	<b>9,71E-02</b>	
t	Délai d'ignition	s	60	-
M	<b>Masse de gaz accumulée au bout de t</b>	<b>kg</b>	<b>5,83</b>	

### 2. Détermination du volume du nuage à la stœchiométrie et de l'énergie de combustion

A partir de la masse de méthane inflammable de 5,83 kg, le volume du nuage de vapeurs à la limite inférieure d'inflammabilité est alors de 171 m<sup>3</sup> soit une énergie de combustion de près de 291 MJ.

Tableau 31 : Energie de combustion – Scénario 5.3

	Valeurs	Commentaires
Concentration en méthane à la LIE	5%	Caractéristiques du méthane
Chaleur de combustion du mélange air/méthane à la LIE (en J/m <sup>3</sup> )	1 700 000	
Masse volumique du méthane (en kg/m <sup>3</sup> )	0,68	Données pour des conditions ambiantes (T = 15 °C et P = P <sub>atm</sub> )
Masse de gaz inflammable (en kg)	5,8	-
Volume du nuage de vapeurs (en m <sup>3</sup> )	171	-
Energie d'explosion (en J)	2,9E+08	Pas d'obstacle considéré
<b>Energie d'explosion (en MJ)</b>	<b>291,3</b>	

### 3. Détermination de l'indice de violence

En se basant sur les recommandations de Kinsella, l'indice de violence retenu est de 3 dans le cas de figure considéré :

- énergie d'inflammation = faible (pas de confinement du nuage, sources d'inflammation courantes),
- degré d'encombrement dû aux obstacles solides = faible,
- nuage inflammable à l'air libre.

### 4. Résultats de la modélisation des effets de surpression

Les résultats de la modélisation des effets de surpression obtenus avec les hypothèses spécifiées ci-dessus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 32 : Effets de surpression – Scénario 5.3

<b>Energie d'explosion (en J)</b>	<b>291 296 201</b>			
Pression atmosphérique (en Pa)	101 325			
<b>Indice de violence</b>	<b>3</b>			
Surpression (en mbar)	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar
Distance réduite (en m)	Non atteint	Non atteint	0,7	/
<b>Distance R (en m)</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>10,0</b>	<b>19,9</b>



## 4 RISQUE FEUX TORCHE

### 4.1 DESCRIPTION DU MODELE D'ÉVALUATION DES EFFETS THERMIQUES D'UN FEU TORCHE

Bien que la canalisation à créer au sein de l'usine ne soit pas une canalisation de transport mais répondant à la définition de tuyauterie d'usine, le guide méthodologique du GESIP pour la réalisation d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport (rapport n°2008/01 – révision 2012) sera utilisé pour déterminer les scénarios de feu torche applicable au site.

Les hypothèses retenues sont celles qui figurent dans l'annexe n° 9 du guide GESIP 2008/01 – Edition septembre 2012), de même que les distances d'effet.

Compte tenu de ces hypothèses, les distances d'effets génériques définies dans le guide du GESIP sont des distances enveloppe, et sont applicables sans justification complémentaire sur tout le territoire français, en tenant compte néanmoins que les tableaux des distances d'effets, hors distance PSI (Plan de Secours et d'Intervention), tiennent compte de l'éloignement des personnes.

Les valeurs des distances d'effet ci-après sont modélisées sur la base de la dose thermique. Cet effet conduit, dans tous les cas de figure étudiés, à des valeurs de distances d'effets supérieures à celles obtenues en modélisant la surpression.

Les valeurs sont calculées en utilisant le logiciel PERSEE mis au point par la Direction de la Recherche et de l'Innovation de GDF SUEZ. L'application de ce modèle, en tenant compte de l'éloignement des personnes, permet de définir des distances d'effets pertinentes pour la maîtrise de l'urbanisation. Ces distances se sont, de fait, révélées majorantes dans les quelques cas d'incident ou d'accidents graves survenus ces dernières années.

Les distances affichées ci-dessous sont également légèrement supérieures aux distances calculées, par des transporteurs et/ou des Administrations, dans d'autres pays européens.

### 4.2 CALCUL DES EFFETS THERMIQUES POUR LE SCENARIO DE FEU TORCHE (SCENARIO 5.4)

#### 4.2.1 Description du scénario et hypothèses de calcul

Le scénario est similaire à celui décrit pour l'explosion d'une ATEX formée suite à une fuite de la canalisation de biométhane (voir détails en partie 4.2.1 en page 30).

Les mêmes hypothèses de calcul seront également considérées :

- Bien que non applicable à la tuyauterie d'usine, les hypothèses validées par le guide méthodologique GESIP pour les canalisations de transports seront utilisés. Ainsi, pour les canalisations aériennes, l'évènement initiateur à retenir est celui de la petite brèche<sup>18</sup> de 12 mm avec rejet horizontal<sup>19</sup>.
- Ensuite, la pression interne maximale dans la canalisation de biométhane sera considérée soit 8 bars.

<sup>18</sup> Les brèches de référence sont définies par une section circulaire du diamètre indiqué (soit, ici, 12 mm).

<sup>19</sup> Un rejet horizontal donne des effets plus importants. Pour une tuyauterie aérienne, sur laquelle il n'y a a priori aucune contrainte d'orientation de rejet, c'est donc le rejet horizontal qui est considéré (sauf cas particulier).

#### 4.2.2 Résultats de la modélisation des effets thermiques

Les distances d'effets sont calculées par extrapolation par rapport aux distances d'effets préétablies par le GESIP pour différentes pressions maximales de service :

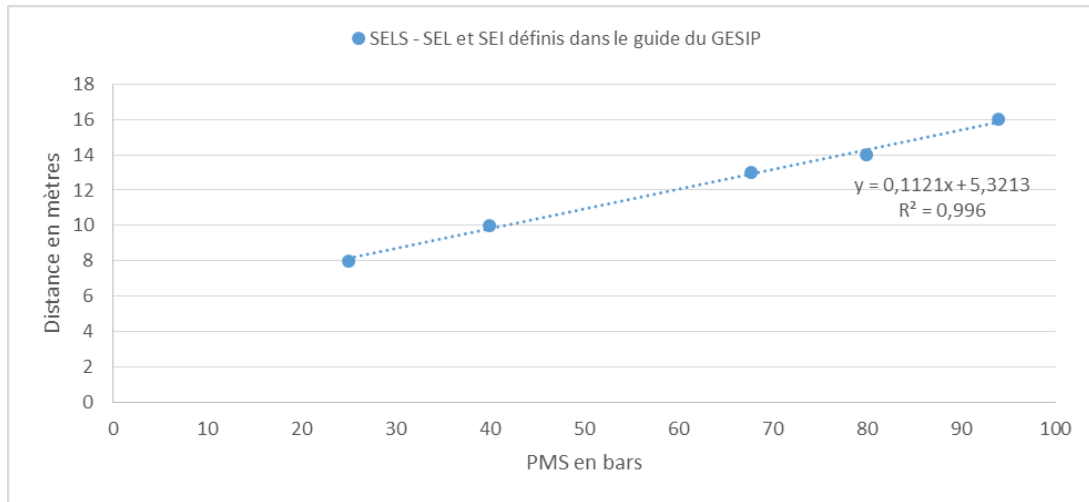


Figure 3 : Distances d'effets pour le phénomène dangereux de petite brèche (12 mm) avec rejet horizontal à la pression maximale de service suivie de l'inflammation immédiate du rejet

Le tableau ci-après présente les résultats des calculs des effets thermiques :

Tableau 33 : Définition des rayons des zones de dangers – Feu torche (scénario 6.4)

Zones	Zone des dangers significatifs pour la vie humaine	Zone des dangers graves pour la vie humaine	Zone des dangers très graves pour la vie humaine correspondant à la zone seuil pour les effets domino
<b>Flux thermique correspondant</b>	600 [(kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> ].s	1 000 [(kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> ].s	1 800 [(kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> ].s
Scénario 5.4 – P = 8 bars	6,2 mètres	6,2 mètres	6,2 mètres

## 5 RISQUE DISPERSION TOXIQUE

### 5.1 DESCRIPTION DU MODELE DE DISPERSION ACCIDENTELLE

La modélisation de la dispersion atmosphérique accidentelle, a été réalisée à l'aide du logiciel CAMEO - ALOHA (version 5.4.7 de septembre 2016), modèle développé par deux entités américaines : l'Environmental Protection Agency's Office of Emergency Prevention, Preparedness and Response" (EPA) et le "National Oceanic and Atmospheric Administration's Office of Response and Restoration" (NOAA).

Le logiciel se compose :

- du module CAMEO qui contient principalement des bases de données chimiques et toxicologiques,
- du module ALOHA (« Areal Locations of Hazardous Atmospheres ») qui est un programme informatique permettant d'évaluer, dans des situations d'urgence, la dispersion atmosphérique, de composés rejetés dans des conditions accidentelles. Il prend en compte les propriétés toxicologiques et physiques des polluants, et les caractéristiques du site telles que les conditions atmosphériques et les conditions de rejets. Ce module comprend une bibliothèque de 700 substances chimiques et permet un affichage graphique des résultats.

### 5.2 ANALYSE DU RISQUE DE DISPERSION TOXIQUE DE H<sub>2</sub>S

#### 5.2.1 Description du scénario et caractérisation de la source d'émission

##### 5.2.1.1 Description du scénario

Dans le cas du site, compte-tenu du risque de surpression, plusieurs systèmes de sécurité ont été prévus à la conception du digesteur :

- Sécurité 1 : A partir de 28 mbar, le biogaz alimente la torchère,
- Sécurité 2 : Si la torchère est hors service, son alimentation est interrompue. La pression de biogaz continue à monter dans le réseau biogaz. Ce dernier est équipé au niveau haut de chacun des digesteurs relié à une soupape tarée à 33 mbar. Lorsque la pression dépasse 33 mbar, la soupape s'ouvre et le biogaz est évacué à l'atmosphère.
- Sécurité 3 : en dernier recours, le toit du digesteur est soufflable, sa pression statique d'ouverture est de 150 mbar<sup>20</sup>, son ouverture permet de conserver l'intégrité de la structure du digesteur.

Le scénario considéré (scénario 3.2) est le suivant :

- montée en pression dans le digesteur à plus de 33 mbar et évacuation de l'énergie d'explosion à l'atmosphère par la soupape de sécurité et le biogaz contenu dans le digesteur se décomprime rapidement (scénario 3.1 traité précédemment) ;
- dispersion du nuage de biogaz dont la toxicité est liée à la présence de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S).

<sup>20</sup> Pression statique d'ouverture standard sur ce type d'équipement comprise entre 100 et 150 mbar (Source : INERIS, Rapport d'étude « Scénarios accidentels et modélisation d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle », janvier 2010. La pression maximale de 150 mbar est retenue pour les modélisations.

### 5.2.1.2 Composé chimique

Les caractéristiques du biogaz contenu dans le digesteur sont les suivantes :

- Température moyenne : 30°C ;
- Teneur en méthane : 62%,
- Teneur maximale en sulfure d'hydrogène : 2 500 ppm.

Le composé toxique considéré est le sulfure d'hydrogène, gaz dont les seuils de toxicité associés sont présentés dans le tableau ci-dessous (voir fiche INERIS en annexe) :

Tableau 34 : Seuil des effets toxiques du sulfure d'hydrogène (Source : fiche INERIS)

Concentration	Temps (min.)				
	1	10	20	30	60
Seuil des effets létaux significatifs – SELS · mg/m <sup>3</sup> · ppm	2 408	1 077	847	736	580
	1 720	769	605	526	414
Seuil des premiers effets létaux – SPEL · mg/m <sup>3</sup> · ppm	2 129	963	759	661	521
	1 521	688	542	472	372
Seuil des effets irréversibles – SEI · mg/m <sup>3</sup> · ppm	448	210	161	140	112
	320	150	115	100	80

### 5.2.1.3 Définition des sources d'émission

Considérant les caractéristiques de la soupape de sécurité (DN200), le débit de fuite déterminé pour le méthane est de 1,27 kg/s soit 1,9 m<sup>3</sup>/s.

Au regard des caractéristiques du biogaz, le **débit de sulfure d'hydrogène est de 0,46 m<sup>3</sup>/min.**

Tableau 35 : Débit de rejet en H<sub>2</sub>S

Masse volumique du méthane aux conditions T et P dans le digesteur	0,667	kg/m <sup>3</sup>
Débit de CH <sub>4</sub> en sortie de la soupape	1,27E+00	kg/s
	1,90E+00	m <sup>3</sup> /s
Teneur moyenne en méthane du biogaz	62%	-
Teneur maximale en H <sub>2</sub> S	2 500	ppm
Débit de H <sub>2</sub> S en sortie de la soupape	7,67E-03	m <sup>3</sup> /s
	4,60E-01	m <sup>3</sup> /min

La source d'émission considérée dans le logiciel ALOHA pour modéliser ce scénario est une source directe. Les caractéristiques d'une source directe utilisée lors de la modélisation sont :

- Type de rejet (instantané ou continu),
- Hauteur du rejet,
- Flux de polluant rejeté à l'atmosphère,
- Durée d'émission pour un rejet continu (limitée à 60 min par le logiciel),
- Etat du composé stocké (gaz / liquide)
- Température et pression à laquelle le polluant était stocké,

*Tableau 36 : Paramètres de modélisation du rejet en H2S par la soupape de sécurité*

	Caractéristiques d'émission	Commentaire
Type de rejet	Continu	-
Durée d'émission	60 min	Hypothèse majorante qui suppose une émission continue par la soupape pendant 1 h
Hauteur	12 mètres	Hauteur de la soupape
Flux d'émission	0,46 m <sup>3</sup> /min	Cf. calcul en page précédente
Etat du composé	Gazeux	-
Température	30°C	Température du biogaz
Pression	1,03 atm	Pression de déclenchement de la soupape de sécurité = 33 mbar Pression dans le digesteur au déclenchement de la soupape = 1 atm + 33 mbar

En retenant une durée d'exposition de 60 minutes, les seuils des effets toxiques à considérer pour le H<sub>2</sub>S sont donc :

- SELS (seuils des effets létaux significatifs) : 414 ppm ;
- SEL (seuil des effets létaux) : 372 ppm ;
- SEI (seuil des effets irréversibles) : 80 ppm.

### 5.2.2 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques sont principalement définies par 3 paramètres :

- la stabilité atmosphérique,
- la vitesse du vent,
- la température ambiante.

Dans le modèle ALOHA, la stabilité atmosphérique est décrite à l'aide des classes de stabilité de Pasquill. On distingue six classes allant des atmosphères très instables (A, B) aux atmosphères très stables (E et F) en passant par des atmosphères neutres (C, D).

La circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers [...] recommande de calculer les distances d'effets pour les conditions suivantes dans le **cas d'un rejet en altitude ou d'un rejet vertical** :

*Tableau 37 : Conditions météorologiques considérées pour la dispersion accidentelle*

N°	Stabilité atmosphérique		Vitesse de vent à une altitude de 10 m	Température ambiante
1	A	Atmosphère très instable	3 m/s	20°C
2	B	Atmosphère très instable	3 m/s	20°C
3			5 m/s	20°C
4	C	Atmosphère neutre	5 m/s	20°C
5			10 m/s	20°C
6	D	Atmosphère neutre	5 m/s	20°C
7			10 m/s	20°C
8	E	Atmosphère très stable	3 m/s	20°C
9	F	Atmosphère très stable	3m/s	15°C

Dans tous les cas de figure, l'humidité relative peut être retenue égale à 70 % (circulaire de 2010) et on suppose une couverture nuageuse correspond à la stabilité atmosphérique considérée.

Concernant la rugosité du sol, elle est fixée pour le site à 0,3 m correspond à la longueur de rugosité pour des terrains ouverts avec peu de construction (« Open Country » dans le logiciel ALOHA)..

La distance obtenue avec ALOHA est indépendante de la direction de vent.

### 5.2.3 Détermination des rayons d'effets toxiques (Scénario 3.2)

Les résultats de modélisations sont fournis en annexe. Les distances estimées par le logiciel ALOHA pour les différents seuils de toxicité sont les suivants :

Tableau 38 : Distance d'effets toxiques – Scénario 3.2

Zones	SELS	SEL	SEI
Seuil correspondant H <sub>2</sub> S	414 ppm	372 ppm	80 ppm
Condition météorologique A3 – 20°C	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Condition météorologique B3 – 20°C	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Condition météorologique B5 – 20°C	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Condition météorologique C5 – 20°C	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Condition météorologique C10 – 20°C	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Condition météorologique D5 – 20°C	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Condition météorologique D10 – 20°C	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Condition météorologique A3 – 20°C	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Condition météorologique F3 – 15°C	Non atteint	Non atteint	Non atteint

## 6 CARTOGRAPHIE DES ZONES DE DANGERS

Le rayon des différentes zones de dangers sont donc :

Tableau 39 : Définition des rayons des zones de dangers (à hauteur d'homme)

Zones		Zone des dangers très graves pour la vie humaine correspondant à la zone seuil pour les effets domino	Zone des dangers graves pour la vie humaine	Zone des dangers significatifs pour la vie humaine	Zone des effets indirects par bris de vitre	
<b>Seuil effet de surpression</b>		<b>200 mbar</b>	<b>140 mbar</b>	<b>50 mbar</b>	<b>20 mbar</b>	
Enceinte vide	Digesteur - Sc. 3.1	<i>Non atteint</i>	42,5 m	105,6 m	211,7 m	
Enceinte pleine	Digesteur – évacuation surpression par soupape – Sc. 3.3	Phase 1	<i>Non atteint</i>	<i>Non atteint</i>	47,5 m	
		Phase 2	<i>Non atteint</i>	<i>Non atteint</i>	21,1 m	
	Digesteur – évacuation surpression par toit – Sc. 3.4	Phase 1	<i>Non atteint</i>	16,2 m	39,4 m	80,2 m
		Phase 2	22,6 m	50,9 m	72,7 m	146,2 m
Gazomètre	Ruine du gazomètre - Sc. 3.5	<i>Non atteint</i>	<i>Non atteint</i>	68,7 m	137,5 m	
	Explosion interne – Sc. 3.6	<i>Non atteint</i>	<i>Non atteint</i>	36,7 m	73,6 m	
Unité gaz	Local chaufferie – Sc. 5.1	11,6 m	18,1 m	39,8 m	79,5 m	
	Local purification – Sc. 5.2	4,5 m	8,1 m	19,9 m	39,7 m	
	Canalisation biométhane – Sc. 5.3	<i>Non atteint</i>	<i>Non atteint</i>	10,0 m	19,9 m	
<b>Seuil des effets thermiques – Feu torche</b>		<b>1 800 [(kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>].s</b>	<b>1 000 [(kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>].s</b>	<b>600 [(kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>].s</b>	/	
Unité gaz	Canalisation biométhane – Sc. 5.4	6,2 m	6,2 m	6,2 m		
<b>Seuil des effet toxiques – H<sub>2</sub>S</b>		<b>414 ppm</b>	<b>372 ppm</b>	<b>80 ppm</b>		
Enceinte	Digesteur – évacuation surpression par soupape – Sc. 3.2 Pour toutes les conditions météo	<i>Non atteint</i>	<i>Non atteint</i>	<i>Non atteint</i>		

Les cartographies des zones de risques significatifs concernant les risques majeurs figurent en page suivante.

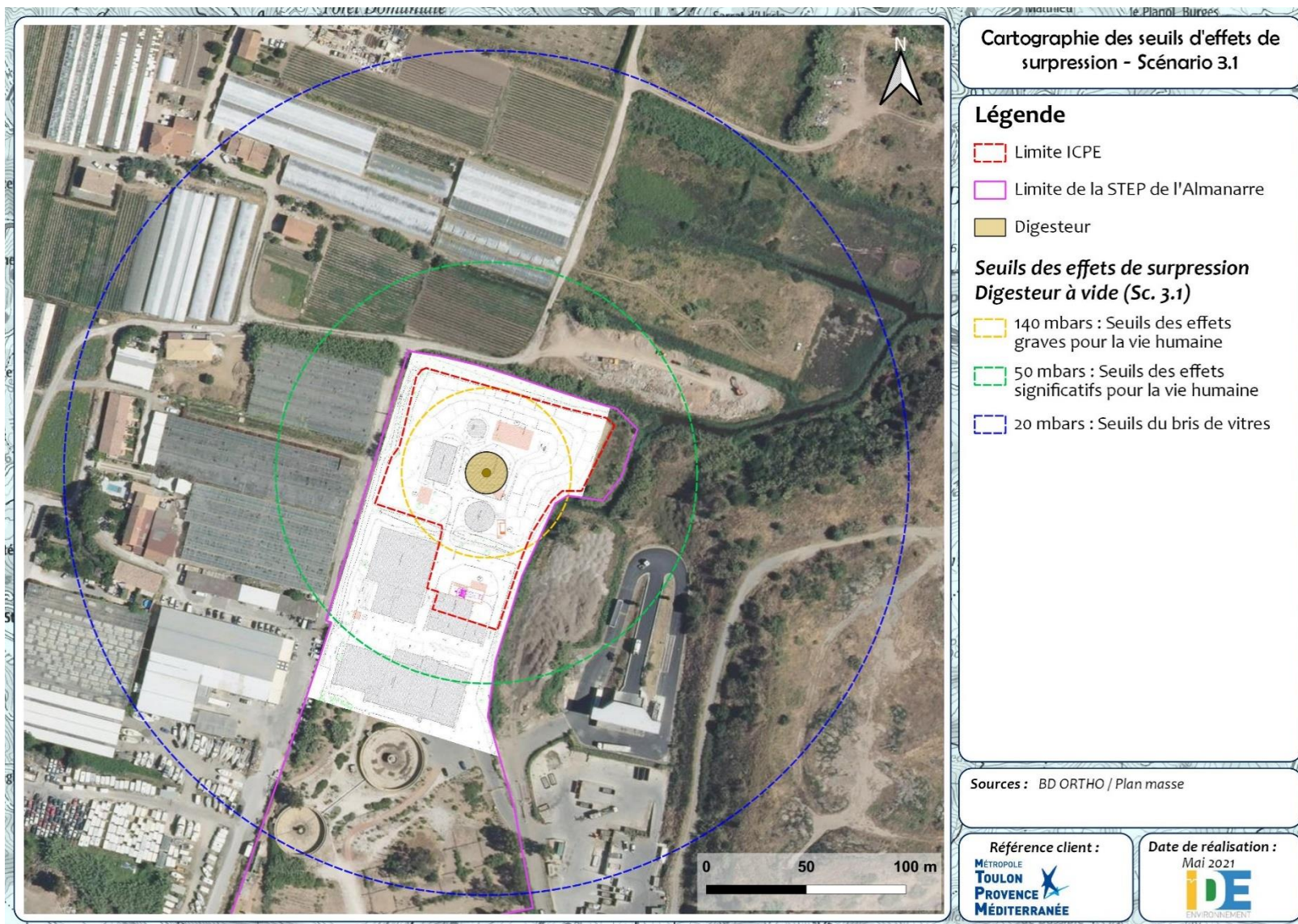


Figure 4 : Cartographie des seuils d'effets pour le scénario 3.1



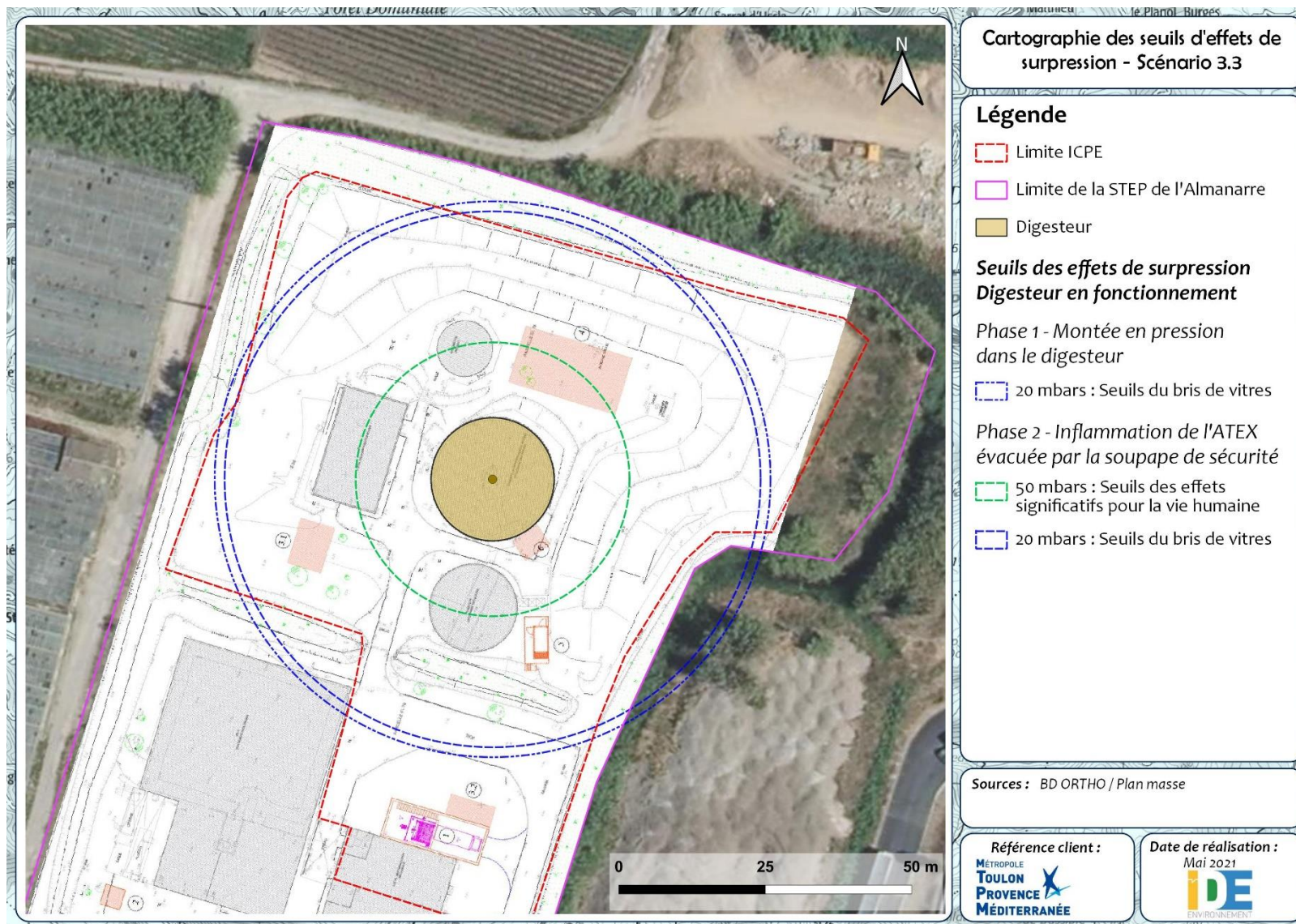


Figure 5 : Cartographie des seuils d'effets pour le scénario 3.3

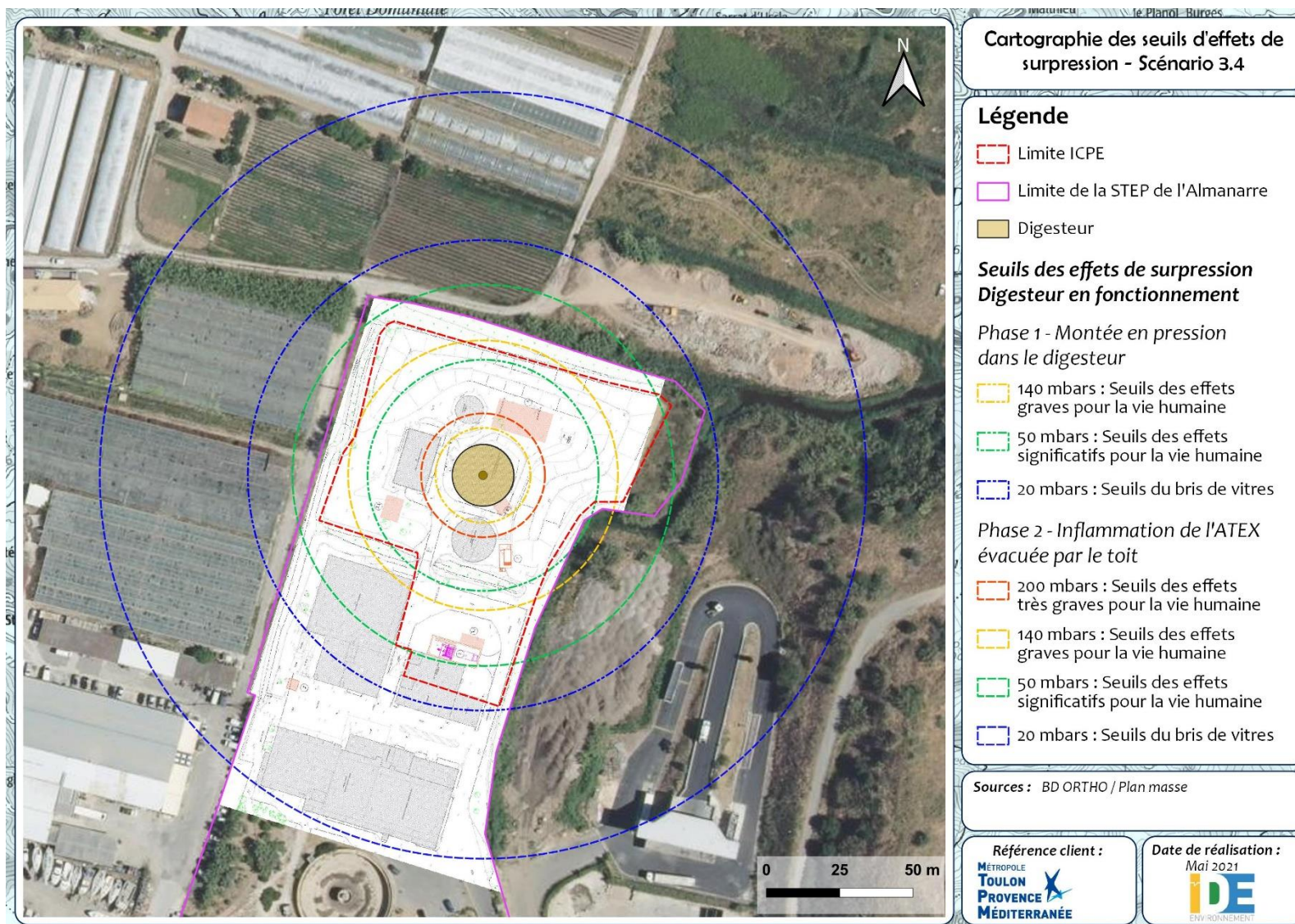


Figure 6 : Cartographie des seuils d'effets pour le scénario 3.4

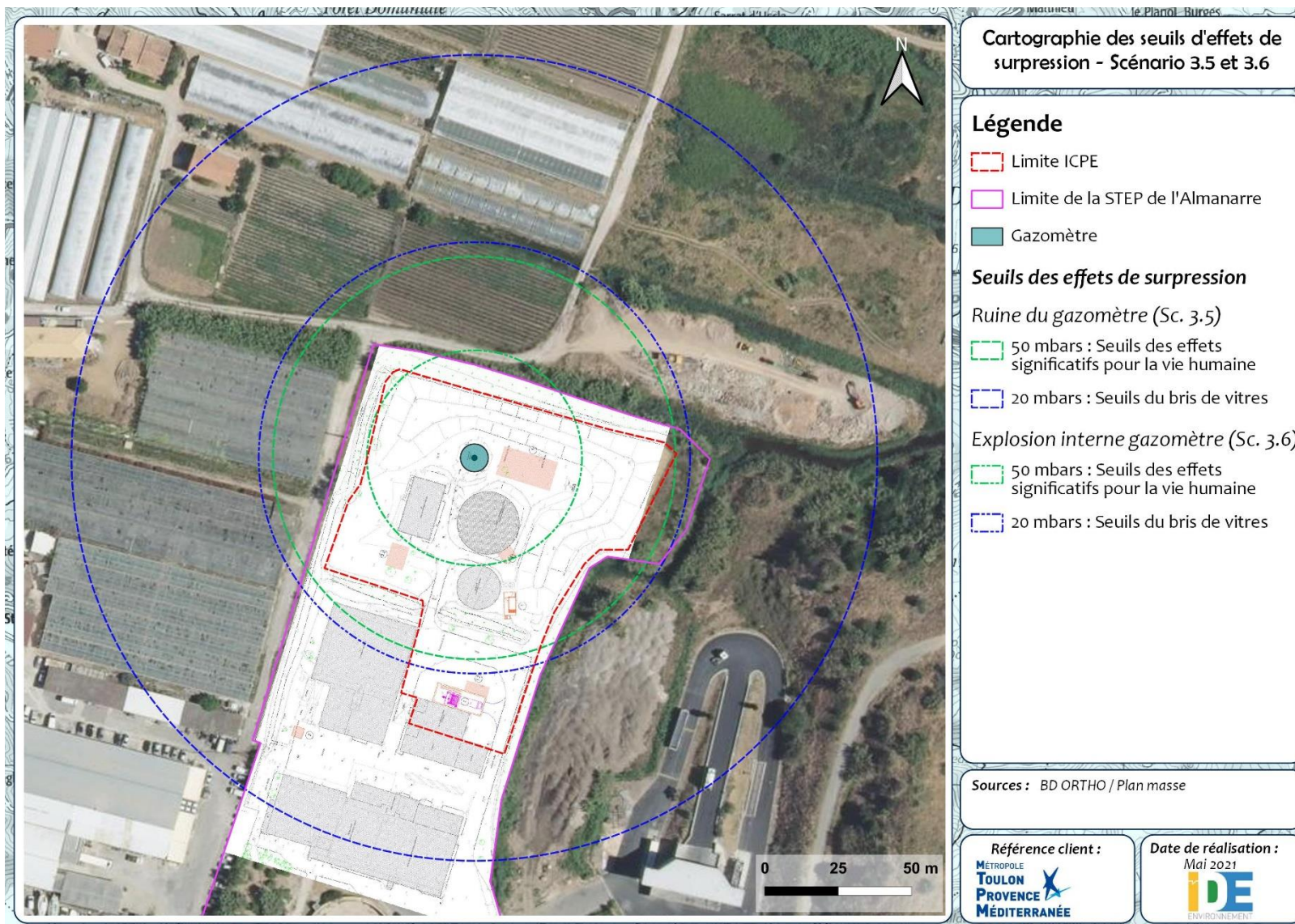


Figure 7 : Cartographie des seuils d'effets pour les scénarios 3.5 et 3.6

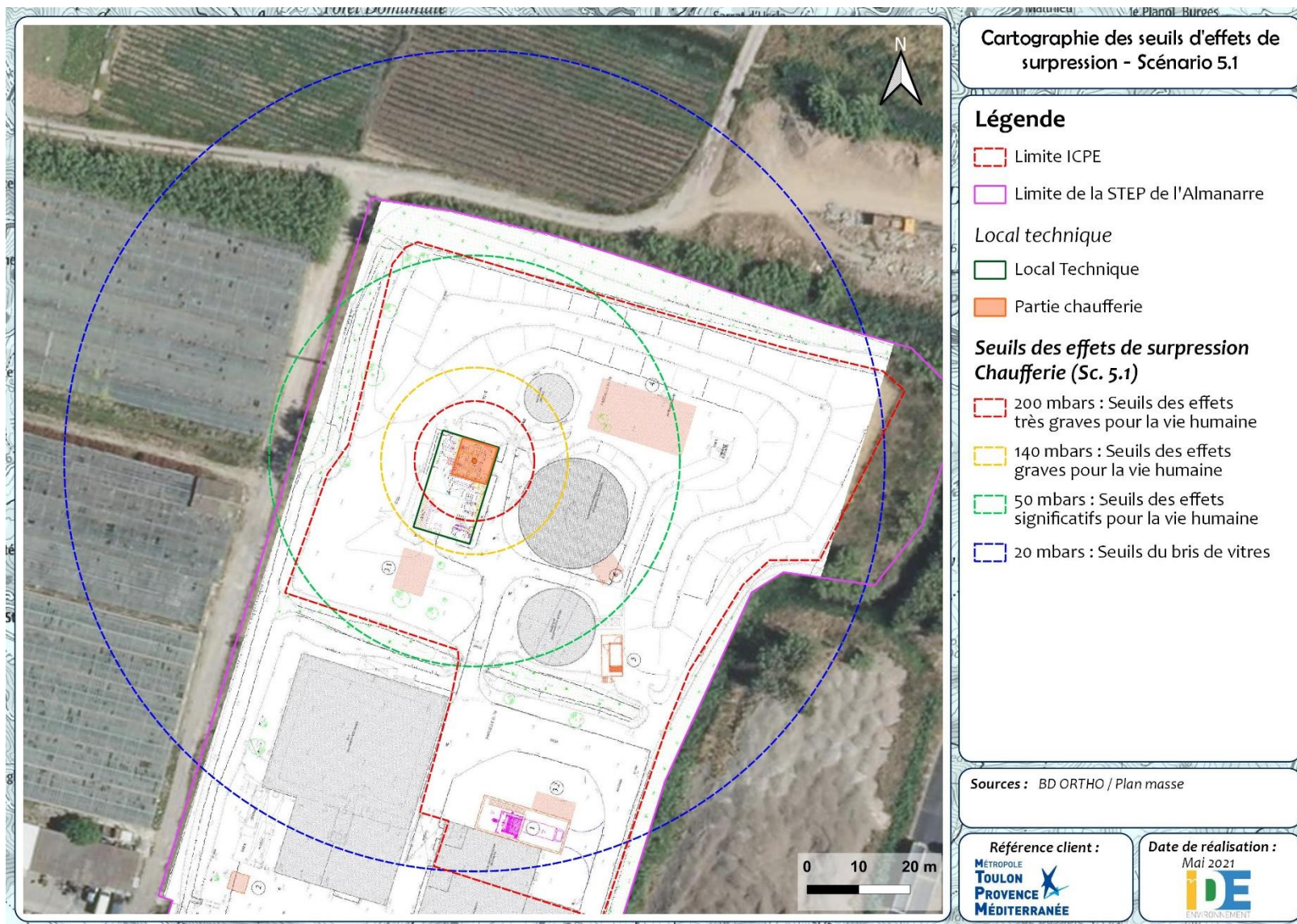


Figure 8 : Cartographie des seuils d'effets pour le scénario 5.1

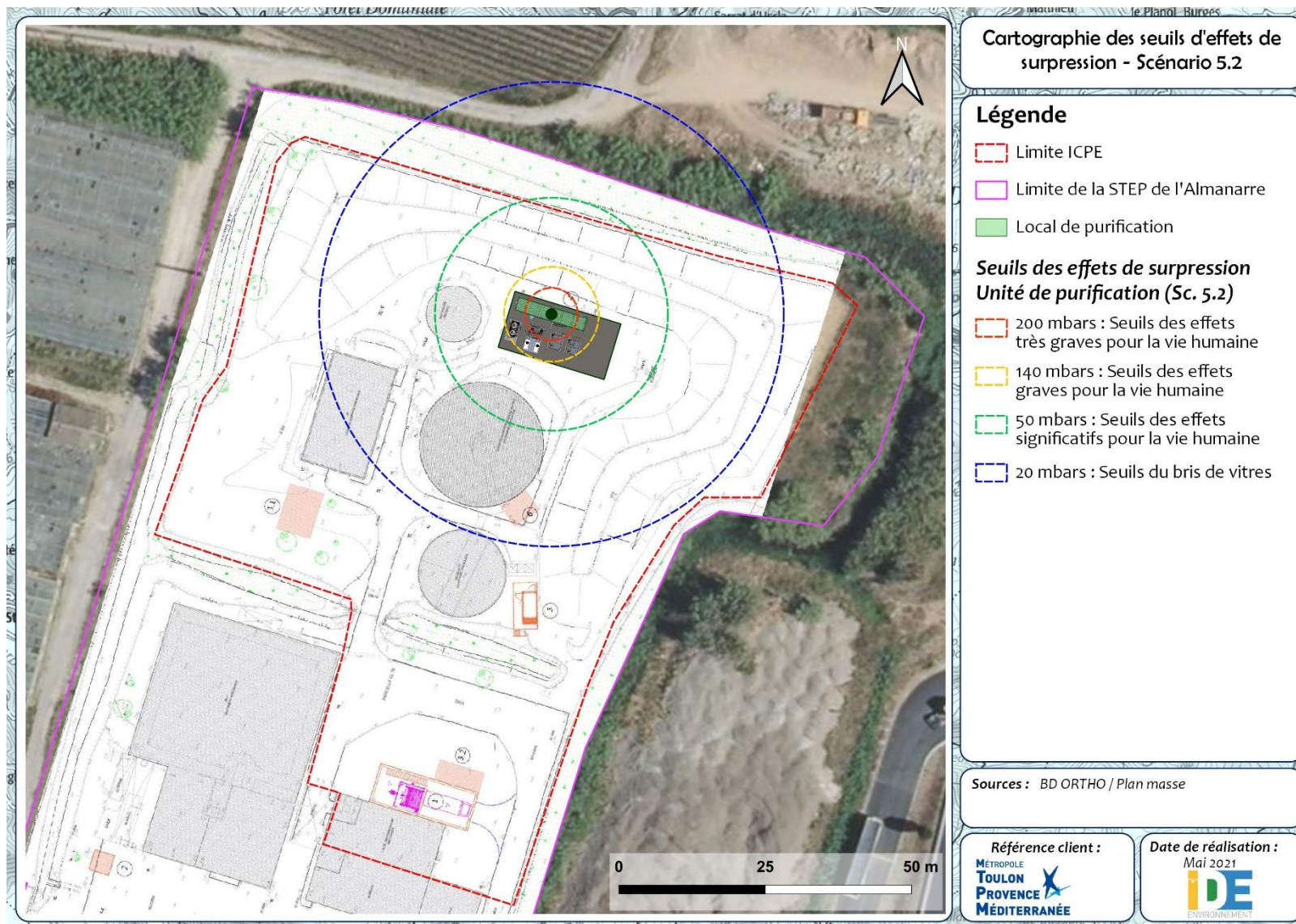


Figure 9 : Cartographie des seuils d'effets pour le scénario 5.2

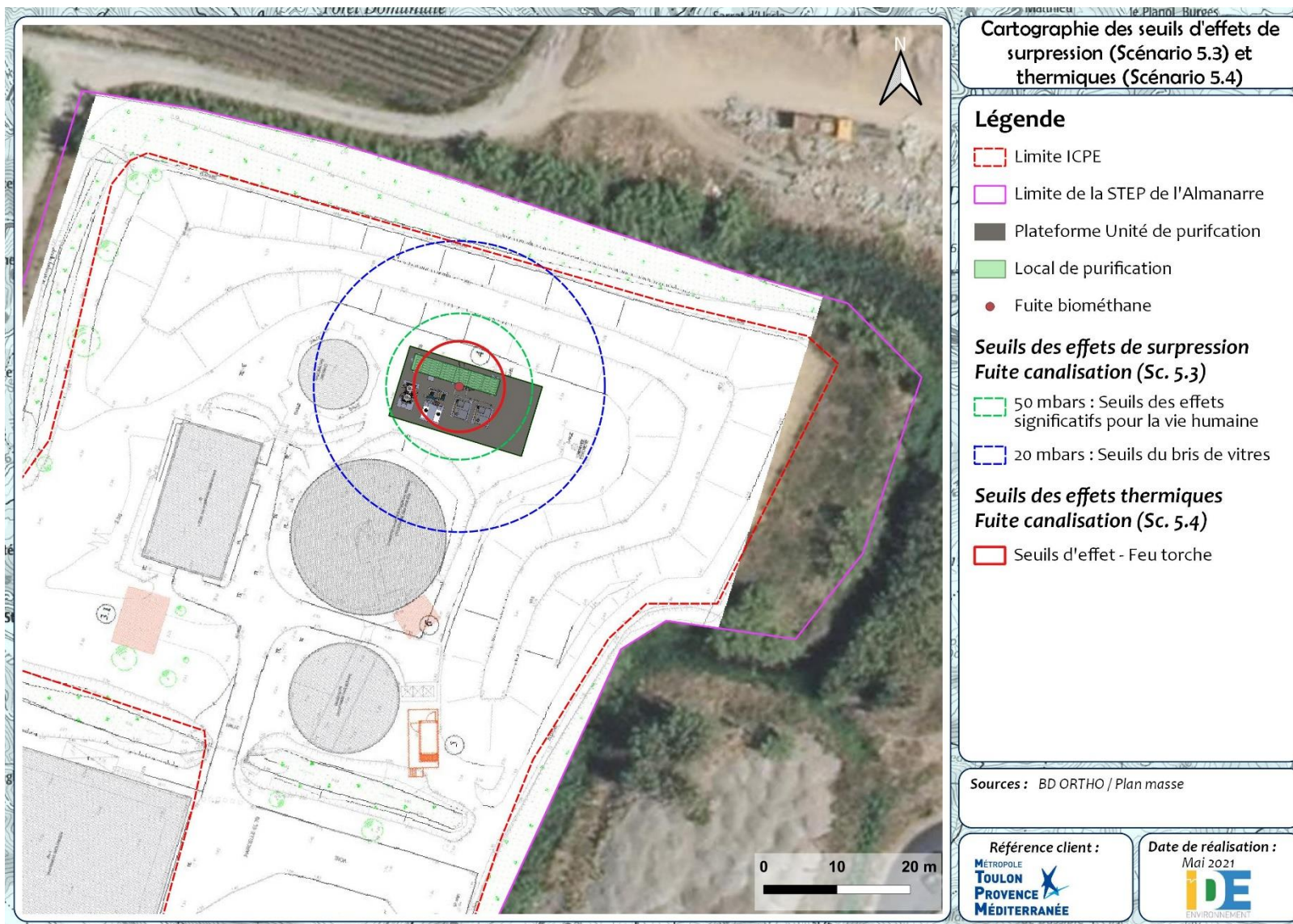


Figure 10 : Cartographie des seuils d'effets pour les scénarios 5.3 et 5.4

## 7 COTATION DE LA GRAVITE ET EFFET DOMINO

### 7.1 COTATION DE LA GRAVITE

#### 7.1.1 Grille de cotation de la gravité

Le niveau de gravité sera déterminé d'après l'échelle d'appréciation de la gravité des conséquences humaines d'un accident à l'extérieur des installations, présentée en annexe 3 de l'arrêté du 29 septembre 2005 et reproduite ci-dessous :

Tableau 40 : Cotation de la gravité pour les effets sur les personnes

	niveau de gravité	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles
5	<b>désastreux</b>	> 10 personnes exposées	> 100 personnes exposées	>1000 personnes exposées
4	<b>catastrophique</b>	< 10 personnes exposées	entre 10 et 100 personnes	entre 100 et 1 000 personnes exposées
3	<b>important</b>	au plus 1 personne exposée	entre 1 et 100 personnes	entre 10 et 100 personnes exposées
2	<b>sérieux</b>	aucune personne exposée	au plus 1 personne	< 10 personnes exposées
1	<b>modéré</b>	pas de zone de létalité hors de l'établissement		présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à "une personne"

Pour les scénarios dont l'ensemble des rayons d'effet sont contenu dans les limites du site, la gravité sera notée 1\*.

#### 7.1.2 Gravité potentielle

La fiche 1 de la circulaire du 10 mai 2010 (relative à la méthodologie de comptage des personnes pour la détermination de la gravité des accidents) permet de comptabiliser le nombre de personnes extérieures à proximité du site :

- pour les voies de circulation : 0,4 personnes permanentes par km exposés par tranche de 100 véhicules / jour ;
- pour les terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friche ....) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- pour les terrains aménagés mais peu fréquentés (jardins et zones horticoles, vignes, zones de pêche, gare de triage ....) : 1 personne par tranche de 10 ha.

Tableau 41 : Gravité des différents scénarios

Seuils d'effet	Caractéristique de la cible en dehors du site où l'effet serait observé	Nombre de personnes extérieures au site	Niveau de gravité	
Sc. 3.1	SELS	Seuil non atteint	/	
	SEL	80 m <sup>2</sup> au niveau du cours d'eau et du talus sur le centre de transfert de déchets non dangereux => Terrain non aménagé et très peu fréquenté	$80 \cdot 10^{-4} / 100 = 0,00008$ personnes => Au plus une personne exposée	2
	SEI	20 136 m <sup>2</sup> au niveau des serres horticoles et des champs à l'Est, et du centre de transfert à l'Ouest => Principalement, des terrains aménagés mais peu fréquentés	$20136 \cdot 10^{-4} / 10 = 0,2$ personnes => Au plus une personne exposée	1
Sc. 3.2	SELS	Seuil non atteint	/	
	SEL	Seuil non atteint	/	
	SEI	Seuil non atteint	/	
Sc. 3.3	SELS	Seuil non atteint	/	
	SEL	Seuil non atteint	/	
	SEI	Seuil des effets contenus dans le site	/	1*
Sc. 3.4	SELS	Seuil des effets contenus dans le site	/	1*
	SEL	73 m <sup>2</sup> au niveau du cours d'eau et du talus sur le centre de transfert de déchets ménagers => Terrain non aménagé et très peu fréquenté	$73 \cdot 10^{-4} / 100 = 0,000073$ personnes => Au plus une personne exposée	2
	SEI	3188 m <sup>2</sup> au niveau des chemins d'accès aux serres horticoles à l'Est => Terrains aménagés mais peu fréquentés 170 m <sup>2</sup> au niveau du talus sur le centre de transfert de déchets non dangereux => Terrain non aménagé et très peu fréquenté	$3188 \cdot 10^{-4} / 10 + 170 \cdot 10^{-4} / 100 = 0,032$ => Au plus une personne exposée	1
Sc. 3.5	SELS	Seuil non atteint	/	
	SEL	Seuil non atteint	/	
	SEI	430 m <sup>2</sup> au niveau des serres horticoles et des champs à l'Est => Terrains aménagés mais peu fréquentés 91 m <sup>2</sup> au niveau du talus sur le centre de transfert de déchets non dangereux => Terrain non aménagé et très peu fréquenté	$430 \cdot 10^{-4} / 10 + 91 \cdot 10^{-4} / 100 = 0,004$ => Au plus une personne exposée	1
Sc. 3.6	SELS	Seuil non atteint	/	
	SEL	Seuil non atteint	/	
	SEI	88 m <sup>2</sup> au niveau du cours d'eau et du chemin d'accès Nord des serres horticoles => Terrains aménagés mais peu fréquentés	$88 \cdot 10^{-4} / 10 = 0,00088$ personnes => Au plus une personne exposée	1
Sc. 5.1	SELS	Seuil des effets contenus dans le site	/	1*
	SEL	Seuil des effets contenus dans le site	/	1*
	SEI	85 m <sup>2</sup> au niveau du chemin d'accès Ouest des serres horticoles => Terrains aménagés mais peu fréquentés	$85 \cdot 10^{-4} / 10 = 0,00088$ personnes => Au plus une personne exposée	1
Sc. 5.2	SELS	Seuil non atteint	/	
	SEL	Seuil non atteint	/	
	SEI	Seuil des effets contenus dans le site	/	1*



Seuils d'effet		Caractéristique de la cible en dehors du site où l'effet serait observé	Nombre de personnes extérieures au site	Niveau de gravité
Sc. 5.3	SELS	Seuil non atteint	/	/
	SEL	Seuil non atteint	/	/
	SEI	Seuil des effets contenus dans le site	/	1*
Sc. 5.4	SELS	Seuil des effets contenus dans le site	/	1*
	SEL	Seuil des effets contenus dans le site	/	1*
	SEI	Seuil des effets contenus dans le site	/	1*

## 7.2 EFFET DOMINO

Le seuil des effets domino n'est atteint que pour les scénarios :

- 3.4 : Inflammation de l'ATEX formée par le biogaz en sortie du toit soufflable du digesteur,
- 5.1 : Inflammation d'une ATEX dans le local chaufferie suite à une fuite de canalisation,
- 5.2 : Inflammation d'une ATEX dans le local de purification suite à une fuite de canalisation,
- 5.4 : Feu torche suite à une fuite de la canalisation de biométhane (aérienne au sein de l'unité de purification).

Dans le cas d'une explosion au niveau du digesteur (scénario 3.1), le seuil des effets domino atteint :

- le gazomètre pouvant engendrer la ruine du gazomètre (scénario accidentel déjà pris en considération dans l'analyse des risques - scénario 3.5) ;
- la plateforme de purification du biogaz pouvant générer un endommagement des équipements voire une déformation légère des canalisations<sup>21</sup> mais le seuil des effets domino n'atteint pas le local de purification ;
- le local technique mais les murs en béton devraient protéger les équipements, des fissures sont toutefois susceptibles d'apparaître sur les murs,
- du stockeur de digestats (cuve béton) où des fissures pourraient apparaître.

Pour le local chaufferie (scénario 5.1), le seuil des effets domino n'atteint aucun autre équipement sur le site.

Concernant le local de purification (scénario 5.2), le seuil des effets domino n'atteint aucun équipement à l'extérieur de la plateforme de l'unité de purification.

Au sein de la plateforme, une explosion dans le local de purification pourrait engendrer un endommagement des équipements voire des canalisations aériennes sortant directement du local et donc exposées à des seuils d'effet importants. Une fuite au niveau de la canalisation de biométhane a d'ores-et-déjà été prise en considération dans l'analyse des risques (scénario 5.3 et 5.4).

En cas de feu torche au niveau de la partie aérienne de la canalisation de biométhane au sein de l'unité de purification (scénario 5.4), des dégradations de matériels sur la plateforme sont à redouter.

<sup>21</sup> Pas de risque de rupture, la rupture de canalisation n'interviendrait que pour des surpressions de 350 à 400 mbar (Source : *Guide technique relatif aux valeurs de référence des seuils d'effets des phénomènes accidentels des installations classées*, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable).

## **8 ANNEXES**

---

*Annexe 1 : Notes de calcul ALOHA*

## **Annexe 1 : Notes de calcul ALOHA**

**SITE DATA:**

**Location:** FRANCE, HYERES, FRANCE  
**Building Air Exchanges Per Hour:** 0.54 (unsheltered single storied)  
**Time:** May 7, 2021 1901 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**

**Chemical Name:** HYDROGEN SULFIDE  
**CAS Number:** 7783-6-4                      **Molecular Weight:** 34.08 g/mol  
**AEGL-1 (60 min):** 0.51 ppm    **AEGL-2 (60 min):** 27 ppm    **AEGL-3 (60 min):** 50 ppm  
**IDLH:** 100 ppm              **LEL:** 40000 ppm              **UEL:** 440000 ppm  
**Ambient Boiling Point:** -60.3° C  
**Vapor Pressure at Ambient Temperature:** greater than 1 atm  
**Ambient Saturation Concentration:** 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

**Wind:** 3 meters/second from 0° true at 10 meters  
**Ground Roughness:** open country              **Cloud Cover:** 0 tenths  
**Air Temperature:** 20° C  
**Stability Class:** A (user override)  
**No Inversion Height**                              **Relative Humidity:** 70%

**SOURCE STRENGTH:**

**Direct Source:** 0.46 cubic feet/min              **Source Height:** 12 meters  
**Source State:** Gas  
**Source Temperature:** 30° C  
**Source Pressure:** 1.03 atmospheres  
**Release Duration:** 60 minutes  
**Release Rate:** 18.5 grams/min  
**Total Amount Released:** 1.11 kilograms

**THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)**

**Model Run:** Gaussian  
**Red** : LOC is not exceeded --- (414 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Orange:** LOC is not exceeded --- (372 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Yellow:** LOC is not exceeded --- (80 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.

**SITE DATA:**

**Location:** FRANCE, HYERES, FRANCE  
**Building Air Exchanges Per Hour:** 0.54 (unsheltered single storied)  
**Time:** May 7, 2021 1904 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**

**Chemical Name:** HYDROGEN SULFIDE  
**CAS Number:** 7783-6-4                      **Molecular Weight:** 34.08 g/mol  
**AEGL-1 (60 min):** 0.51 ppm    **AEGL-2 (60 min):** 27 ppm    **AEGL-3 (60 min):** 50 ppm  
**IDLH:** 100 ppm              **LEL:** 40000 ppm              **UEL:** 440000 ppm  
**Ambient Boiling Point:** -60.3° C  
**Vapor Pressure at Ambient Temperature:** greater than 1 atm  
**Ambient Saturation Concentration:** 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

**Wind:** 3 meters/second from 0° true at 10 meters  
**Ground Roughness:** open country              **Cloud Cover:** 3 tenths  
**Air Temperature:** 20° C  
**Stability Class:** B (user override)  
**No Inversion Height**                              **Relative Humidity:** 70%

**SOURCE STRENGTH:**

**Direct Source:** 0.46 cubic feet/min              **Source Height:** 12 meters  
**Source State:** Gas  
**Source Temperature:** 30° C  
**Source Pressure:** 1.03 atmospheres  
**Release Duration:** 60 minutes  
**Release Rate:** 18.5 grams/min  
**Total Amount Released:** 1.11 kilograms

**THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)**

**Model Run:** Gaussian  
**Red** : LOC is not exceeded --- (414 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Orange:** LOC is not exceeded --- (372 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Yellow:** LOC is not exceeded --- (80 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.

**SITE DATA:**

**Location:** FRANCE, HYERES, FRANCE  
**Building Air Exchanges Per Hour:** 0.89 (unsheltered single storied)  
**Time:** May 7, 2021 1906 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**

**Chemical Name:** HYDROGEN SULFIDE  
**CAS Number:** 7783-6-4                      **Molecular Weight:** 34.08 g/mol  
**AEGL-1 (60 min):** 0.51 ppm    **AEGL-2 (60 min):** 27 ppm    **AEGL-3 (60 min):** 50 ppm  
**IDLH:** 100 ppm              **LEL:** 40000 ppm              **UEL:** 440000 ppm  
**Ambient Boiling Point:** -60.3° C  
**Vapor Pressure at Ambient Temperature:** greater than 1 atm  
**Ambient Saturation Concentration:** 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

**Wind:** 5 meters/second from 0° true at 10 meters  
**Ground Roughness:** open country              **Cloud Cover:** 3 tenths  
**Air Temperature:** 20° C  
**Stability Class:** B (user override)  
**No Inversion Height**                      **Relative Humidity:** 70%

**SOURCE STRENGTH:**

**Direct Source:** 0.46 cubic feet/min              **Source Height:** 12 meters  
**Source State:** Gas  
**Source Temperature:** 30° C  
**Source Pressure:** 1.03 atmospheres  
**Release Duration:** 60 minutes  
**Release Rate:** 18.5 grams/min  
**Total Amount Released:** 1.11 kilograms

**THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)**

**Model Run:** Gaussian  
**Red** : LOC is not exceeded --- (414 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Orange:** LOC is not exceeded --- (372 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Yellow:** LOC is not exceeded --- (80 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.

**SITE DATA:**

**Location:** FRANCE, HYERES, FRANCE  
**Building Air Exchanges Per Hour:** 0.87 (unsheltered single storied)  
**Time:** May 7, 2021 1908 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**

**Chemical Name:** HYDROGEN SULFIDE  
**CAS Number:** 7783-6-4                      **Molecular Weight:** 34.08 g/mol  
**AEGL-1 (60 min):** 0.51 ppm    **AEGL-2 (60 min):** 27 ppm    **AEGL-3 (60 min):** 50 ppm  
**IDLH:** 100 ppm              **LEL:** 40000 ppm              **UEL:** 440000 ppm  
**Ambient Boiling Point:** -60.3° C  
**Vapor Pressure at Ambient Temperature:** greater than 1 atm  
**Ambient Saturation Concentration:** 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

**Wind:** 5 meters/second from 0° true at 10 meters  
**Ground Roughness:** open country              **Cloud Cover:** 5 tenths  
**Air Temperature:** 20° C  
**Stability Class:** C (user override)  
**No Inversion Height**                              **Relative Humidity:** 70%

**SOURCE STRENGTH:**

**Direct Source:** 0.46 cubic feet/min              **Source Height:** 12 meters  
**Source State:** Gas  
**Source Temperature:** 30° C  
**Source Pressure:** 1.03 atmospheres  
**Release Duration:** 60 minutes  
**Release Rate:** 18.5 grams/min  
**Total Amount Released:** 1.11 kilograms

**THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)**

**Model Run:** Gaussian  
**Red** : LOC is not exceeded --- (414 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Orange:** LOC is not exceeded --- (372 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Yellow:** LOC is not exceeded --- (80 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.

**SITE DATA:**

**Location:** FRANCE, HYERES, FRANCE  
**Building Air Exchanges Per Hour:** 1.73 (unsheltered single storied)  
**Time:** May 7, 2021 1912 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**

**Chemical Name:** HYDROGEN SULFIDE  
**CAS Number:** 7783-6-4                      **Molecular Weight:** 34.08 g/mol  
**AEGL-1 (60 min):** 0.51 ppm    **AEGL-2 (60 min):** 27 ppm    **AEGL-3 (60 min):** 50 ppm  
**IDLH:** 100 ppm              **LEL:** 40000 ppm              **UEL:** 440000 ppm  
**Ambient Boiling Point:** -60.3° C  
**Vapor Pressure at Ambient Temperature:** greater than 1 atm  
**Ambient Saturation Concentration:** 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

**Wind:** 10 meters/second from 0° true at 10 meters  
**Ground Roughness:** open country              **Cloud Cover:** 0 tenths  
**Air Temperature:** 20° C  
**Stability Class:** C (user override)  
**No Inversion Height**                              **Relative Humidity:** 70%

**SOURCE STRENGTH:**

**Direct Source:** 0.46 cubic feet/min              **Source Height:** 12 meters  
**Source State:** Gas  
**Source Temperature:** 30° C  
**Source Pressure:** 1.03 atmospheres  
**Release Duration:** 60 minutes  
**Release Rate:** 18.5 grams/min  
**Total Amount Released:** 1.11 kilograms

**THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)**

**Model Run:** Gaussian  
**Red** : LOC is not exceeded --- (414 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Orange:** LOC is not exceeded --- (372 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Yellow:** LOC is not exceeded --- (80 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.



**SITE DATA:**

**Location:** FRANCE, HYERES, FRANCE  
**Building Air Exchanges Per Hour:** 0.83 (unsheltered single storied)  
**Time:** May 7, 2021 1915 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**

**Chemical Name:** HYDROGEN SULFIDE  
**CAS Number:** 7783-6-4                      **Molecular Weight:** 34.08 g/mol  
**AEGL-1 (60 min):** 0.51 ppm    **AEGL-2 (60 min):** 27 ppm    **AEGL-3 (60 min):** 50 ppm  
**IDLH:** 100 ppm              **LEL:** 40000 ppm              **UEL:** 440000 ppm  
**Ambient Boiling Point:** -60.3° C  
**Vapor Pressure at Ambient Temperature:** greater than 1 atm  
**Ambient Saturation Concentration:** 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

**Wind:** 5 meters/second from 0° true at 10 meters  
**Ground Roughness:** open country              **Cloud Cover:** 5 tenths  
**Air Temperature:** 20° C                      **Stability Class:** D  
**No Inversion Height**                      **Relative Humidity:** 70%

**SOURCE STRENGTH:**

**Direct Source:** 0.46 cubic feet/min              **Source Height:** 12 meters  
**Source State:** Gas  
**Source Temperature:** 30° C  
**Source Pressure:** 1.03 atmospheres  
**Release Duration:** 60 minutes  
**Release Rate:** 18.5 grams/min  
**Total Amount Released:** 1.11 kilograms

**THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)**

**Model Run:** Gaussian  
**Red :** LOC is not exceeded --- (414 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Orange:** LOC is not exceeded --- (372 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Yellow:** LOC is not exceeded --- (80 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.

**SITE DATA:**

**Location:** FRANCE, HYERES, FRANCE  
**Building Air Exchanges Per Hour:** 1.65 (unsheltered single storied)  
**Time:** May 7, 2021 1916 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**

**Chemical Name:** HYDROGEN SULFIDE  
**CAS Number:** 7783-6-4                      **Molecular Weight:** 34.08 g/mol  
**AEGL-1 (60 min):** 0.51 ppm    **AEGL-2 (60 min):** 27 ppm    **AEGL-3 (60 min):** 50 ppm  
**IDLH:** 100 ppm              **LEL:** 40000 ppm              **UEL:** 440000 ppm  
**Ambient Boiling Point:** -60.3° C  
**Vapor Pressure at Ambient Temperature:** greater than 1 atm  
**Ambient Saturation Concentration:** 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

**Wind:** 10 meters/second from 0° true at 10 meters  
**Ground Roughness:** open country              **Cloud Cover:** 5 tenths  
**Air Temperature:** 20° C                      **Stability Class:** D  
**No Inversion Height**                      **Relative Humidity:** 70%

**SOURCE STRENGTH:**

**Direct Source:** 0.46 cubic feet/min              **Source Height:** 12 meters  
**Source State:** Gas  
**Source Temperature:** 30° C  
**Source Pressure:** 1.03 atmospheres  
**Release Duration:** 60 minutes  
**Release Rate:** 18.5 grams/min  
**Total Amount Released:** 1.11 kilograms

**THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)**

**Model Run:** Gaussian  
**Red :** LOC is not exceeded --- (414 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Orange:** LOC is not exceeded --- (372 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Yellow:** LOC is not exceeded --- (80 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.

**SITE DATA:**

**Location:** FRANCE, HYERES, FRANCE  
**Building Air Exchanges Per Hour:** 0.44 (unsheltered single storied)  
**Time:** May 7, 2021 1856 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**

**Chemical Name:** HYDROGEN SULFIDE  
**CAS Number:** 7783-6-4                      **Molecular Weight:** 34.08 g/mol  
**AEGL-1 (60 min):** 0.51 ppm    **AEGL-2 (60 min):** 27 ppm    **AEGL-3 (60 min):** 50 ppm  
**IDLH:** 100 ppm              **LEL:** 40000 ppm              **UEL:** 440000 ppm  
**Ambient Boiling Point:** -60.3° C  
**Vapor Pressure at Ambient Temperature:** greater than 1 atm  
**Ambient Saturation Concentration:** 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

**Wind:** 3 meters/second from 0° true at 10 meters  
**Ground Roughness:** open country              **Cloud Cover:** 5 tenths  
**Air Temperature:** 20° C                      **Stability Class:** E  
**No Inversion Height**                      **Relative Humidity:** 70%

**SOURCE STRENGTH:**

**Direct Source:** 0.46 cubic feet/min              **Source Height:** 12 meters  
**Source State:** Gas  
**Source Temperature:** 30° C  
**Source Pressure:** 1.03 atmospheres  
**Release Duration:** 60 minutes  
**Release Rate:** 18.5 grams/min  
**Total Amount Released:** 1.11 kilograms

**THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)**

**Model Run:** Gaussian  
**Red :** LOC is not exceeded --- (414 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
          the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Orange:** LOC is not exceeded --- (372 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
          the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Yellow:** LOC is not exceeded --- (80 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
          the ground level concentrations never exceed the LOC.

**SITE DATA:**

**Location:** FRANCE, HYERES, FRANCE  
**Building Air Exchanges Per Hour:** 0.44 (unsheltered single storied)  
**Time:** May 7, 2021 1852 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**

**Chemical Name:** HYDROGEN SULFIDE  
**CAS Number:** 7783-6-4                      **Molecular Weight:** 34.08 g/mol  
**AEGL-1 (60 min):** 0.51 ppm    **AEGL-2 (60 min):** 27 ppm    **AEGL-3 (60 min):** 50 ppm  
**IDLH:** 100 ppm              **LEL:** 40000 ppm              **UEL:** 440000 ppm  
**Ambient Boiling Point:** -60.3° C  
**Vapor Pressure at Ambient Temperature:** greater than 1 atm  
**Ambient Saturation Concentration:** 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

**Wind:** 3 meters/second from 0° true at 10 meters  
**Ground Roughness:** open country              **Cloud Cover:** 0 tenths  
**Air Temperature:** 15° C                      **Stability Class:** F  
**No Inversion Height**                      **Relative Humidity:** 70%

**SOURCE STRENGTH:**

**Direct Source:** 0.46 cubic feet/min              **Source Height:** 12 meters  
**Source State:** Gas  
**Source Temperature:** 30° C  
**Source Pressure:** 1.03 atmospheres  
**Release Duration:** 60 minutes  
**Release Rate:** 18.5 grams/min  
**Total Amount Released:** 1.11 kilograms

**THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)**

**Model Run:** Gaussian  
**Red :** LOC is not exceeded --- (414 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Orange:** LOC is not exceeded --- (372 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.  
**Yellow:** LOC is not exceeded --- (80 ppm)  
**Note:** Threat zone was not drawn because  
the ground level concentrations never exceed the LOC.

**ANNEXE 2 :**

**ANALYSE DE L'ACCIDENTOLOGIE ASSOCIEE A  
L'EXPLOSION DE METHANISEURS - BARPI**

# Analyse de l'accidentologie associée à l'explosion de méthaniseurs

La base de données A.R.I.A. (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) du Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI), exploitée par le Ministère de l'Écologie du Développement et de l'Aménagement Durables, recense, depuis 1992, les événements accidentels qui ont, ou qui auraient pu, porter atteinte à la santé ou à la sécurité publique, à l'agriculture, à la nature et à l'environnement.

**L'objectif de la recherche réalisée dans le BARPI est d'identifier les causes et les scénarios accidentels d'explosion associés spécifiquement aux méthaniseurs.** Pour ce faire, plusieurs recherches ont été réalisées dans la base de données ARIA au niveau mondial :

### Recherche 1 :

- Secteur d'activité : Tous
- Rubrique ICPE : 2781 « Méthanisation de déchets non dangereux ou matières végétales »
- Matière impliquée : Toutes
- Phénomènes dangereux : Explosion

### Recherche 2 :

- Secteur d'activité : Tous
- Rubrique ICPE : Toute
- Matière impliquée : Toutes
- Mot-clé : « méthaniseur » OU « digesteur »
- Phénomènes dangereux : Explosion

La base ARIA qui ne prétend pas à l'exhaustivité, recense au 13/06/2022 :

- 8 accidents pour la 1<sup>ère</sup> recherche (/125 accidents sans considérer le PhD « explosion ») ;
- 8 résultats pour la 2<sup>nde</sup> recherche (/111 accidents au total sans spécifier le PhD).

Dans les deux cas, la part des scénarios d'explosion demeure faible, de l'ordre de 6 – 7 % de l'ensemble des accidents recensés.

N° accident BARPI	Recherche n°1	Recherche n°2
Accidents en France	53866	53866
	46329	/
	50490	50490
	57801	57801
	51342	51342
	58028	/
	/	9065
	/	36683
Accidents en Allemagne	32040	/
	/	42342
Accidents au Royaume-Uni	56463	56463
Total	8 accidents	8 accidents

Au final, onze accidents sont recensés sur la base du BARPI au travers des trois recherches réalisés. Les fiches de ces accidents sont annexés à la présente note et sont analysés dans le tableau ci-dessous :

N° BARPI	Descriptif succinct	Type équipements	Détection / Moyens de protection mis en œuvre	Conséquences hors site	Circonstances / Causes	Mesures préventives existantes sur le site pour éviter / limiter ce type d'accident
53866 (France)	Explosion et incendie d'un digesteur dans une installation de méthanisation	Digesteur plein	Toiture soufflable du digesteur ayant joint son rôle  Intervention des services de secours externes	<u>Conséquence humaine</u> : Aucune hors site <u>Conséquences matérielles</u> : Aucune <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Ejection d'une faible quantité de lisier au sol lors de l'éjection de la toiture (sols impactés récupérés dans une benne pour envoi en traitement)	Stockage de lisier dans le digesteur en non-conformité avec la réglementation alors que les travaux d'installation n'étaient pas finalisés (réception travaux non effectuée) => formation d'une ATEX dans le digesteur  Source d'ignition = Travaux par point chaud (pour la finalisation de l'installation des conduites de gaz)	<b>Installation existante</b> <b>Personnel formé notamment au risque associé à la présence de biogaz</b> <b>Permis de travaux et permis de feu obligatoire pour toute intervention sur l'unité</b>
50490 (France)	Augmentation de la pression entraînant l'éclatement de la double-membrane surmontant un digesteur	Gazomètre au-dessus du post-digesteur	Détection de l'augmentation de pression grâce au système de contrôle à distance	<u>Conséquence humaine</u> : Aucune <u>Conséquences matérielles</u> : Aucune <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Aucune (par effet domino, une citerne souple de digestat liquide est percé mais mise sur rétention)	Cause = émulsion de matières probablement à cause d'une surcharge organique associé à un dysfonctionnement de l'alarme de niveau haut (mauvais branchement)  Débordement de matière ayant bouché les canalisations de biogaz causant la défaillance des équipements de sécurité (torchère et soupape de sécurité)  Production de biogaz ne pouvant être évacuée => augmentation de la pression (de 4 mbar à 80 mbar en 1h) => éclatement de la double-membrane	<b>Site non concerné – Equipement non présent sur site</b>  <b>A noter toutefois qu'un contrôle des intrants est mis en place sur site et qu'un brassage est réalisé dans le digesteur</b>
57801 (France)	Explosion suivi d'un incendie dans le digesteur du méthaniseur lors d'une opération de maintenance	Digesteur	Intervention des services de secours externes	<u>Conséquence humaine</u> : Aucune <u>Conséquences matérielles</u> : Aucune <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Aucune (eaux d'extinction contenues sur site)	Création d'un arc électrique au moment de la remise en service de l'installation après maintenance (changement agitateur)  Cause sous-jacente : erreur humaine	<b>Maintenance réalisée par une entreprise spécialisée</b> <b>Vérification travaux avant tout redémarrage de l'installation</b>

N° BARPI	Descriptif succinct	Type équipements	Détection / Moyens de protection mis en œuvre	Conséquences hors site	Circonstances / Causes	Mesures préventives existantes sur le site pour éviter / limiter ce type d'accident
51342 (France)	Explosion suivie d'un incendie dans un méthaniseur d'une exploitation agricole en phase de maintenance	Gazomètre au dessus du post-digesteur	Intervention des services de secours externes	<p><u>Conséquence humaine</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquences matérielles</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquence sociale</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquence environnementale</u> : Aucune (eaux d'extinction contenues dans le post-digesteur)</p>	Création d'un arc électrique au moment du test initial de fonctionnement de l'agitateur Cause suspectée : défaut d'installation de l'agitateur	<p><b>Site non concerné – Equipement non présent sur site</b></p> <p><b>Cf. ligne précédente pour les mesures existantes</b></p>
46329 (France)	Explosion d'une cuve de lisiers dans une usine de méthanisation suivi de l'incendie de l'isolant de la cuve	Cuve intrant lisier	Intervention des services de secours	<p><u>Conséquence humaine</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquences matérielles</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquence sociale</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquence environnementale</u> : Déversement du produit contenu l'aide d'une levée de terres</p>	Cause inconnue	<b>Site non concerné : pas de stockage en cuves des intrants</b>
58068 (France)	Explosion d'une cuve à percolât	Cuve à percolât	Aucune donnée dans la fiche accident	<p><u>Conséquence humaine</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquences matérielles</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquence sociale</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquence environnementale</u> : Aucune</p>	Défaut de surveillance	<b>Site non concerné – Equipement non présent sur site</b>
9065 (France)	Explosion d'une boudruche contenant du biogaz	Gazomètre	Aucune donnée dans la fiche accident	<p><u>Conséquence humaine</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquences matérielles</u> : Bris de vitres jusqu'à 130 m de distance, tuiles dans un rayon de 20 m</p> <p><u>Conséquence sociale</u> : Aucune</p> <p><u>Conséquence environnementale</u> : Aucune</p>	<p>Plusieurs causes évoquées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blocage de la boudruche en descente et mise en dépression =&gt; entrée d'air par les joints en téflon puis biogaz arrivant à nouveau =&gt; formation d'une ATEX avec source d'ignition = veilleuse de la torchère =&gt; explosion</li> <li>- Production accidentelle d'hydrogène dans le méthaniseur</li> <li>- Acte de malveillance</li> </ul>	<p><b>Maintenance préventive des équipements</b></p> <p><b>Matériel ATEX au sein du post-digesteur</b></p> <p><b>Mesure de O<sub>2</sub> en continu dans les gaz en sortie du gazomètre</b></p> <p><b>Double membrane du gazomètre jouant le rôle d'évent d'explosion</b></p>



N° BARPI	Descriptif succinct	Type équipements	Détection / Moyens de protection mis en œuvre	Conséquences hors site	Circonstances / Causes	Mesures préventives existantes sur le site pour éviter / limiter ce type d'accident
36683 (France)	Explosion au niveau de la station de traitement biologique des effluents aqueux d'une papeterie Toits de la cuve de conditionnement et du méthaniseur projetés à plusieurs mètres	Inconnue	Aucune donnée dans la fiche accident	<u>Conséquence humaine</u> : Aucune <u>Conséquences matérielles</u> : Bris de vitres jusqu'à une centaine de mètres de distance <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Aucune	L'injection de peroxyde d'hydrogène à la suite d'une vidange aurait créé un dégagement d'oxygène qui réagissant avec le biogaz encore présent serait à l'origine de l'explosion. Toutefois, les causes exactes de l'explosion ne sont pas connues.	<b>Ventilation forcée pour extraction du biogaz avant intervention</b> <b>Pas d'utilisation de peroxyde d'H<sub>2</sub></b>
32040 (Allemagne)	Rupture ou explosion de 2 fermenteurs de production de biogaz dans une usine de traitement de déchets => Déversement en vague destructrice du contenu	Digesteurs pleins	Intervention des services de secours	<u>Conséquence humaine</u> : Aucune <u>Conséquences matérielles</u> : Aucune <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Pollution du ruisseau gelé proche	Cause suspectée : défaillance technique (gel ?)	<b>Soupapes équipées de liquide antigel (eau glycolée) + biogaz à une température de l'ordre de 55°C empêchant le gel de la soupape</b>
42342 (Allemagne)	Incendie sur des fermenteurs d'une installation de biogaz agricole (explosion suspectée avant incendie)	Digesteurs pleins	Intervention des services de secours	<u>Conséquence humaine</u> : Aucune <u>Conséquences matérielles</u> : Aucune <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Aucune	Cause de l'incendie = travaux de soudure	<b>Permis de travaux et permis de feu obligatoire pour toute intervention sur l'unité</b> <b>Affichage zone ATEX et consignes de sécurité</b>
56463 (Royaume-Uni)	Explosion dans un digesteur de boues dans une entreprise de traitement des eaux usées	Digesteur plein	Aucune donnée dans la fiche accident	<u>Conséquence humaine</u> : Aucune hors site <u>Conséquences matérielles</u> : Aucune <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Aucune citée dans la fiche accident	Montée en pression dans la cuve de méthanisation de cause inconnue.	<b>Surveillance de la pression interne et du taux de CH<sub>4</sub></b>

## **Bilan**

Au regard de l'accidentologie, aucun accident ne concerne un digesteur en phase de vidange. Par contre, deux accidents ont eu lieu en phase de redémarrage d'un digesteur après maintenance ; dans les deux cas, la cause suspectée est un arc électrique dû à l'agitateur qui venait de faire l'objet d'un changement (ARIA n°57801 et 51342).

Dans le 2<sup>nd</sup> cas (ARIA 51342), c'est le gazomètre localisé au-dessus de la cuve qui a joué le rôle d'évent d'explosion. Dans le 1<sup>er</sup> cas, l'explosion s'est produit dans le méthaniseur et a entraîné un incendie dans le gazomètre.

Dans les deux cas, l'unité venait d'être redémarré, la production de biogaz (et donc l'ATEX créée) devait être limitée ce qui explique que le gazomètre n'est pas été ruiné dans un des cas (ARIA 57801) et qu'aucun effet n'est été reporté dans les deux fiches accident que ce soit en termes humain ou environnemental.

Un dernier accident (ARIA n°36683) évoque l'explosion dans une station de traitement biologique d'effluents aqueux ayant eu pour conséquence la projection des toits de la cuve de conditionnement et du méthaniseur. Le point d'origine de l'explosion n'est pas mentionné et les causes exactes ne sont pas connues. Il est toutefois mentionné comme cause possible dans la fiche accident, l'injection de peroxyde d'hydrogène à la suite d'une vidange (équipement non mentionné) aurait créé un dégagement d'oxygène qui réagissant avec le biogaz encore présent serait à l'origine de l'explosion.

**Dans tous les cas, sur le site :**

- **D'une part, avant toute intervention, une ventilation forcée sera mise en place pour évacuer le biogaz avec contrôle de la teneur en O<sub>2</sub> avant ouverture du digesteur ;**
- **D'autre part, la maintenance des installations est réalisée par du personnel habilité et formé connaissant les risques associés au biogaz et les procédures de contrôle et de sécurité à appliquer ;**
- **Finalement, toute intervention sur l'unité de méthanisation est soumise à permis de travaux et permis de feu si nécessaire et un contrôle de fin d'intervention sera réalisé.**

Lors de l'analyse de l'accidentologie du BARPI, plusieurs phénomènes d'explosion au niveau de digesteurs en phase de fonctionnement ont été relevés (ARIA n°53866, 32040, 42342, 56463).

La majeure partie des causes d'accidents sont inconnues mais lorsqu'elles le sont, elles résultent d'une erreur ou négligence humaine :

- Ignition du biogaz présent dans la cuve lors de travaux par point chaud (ARIA n°43342) associée à un non respect de la réglementation (ARIA n°53866) : le digesteur était plein alors que les travaux d'installation de l'unité n'était pas fini (notamment absence de tuyauterie de collecte du biogaz) ;
- Montée en pression dans le digesteur de cause inconnue (ARIA n°56463) ;
- Rupture (ou explosion) de deux digesteurs dont la cause exacte n'est pas définie, une défaillance technique (gel ?) est évoquée (ARIA n°32040).

**De façon à éviter / limiter les effets de tels accidents, des mesures de maîtrise des risques ont été mises en place sur les unités de méthanisation pour éviter toute montée en pression pouvant engendrer une explosion à l'intérieur du digesteur ; dans le cas du site, 3 niveaux successifs de sécurité existent :**

- **Sécurité 1 : A partir de 28 mbar, le biogaz alimente la torchère,**

- **Sécurité 2** : Si la torchère est hors service, son alimentation est interrompue. La pression de biogaz continue à monter dans le réseau biogaz. Ce dernier est équipé au niveau haut de chacun des digesteurs relié à une soupape tarée à 33 mbar. Lorsque la pression dépasse 33 mbar, la soupape s'ouvre et le biogaz est évacué à l'atmosphère.
- **Sécurité 3** : en dernier recours, le toit du digesteur est soufflable, sa pression statique d'ouverture est de 150 mbar<sup>1</sup>, son ouverture permet de conserver l'intégrité de la structure du digesteur.

En complément, de façon à prévenir ces phénomènes, des mesures de détection et prévention existent sur le site :

- Surveillance de la pression interne et du taux de CH<sub>4</sub> au sein du digesteur ;
- Affichage zone ATEX et consignes de sécurité ;
- Barrières organisationnelles visant à prévenir toute source d'ignition avec notamment l'obligation de permis de feu en cas d'intervention sur l'unité de méthanisation ;
- Soupape de sécurité équipées de liquide antigel (eau glycolée) permettant de prévenir tout gel de l'équipement.

---

<sup>1</sup> Pression statique d'ouverture standard sur ce type d'équipement comprise entre 100 et 150 mbar (Source : INERIS, Rapport d'étude « Scénarios accidentels et modélisation d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle », janvier 2010. La pression maximale de 150 mbar est retenue pour les modélisations.

## Résultats des recherches dans la base de données ARIA – Fiches accident

### Explosion et incendie d'un digesteur dans une installation de méthanisation

N° 53866 - 27/06/2019 - FRANCE - 29 - PLOUVORN .

E38.21 - Traitement et élimination des déchets non dangereux

<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/53866/>



Vers 14h40, une explosion suivie d'un incendie se produit dans un digesteur de 15 m de haut contenant 300 m<sup>3</sup> de lisier. Une boule de feu est aperçue. Les pompiers réalisent des mesures d'explosivité et des mesures d'H2S dans l'enceinte. L'électricité est coupée dans la zone. L'incendie se propage dans les double-parois de la cuve dont l'isolant est constitué de laine de roche. Vers 19 h, les pompiers dégarnissent le toit du digesteur tout en poursuivant le refroidissement des parois. Son contenu est dépoté par des rotations de tonnes à lisier, puis transféré dans le post-digesteur voisin. Après ouverture dans la partie haute de la cuve, des relevés par caméra thermique sont réalisés. La température étant descendue à 30 °C, le dispositif de secours est levé à 21h30.

Un pompier est victime d'un coup de chaud et 2 personnes sont choquées. Le digesteur est déformé, la toiture a sauté, conduisant à l'éjection d'une faible quantité de lisier. Les sols impactés sont récupérés dans une benne pour envoi en traitement. Le digesteur doit être reconstruit.

Le digesteur de 2 500 m<sup>3</sup> faisait partie d'une unité de méthanisation en cours d'installation. Les conduites de gaz n'étaient pas encore branchées, l'installation n'était pas encore réceptionnée par l'exploitant. Le dossier technique de sécurité à réaliser avant la mise en service n'avait pas été transmis à l'administration. Du lisier y avait toutefois déjà été stocké en non-conformité avec la réglementation applicable.

L'explosion est survenue alors que des sous-traitants raccordaient à la terre un appareil pour souder les conduites de gaz. L'exploitant affirme que les sous-traitants avaient été informés de la présence de lisier dans la cuve générant un risque d'atmosphère explosive mais qu'aucun zonage ATEX n'avait été réalisé.

Suite à la visite de l'inspection des installations classées, un arrêté de mise en demeure et un arrêté de mesures d'urgence sont pris. L'exploitant transfère le lisier du post-digesteur vers une cuve tampon aérée pour éviter la formation d'une atmosphère explosive.

L'accident révèle une sous-estimation des risques au regard des enjeux de sécurité de ce type d'installation. L'exploitant explique son empressement à démarrer le remplissage du digesteur par l'obligation d'honorer à une échéance proche un contrat de rachat d'électricité ainsi qu'un contrat de valorisation d'effluents en provenance d'agriculteurs. Suite à l'accident, il souhaite démarrer l'exploitation de l'unité de méthanisation avec le seul post-digesteur (situation envisageable pour gérer les cas de maintenance par exemple), sans attendre la reconstruction du digesteur. L'inspection exige la remise préalable du dossier technique de sécurité, la justification de la faisabilité technique du fonctionnement avec un seul digesteur sans dégradation des performances attendues et le cas échéant la proposition de mesures de sécurité appropriées pour gérer la phase de co-activité reconstruction du digesteur/exploitation du post-digesteur.

Suite à l'accident, l'exploitant rappelle les consignes et règles de prudence à son sous-traitant. Les responsabilités de chacun (exploitant/sous-traitant) en matière de contrôles à réaliser sont précisées.

Les travaux par point chaud ne pourront plus être réalisés in situ sur les équipements de l'installation mais dans une zone dédiée pour le positionnement des camions ateliers (poste à soudure, meuleuse, disquuse...).

## Eclatement de la double membrane surmontant un digesteur

N° 50490 - 15/09/2017 - FRANCE - 45 - LA FERTE-SAINT-AUBIN .

D35.21 - Production de combustibles gazeux

<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/50490/>



A partir de 7h13, la pression passe de 4 mbar à 80 mbar en 1 h dans la double membrane d'un digesteur sur une installation de méthanisation. Alerté vers 7h30 grâce au système de contrôle à distance, le responsable du site demande au technicien d'exploitation d'intervenir. A 8h15, cette membrane éclate. Deux des cornières de fixation sont arrachées et emportent des morceaux de voile de béton. En étant éjectée, une des cornières perce la citerne souple de stockage de digestat liquide et le contenu se déverse. L'exploitant ferme la vanne de rétention du réseau d'eaux pluviales. La citerne est mise sur rétention et le digestat est pompé. Une entreprise cure les réseaux, 3 à 4 m<sup>3</sup> de digestat liquide très peu chargé (2,5 % de matière sèche) polluent les eaux pluviales. Plusieurs équipements sont endommagés. Les dommages matériels s'élèvent à 70 000 €. La remise en état du site engendre des pertes d'exploitation pendant 1 mois, soit l'équivalent de 150 000 €.

### Les causes de l'accident

Au moment de l'incident, l'installation était en fin de phase de montée en puissance. La charge nominale venait d'être atteinte. Le digesteur n'était plus alimenté depuis 1 h, comme anticipé par la programmation des alimentations de la journée. L'éclatement est dû à une émulsion de matière, probablement à cause d'une surcharge organique. La matière émulsionnée dans le digesteur a débordé dans la cuve tampon de digestat brut via la canalisation de biogaz reliant les 2 cuves. Vers 3 h, l'alarme niveau haut de la cuve tampon de digestat brut s'est déclenchée. Toutes les voies d'évacuation du gaz se sont bouchées, causant la défaillance des équipements de sécurité (torchère et soupapes de sécurité). Les alarmes de surpression au niveau de la cuve tampon du digestat brut, puis au niveau du digesteur se sont déclenchées à 7h15 et 7h36. En revanche, l'alarme de niveau haut dans le digesteur ne s'est pas déclenchée. La production de gaz à l'intérieur a induit une montée en pression dans la membrane pour aboutir à son éclatement à 8h15.

### Scénario non envisagé par le constructeur

Le constructeur n'avait pas envisagé ce scénario de danger, que ce soit dans le choix des équipements de sécurité (soupapes non adaptées à la formation de mousse), dans la conception du contrôle commande qui ne prévoit pas l'évacuation de matière lors du déclenchement de l'alarme niveau haut de la cuve tampon de digestat brut, ainsi qu'au niveau des instructions opérationnelles transmises. D'autres causes ont également joué un rôle comme la sonde de niveau haut du digesteur mal branchée ou le non report des alarmes du système de supervision.

### Mesures mises en place par l'exploitant

Suite à l'accident, l'exploitant :

- asservit la pompe de vidange de la cuve tampon à l'atteinte du niveau haut dans cette cuve ;
- installe de nouvelles soupapes de sécurité pour réguler automatiquement le niveau de liquide ;
- installe des cols de cygne pour surélever la prise de gaz au niveau des soupapes et réduire leur risque d'inondation par de la matière en cas d'émulsion ;
- vérifie plus fréquemment le fonctionnement des sondes de niveau ;
- renforce le système d'alerte (report des alarmes par téléphone) et met en place un système d'astreinte dans le cadre du contrat de maintenance ;
- met en place une montée en charge plus progressive pour minimiser le risque de moussage ;
- fait vérifier la vanne de rétention des eaux pluviales par le fournisseur.

Une consigne d'exploitation est mise en place pour demander au personnel, lors de la vérification des soupapes, de regarder le contenu du digesteur à travers les hublots. Une procédure à suivre en cas de surpression dans le stockage de biogaz est établie.

## Explosion et incendie dans le digesteur du méthaniseur

**N° 57801 - 24/08/2021 - FRANCE - 60 - IVRY-LE-TEMPLE .**

*D35.21 - Production de combustibles gazeux*

<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/57801/>



Vers 17 h, lors d'une opération de maintenance, une explosion se produit dans le digesteur de 3 900 m<sup>3</sup> d'une entreprise de méthanisation. Celle-ci entraîne l'incendie de la bache du méthaniseur. Le site est isolé du réseau électrique et gaz. Les pompiers éteignent l'incendie à l'aide d'une lance en moins d'une heure. Des mesures de méthane sont effectuées et se révèlent négatives en bordure de réservoir. Des trouées sont effectuées pour éviter l'accumulation de méthane. Pour éviter tout risque de surpression, l'exploitant veut mettre en place la torchère mais celle-ci ne fonctionne pas. Les vannes de surpression du 2<sup>ème</sup> digesteur sont donc ouvertes. Les eaux d'extinction sont contenues sur le site.

Le site était en maintenance annuelle par le constructeur de l'installation et un des agitateurs de l'installation venait d'être changé. Le digesteur est remis en service vers 16 h et il disjoncte environ 35 min plus tard. L'équipe de maintenance modifie l'intensité du courant dans un contacteur et remet en service l'installation. L'explosion survient immédiatement. La création d'un arc électrique en raison d'une décharge électromagnétique liée à une erreur humaine pourrait être à l'origine de l'événement. Toutefois, il est à noter que le contacteur avait montré un échauffement anormal lors d'un contrôle électrique 8 mois plus tôt et avait présenté des soucis récurrents et disjonctait 1 mois avant l'événement. Ce contacteur a été changé lors de l'opération de maintenance avant le changement de l'agitateur. Une expertise est en cours pour vérifier l'implication du contacteur dans l'événement.

A la suite de l'événement, un arrêté de mesures d'urgence est pris notamment pour gérer les intrants sur le site et pour la remise en état de l'installation.

## Explosion dans un méthaniseur d'une exploitation agricole

**N° 51342 - 04/04/2018 - FRANCE - 89 - SAINT-FARGEAU .**

*A01.50 - Culture et élevage associés*

<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/51342/>



Dans une exploitation agricole, une explosion suivie d'un incendie se produit à 15h30 au niveau du gazomètre du post-digesteur de l'unité de méthanisation. Les employés sécurisent l'installation et alertent les pompiers. Ces derniers éteignent l'incendie. Les eaux d'extinction sont collectées dans le post-digesteur. Le gazomètre est hors d'usage, les câbles d'alimentation des agitateurs sont fondus et l'étanchéité de tête de voile est endommagée.

La production de biogaz et sa valorisation énergétique se poursuivent sur la partie digesteur. Le post-digesteur n'étant plus disponible, un traitement complémentaire du biogaz doit toutefois être réalisé pour préserver le bon état du cogénérateur (ajout d'hydroxyde de fer).

Une entreprise sous-traitante réalisait la maintenance de l'agitateur de la cuve de post-digestion (2 500 m<sup>3</sup>). Le post-digesteur avait été dégazé puis débâché et l'agitateur avait été remonté à 9h50. L'explosion s'est produite lors du test initial de fonctionnement de l'agitateur, avant remplacement de son hélice. D'après le bureau d'étude ayant analysé l'accident pour l'exploitant, un défaut d'installation de l'agitateur serait à l'origine de l'incident. Le système de supportage de l'agitateur n'était pas relié à la terre du site sur sa carcasse métallique. Lors de la coupure de son alimentation électrique, la masse de l'agitateur s'est déchargée sur le système de guidage de l'agitateur provoquant un arc électrique. L'arc a agi comme source d'ignition et d'inflammation de la zone ATEX. Les contrôles réalisés par les organismes certifiés lors de la visite initiale et lors des visites périodiques n'avaient pas permis de déceler l'erreur.

**Explosion dans une usine de méthanisation****N° 46329 - 05/03/2015 - FRANCE - 25 - TOURNANS .***E38.21 - Traitement et élimination des déchets non dangereux*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/46329/>


A 14h45, dans une installation de méthanisation, une explosion se produit au niveau d'une cuve contenant 3 500 m<sup>3</sup> de lisier qui venait de faire l'objet de travaux. L'explosion est suivie d'un incendie qui concerne l'isolant de la cuve ainsi que la couverture plastique. Les pompiers éteignent le sinistre à l'aide de 3 lances. Une fuite est constatée sur le réservoir. Le produit se déverse dans la nature. L'obturation est effectuée à l'aide d'une levée de terre. Une partie du lisier est transférée dans une cuve attenante vide. Le propriétaire pompe les 2 000 m<sup>3</sup> de lisier qui se sont écoulés sur le sol.

**Explosion d'une cuve à percolât****N° 58068 - 23/03/2014 - FRANCE - 03 - SAINT-POURCAIN-SUR-SIOULE .***D35.11 - Production d'électricité*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/58068/>


Faute de surveillance, une cuve de percolât explose dans un centre de méthanisation. L'unité est arrêtée dans l'attente de travaux.

**Explosion d'une boudruche contenant du méthane.****N° 9065 - 07/01/1999 - FRANCE - 73 - LA ROCHETTE .***C17.12 - Fabrication de papier et de carton*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/9065/>


Dans une unité de recyclage de biogaz issu de la station d'épuration anaérobie d'une papeterie, une explosion (5 kg de TNT) détruit une boudruche tampon en matériau souple de 10 m<sup>3</sup> et les tuyauteries associées alimentant une chaudière de production de vapeur ou une torchère de sécurité. La boudruche est pulvérisée, des rambardes sont tordues dans un rayon de 3 m, des tuiles sont détruites dans un rayon de 20 m, des bardages sur l'unité et vitres jusqu'à 130 m de distance volent en éclat. Il n'y a pas de victime. La boudruche se serait bloquée en descente et mise en dépression. De l'air serait alors entré par les joints en téflon frottant sur l'axe central. Le biogaz arrivant à nouveau forme le mélange explosif qui est allumé par la flamme de la veilleuse de la torchère. Une production accidentelle d'hydrogène dans le méthaniseur et un acte de malveillance sont également évoqués. L'usine porte plainte. Des expertises sont réalisées. Des sécurités sont installées (analyseurs, clapets, etc.).

## Explosion d'un méthaniseur (digesteur)

N° 36683 - 27/02/2007 - FRANCE - 33 - BIGANOS .

C17.12 - Fabrication de papier et de carton

<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/36683/>



Dans une papeterie, une explosion survient vers 22 h au niveau de la station de traitement biologique des effluents aqueux. Les toits de la cuve de conditionnement et du méthaniseur sont projetés à plusieurs dizaines de mètres. Le souffle de l'explosion a brisé des vitres jusqu'à une centaine de mètres et le bruit aurait été perçu jusqu'à une vingtaine de kilomètres. L'accident n'a fait aucune victime et aucun impact sur l'environnement. En particulier, aucune pollution des eaux, n'est à déplorer dans la mesure où l'atelier alimentant la station en effluents était à l'arrêt.

L'injection de peroxyde d'hydrogène à la suite d'une vidange aurait créé un dégagement d'oxygène qui réagissant avec le biogaz encore présent serait à l'origine de l'explosion. Toutefois, les causes exactes de l'explosion ne sont pas connues.

L'inspection des IC propose au préfet un arrêté qui demande à l'exploitant les mesures prises pour assurer la mise en sécurité de l'installation. Cet arrêté fixe également des prescriptions visant à garantir la qualité des rejets aqueux en l'absence de traitement biologique et surbordonne le redémarrage de la station biologique à la réalisation d'une analyse de l'accident et d'une étude des dangers de l'installation de traitement des effluents.

## Éclatement de 2 fermenteurs de production de biogaz dans une usine de traitement de déchets

N° 32040 - 21/01/2006 - ALLEMAGNE - 00 - GÖTTINGEN .

E38.21 - Traitement et élimination des déchets non dangereux

<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/32040/>



Dans une usine de traitement de déchets, 2 cuves d'une installation de méthanisation en cours de mise en service se rompent ou explosent vers 5h30. L'installation a été conçue pour traiter 133 000 t de déchets par an, dont 86 000 t de déchets organiques, ce qui correspond à la production de 6 millions de m<sup>3</sup> de biogaz par an. Après tri, les déchets organiques sont mélangés à de l'eau et stockés dans 3 fermenteurs en acier émaillé de 4 500 m<sup>3</sup> chacun. Une partie du biogaz est utilisée pour produire de l'énergie et la chaleur récupérée sert au chauffage des fermenteurs et au séchage final du digestat. L'installation est partiellement mise en service : le 1er fermenteur est entièrement rempli de substrat et produit du biogaz, le 2eme est rempli de 2 500 m<sup>3</sup> d'eau de pluie suite à un test d'étanchéité et le 3ème est vide car l'essai d'étanchéité n'était pas concluant.

Vers 5h30, les 2 fermenteurs remplis se rompent, déversant leur contenu en une vague destructrice. Le fermenteur vide est soulevé de ses fondations et déplacé sur 10 m, les bâtiments proches (salle des machines) sont endommagés et 1 000 l d'hydrocarbures sont perdus dans l'accident suite à la rupture d'une cuve de stockage projetée à 600 m. Les dommages matériels sont évalués à 10 millions d'euros. L'accident, qui pourrait résulter d'une défaillance technique (gel ?), n'a pas fait de victime. Un ruisseau gelé proche est pollué.

D'importants moyens en hommes (115 pompiers...) et en matériels interviennent vers 6h15 pour protéger la population et la ressource en eau potable. L'évacuation des masses de boue prendra plusieurs jours. La remise en état des installations prendra plusieurs mois.



**Incendie dans une installation de biogaz agricole****N° 42342 - 22/09/2008 - ALLEMAGNE - 00 - GEHLENBERG .***A01.50 - Culture et élevage associés*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/42342/>

Un incendie se déclare sur des fermenteurs (digesteurs) dans une installation de biogaz agricole. Une explosion aurait été entendue avant le feu. Les pompiers, en intervention sur une fuite d'huile à une centaine de mètres de l'exploitation, arrivent rapidement sur les lieux. A leur arrivée, 2 digesteurs sont en feu et l'incendie menace un 3eme digesteur ainsi qu'un bâtiment adjacent. Grâce à un important renfort de pompiers, la propagation des flammes est stoppée avant qu'elles n'atteignent les autres réservoirs. Aucun blessé n'est à déplorer, les dommages pourraient s'élever à 200 000 euros. L'incendie serait dû à des travaux de soudure.

**Explosion mortelle dans une entreprise de traitement des eaux usées****N° 56463 - 03/12/2020 - ROYAUME-UNI - 00 - BRISTOL .***E37.00 - Collecte et traitement des eaux usées*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/56463/>

Vers 11h20, une explosion se produit dans un digesteur de boues dans une entreprise de traitement des eaux usées. Quatre employés et un sous-traitant décèdent.

Le digesteur est conçu pour décomposer les déchets organiques et générer du méthane (gaz inflammable) pendant le processus. En fonctionnement normal, la composition du gaz dans le digesteur ne peut s'enflammer. En cas d'entrée d'air dans le digesteur, cela crée un mélange explosible. L'explosion qui en résulterait ferait exploser le toit du digesteur au point faible où le toit rejoint la coque.

D'après la presse, l'explosion est due à une montée en pression dans la cuve de méthanisation.

**ANNEXE 3 :**  
**ANALYSE DE L'ACCIDENTOLOGIE ASSOCIEE A**  
**L'EXPLOSION DE GAZOMETRE - BARPI**

# Analyse de l'accidentologie associée à l'explosion d'un gazomètre

La base de données A.R.I.A. (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) du Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI), exploitée par le Ministère de l'Écologie du Développement et de l'Aménagement Durables, recense, depuis 1992, les événements accidentels qui ont, ou qui auraient pu, porter atteinte à la santé ou à la sécurité publique, à l'agriculture, à la nature et à l'environnement.

**L'objectif de la recherche réalisée dans le BARPI est d'identifier les causes et les scénarios accidentels d'explosion associés spécifiquement aux gazomètres.** Pour ce faire, plusieurs recherches ont été réalisées dans la base de données ARIA au niveau mondial :

## Recherche 1 :

- Secteur d'activité : Tous
- Rubrique ICPE : 2781 « Méthanisation de déchets non dangereux ou matières végétales »
- Matière impliquée : Toutes
- Phénomènes dangereux : Explosion

## Recherche 2 :

- Secteur d'activité : Tous
- Rubrique ICPE : Toute
- Matière impliquée : Toutes
- Mot-clé : « gazomètre »
- Phénomènes dangereux : Explosion

## Recherche 3 :

- Secteur d'activité : Tous
- Rubrique ICPE : Toute
- Matière impliquée : [74-82-8] Méthane ; [A-M006] Biogaz ; [8006-14-2] Gaz naturel
- Equipements : Capacité de stockage
- Phénomènes dangereux : Explosion

La base ARIA qui ne prétend pas à l'exhaustivité, recense au 13/06/2022 :

- 8 accidents pour la 1<sup>ère</sup> recherche (/125 accidents sans considérer le PhD « explosion ») mais seulement 2 concernent le gazomètre (ARIA n°50490 et 51342) (cf. détails dans l'analyse de l'accidentologie associée aux méthaniseurs) ;
- 10 résultats pour la 2<sup>nde</sup> recherche (/59 accidents au total sans spécifier le PhD) toutefois :
  - o 3 accidents concernent un camion ou wagon citerne (ARIA n°6805 ; 52689 ; 14236) ;
  - o 2 explosions au sein d'une unité de production d'hydrogène par électrolyse (ARIA n°19325 et 20351) ;
  - o 1 accident concerne une unité de production d'acétylène (explosion du sécheur d'un compresseur - ARIA n° 21123) ;
  - o 1 intoxication au CO (pas d'explosion recensée – ARIA n°217) ;

- 1 rupture du réservoir d'eau d'un gazomètre dans un usine sidérurgique (ARIA n°104) ;
- Au final, seulement 2 accidents concernent un stockage de gaz pouvant s'approchaient de l'activité exercée sur le site :
  - ARIA n° 51342 : explosion au niveau d'un gazomètre d'une unité de méthanisation
  - ARIA n°22317 : explosion sur un gazomètre contenant du méthane dans une installation de distribution de gaz
- 27 résultats pour la dernière recherche (/73 accidents au total sans spécifier le PhD) toutefois :
  - 7 accidents concernent des habitations (ARIA 40375 ; 50699 ; 55082 ; 40364 ; 55209 ; 40419 ; 34043) ;
  - 7 accidents concernent des cuves de stockage de liquides (ARIA n°38557 ; 44565 ; 34703 ; 11345 ; 8022 ; 5347 ; 5382) ;
  - 2 accidents concernant un réservoir cryogénique de gaz naturel liquéfié (ARIA n°6059 ; 10179)
  - 1 fuite de gaz sur un champ d'hydrocarbure en mer (ARIA n° 41939) ;
  - 1 explosion sur un réservoir en matériau composite alimentant une voiture en GNC (gaz naturel comprimé) (ARIA n°52907) ;
  - 1 explosion sur une chaudière (ARIA n°26252) ;
  - Au final, seulement 8 accidents concernent un stockage de gaz pouvant s'approcher de l'activité exercée sur le site :
    - ARIA n° 50490 ; 9065 ; 42322 : explosion au niveau d'un gazomètre d'une unité de méthanisation ;
    - ARIA n°22317 ; 9808 ; 2004 : explosion au niveau d'un réservoir stockant du méthane ;
    - ARIA n°56370 : explosion lors de travaux de soudure sur un réservoir de gaz ;
    - ARIA n° 49999 : explosion d'un réservoir de gaz sur un complexe gazier.

Au final, neuf accidents sont recensés sur la base du BARPI au travers des trois recherches réalisés. Les fiches de ces accidents sont annexés à la présente note et sont analysés dans le tableau ci-dessous :

N° BARPI	Descriptif succinct	Type équipements	Détection / Moyens de protection mis en œuvre	Conséquences hors site	Circonstances / Causes	Mesures préventives existantes sur le site pour éviter / limiter ce type d'accident
50490 (France)	Augmentation de la pression entraînant l'éclatement de la double-membrane surmontant un digesteur	Gazomètre au-dessus du post-digesteur	Détection de l'augmentation de pression grâce au système de contrôle à distance	<u>Conséquence humaine :</u> Aucune <u>Conséquences matérielles :</u> Aucune <u>Conséquence sociale :</u> Aucune <u>Conséquence environnementale :</u> Aucune (par effet domino, une citerne souple de digestat liquide est percé mais mise sur rétention)	Cause = émulsion de matières probablement à cause d'une surcharge organique associé à un dysfonctionnement de l'alarme de niveau haut (mauvais branchement) Débordement de matière ayant bouché les canalisations de biogaz causant la défaillance des équipements de sécurité (torchère et soupape de sécurité) Production de biogaz ne pouvant être évacuée => augmentation de la pression (de 4 mbar à 80 mbar en 1h) => éclatement de la double-membrane	<p><b>Site non concerné – Equipement non présent sur site</b></p> <p><b>A noter toutefois qu'un contrôle des intrants est mis en place sur site et qu'un brassage est réalisé dans le digesteur</b></p>
51342 (France)	Explosion suivie d'un incendie dans un méthaniseur d'une exploitation agricole en phase de maintenance	Gazomètre au-dessus du post-digesteur	Intervention des services de secours externes	<u>Conséquence humaine :</u> Aucune <u>Conséquences matérielles :</u> Aucune <u>Conséquence sociale :</u> Aucune <u>Conséquence environnementale :</u> Aucune (eaux d'extinction contenues dans le post-digesteur)	Création d'un arc électrique au moment du test initial de fonctionnement de l'agitateur Cause suspectée : défaut d'installation de l'agitateur	<p><b>Site non concerné – Equipement non présent sur site</b></p> <p><b>Cf. ligne précédente pour les mesures existantes</b></p>
22317 (Royaume-Uni)	Explosion d'un gazomètre dans une installation de distribution de gaz stockant du méthane basse pression	Gazomètre de méthane	Intervention des services de secours externes	<u>Conséquence humaine :</u> Evacuation de riverains <u>Conséquences matérielles :</u> Aucune <u>Conséquence sociale :</u> Aucune <u>Conséquence environnementale :</u> Aucune	Acte de malveillance : une charge explosive aurait en effet été placée sur le côté du gazomètre principalement touché.	<p><b>Clôture métallique autour de la STEP + clôture supplémentaire autour de la zone de méthanisation à l'intérieur de la STEP</b></p> <p><b>Contrôle de l'accès au site au niveau de l'arrivée des camions de transport</b></p> <p><b>Contrôle réalisé par l'intermédiaire de barrières avec interphone et caméras + 1 lecteur de badge rajouté dans le cadre du projet</b></p>

N° BARPI	Descriptif succinct	Type équipements	Détection / Moyens de protection mis en œuvre	Conséquences hors site	Circonstances / Causes	Mesures préventives existantes sur le site pour éviter / limiter ce type d'accident
9065 (France)	Explosion d'une boudruche de méthane dans une unité de recyclage de biogaz issu d'une STEP	Boudruche tampon en matériau souple (méthane)	/	<u>Conséquence humaine :</u> Aucune <u>Conséquences matérielles :</u> Destruction des tuiles dans un rayon de 20 m et bris de vitres dans un rayon de 130 m <u>Conséquence sociale :</u> Aucune <u>Conséquence environnementale :</u> Aucune	Plusieurs causes évoquées : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Boudruche se serait bloquée en descente et mise en dépression =&gt; entrée d'air par les joints =&gt; formation d'une ATEX avec le biogaz + source d'ignition = veilleuse de la torchère =&gt; explosion de la boudruche</li> <li>2. Production accidentelle d'hydrogène dans le méthaniseur</li> <li>3. Acte de malveillance</li> </ol>	<b>Maintenance préventive des équipements</b> <b>Matériel ATEX</b> <b>Mesure de O<sub>2</sub> en continu dans les gaz en sortie du gazomètre</b> <b>Garde hydraulique remplie en eau glycolée</b> <b>Explosimètre dans l'espace intermembranaire associé à une alarme =&gt; soit évacuation gaz à l'atmosphère (seuil 1) soit l'envoi à la torchère (seul 2)</b> <b>Pressostat de détection de pression minimale permettant de protéger le gazomètre contre toute dépression</b>  <b>Prévention malveillance (cf. ligne précédente)</b>
42322 (Autriche)	Explosion d'un dôme d'une cuve de stockage de biogaz dans une installation de méthanisation	Gazomètre (biogaz)	/	<u>Conséquence humaine :</u> Aucune <u>Conséquences matérielles :</u> Aucune <u>Conséquence sociale :</u> Aucune <u>Conséquence environnementale :</u> Aucune	Cause inconnue	/

N° BARPI	Descriptif succinct	Type équipements	Détection / Moyens de protection mis en œuvre	Conséquences hors site	Circonstances / Causes	Mesures préventives existantes sur le site pour éviter / limiter ce type d'accident
9808 (Inde)	Explosion d'une citerne de méthane dans une usine de traitement des effluents	Citerne de méthane	/	<u>Conséquence humaine</u> : 3 morts + 1 blessé (à l'intérieur du site) <u>Conséquences matérielles</u> : Aucune <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Aucune	Travaux de soudure sur le toit du bac de méthane	<b>Permis de travaux et permis de feu obligatoire pour toute intervention sur l'unité</b>
2004 (France)	Explosion et incendie dans un centre de traitement des ordures notamment feu sur un réservoir contenant du méthane.	Réservoir de méthane	/	<u>Conséquence humaine</u> : Aucune <u>Conséquences matérielles</u> : Aucune <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Aucune	Cause inconnue	/
56370 (Israël)	Explosion lors de travaux d'un réservoir de gaz dans une entreprise de métallurgie	Réservoir de gaz	/	<u>Conséquence humaine</u> : 2 morts + 2 blessés (à l'intérieur du site) <u>Conséquences matérielles</u> : Aucune <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Aucune	Travaux de soudure Négligence : entreprise fonctionnant sans licence, sa certification ayant été révoquée pour des problèmes de sécurité	<b>Permis de travaux et permis de feu obligatoire pour toute intervention sur l'unité</b>
49999 (Nigéria)	Explosion d'un réservoir de gaz dans un complexe gazier	Réservoir de gaz	/	<u>Conséquence humaine</u> : 9 morts + 10 blessés <u>Conséquences matérielles</u> : Aucune <u>Conséquence sociale</u> : Aucune <u>Conséquence environnementale</u> : Aucune	Cause inconnue	/

## **Bilan**

Au regard de l'accidentologie, aucun scénario d'explosion ne fait suite à la ruine d'un réservoir / gazomètre.

Lors de l'analyse de l'accidentologie du BARPI, il ressort que l'ensemble des scénarios concerne une explosion interne. Dans 1/3 des cas, les causes sont inconnues ; lorsqu'elles le sont, les causes mises en évidence sont :

- Ignition du biogaz présent dans la cuve lors de travaux par point chaud (ARIA n°9808, 56370) associée à un non respect de la réglementation (entreprise fonctionnant sans licence - ARIA n°56370) ;
- Ignition du biogaz suite à des travaux (ARIA n°51342) : la cause suspectée est un arc électrique dû à l'agitateur qui venait de faire l'objet d'un changement ;
- Acte de malveillance avérée (ARIA n°22317) ou suspectée (ARIA n°9065).

**Comme sur toutes les ICPE, des barrières de sécurité sont mises en place pour prévenir toute malveillance (clôture métallique, contrôle à l'entrée ...) et toute intervention sur l'unité de méthanisation est soumise à permis de travaux et permis de feu si nécessaire et un contrôle de fin d'intervention sera réalisé.**

Dans le cas de l'accident n°9065, plusieurs causes sont évoquées la principale étant que la boudruche se serait bloquée en descente et mise en dépression. De l'air serait alors entré par les joints en téflon frottant sur l'axe central. Le biogaz arrivant à nouveau forme le mélange explosif qui est allumé par la flamme de la veilleuse de la torchère.

**De façon à éviter / limiter les effets de ce type, des mesures de maîtrise des risques ont été mises en place sur les unités de méthanisation pour éviter toute montée en pression ou dépression pouvant engendrer une explosion à l'intérieur du gazomètre :**

- En 1<sup>er</sup> lieu, un moyen de détection est mis en place : un explosimètre dans l'espace intermembranaire est installé pour détecter une fuite de biogaz.
- Ce détecteur de CH<sub>4</sub> est associé à une alarme sonore et un gyrophare pour signaler la présence de gaz associés à deux niveaux successifs de sécurité :
  - Dépassement du 1<sup>er</sup> seuil : évacuation par un ventilateur (avec secours installée) à l'atmosphère dans une proportion air/gaz qui ne présente aucun danger d'explosion ;
  - Dépassement du 2<sup>nd</sup> seuil : évacuation de la totalité du biogaz vers la torchère pour y être brûlé.
- En dernier recours, la sécurité de l'ouvrage est assurée par la garde hydraulique remplie en eau glycolée.

**Cette configuration permet de cumuler une détection de fuite ainsi que la protection anti-explosion de l'ouvrage.**



## Résultats des recherches dans la base de données ARIA – Fiches accident

### Eclatement de la double membrane surmontant un digesteur

N° 50490 - 15/09/2017 - FRANCE - 45 - LA FERTE-SAINT-AUBIN .

D35.21 - Production de combustibles gazeux

<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/50490/>



A partir de 7h13, la pression passe de 4 mbar à 80 mbar en 1 h dans la double membrane d'un digesteur sur une installation de méthanisation. Alerté vers 7h30 grâce au système de contrôle à distance, le responsable du site demande au technicien d'exploitation d'intervenir. A 8h15, cette membrane éclate. Deux des cornières de fixation sont arrachées et emportent des morceaux de voile de béton. En étant éjectée, une des cornières perce la citerne souple de stockage de digestat liquide et le contenu se déverse. L'exploitant ferme la vanne de rétention du réseau d'eaux pluviales. La citerne est mise sur rétention et le digestat est pompé. Une entreprise cure les réseaux, 3 à 4 m<sup>3</sup> de digestat liquide très peu chargé (2,5 % de matière sèche) polluent les eaux pluviales. Plusieurs équipements sont endommagés. Les dommages matériels s'élèvent à 70 000 €. La remise en état du site engendre des pertes d'exploitation pendant 1 mois, soit l'équivalent de 150 000 €.

### Les causes de l'accident

Au moment de l'incident, l'installation était en fin de phase de montée en puissance. La charge nominale venait d'être atteinte. Le digesteur n'était plus alimenté depuis 1 h, comme anticipé par la programmation des alimentations de la journée. L'éclatement est dû à une émulsion de matière, probablement à cause d'une surcharge organique. La matière émulsionnée dans le digesteur a débordé dans la cuve tampon de digestat brut via la canalisation de biogaz reliant les 2 cuves. Vers 3 h, l'alarme niveau haut de la cuve tampon de digestat brut s'est déclenchée. Toutes les voies d'évacuation du gaz se sont bouchées, causant la défaillance des équipements de sécurité (torchère et soupapes de sécurité). Les alarmes de surpression au niveau de la cuve tampon du digestat brut, puis au niveau du digesteur se sont déclenchées à 7h15 et 7h36. En revanche, l'alarme de niveau haut dans le digesteur ne s'est pas déclenchée. La production de gaz à l'intérieur a induit une montée en pression dans la membrane pour aboutir à son éclatement à 8h15.

### Scénario non envisagé par le constructeur

Le constructeur n'avait pas envisagé ce scénario de danger, que ce soit dans le choix des équipements de sécurité (soupapes non adaptées à la formation de mousse), dans la conception du contrôle commande qui ne prévoit pas l'évacuation de matière lors du déclenchement de l'alarme niveau haut de la cuve tampon de digestat brut, ainsi qu'au niveau des instructions opérationnelles transmises. D'autres causes ont également joué un rôle comme la sonde de niveau haut du digesteur mal branchée ou le non report des alarmes du système de supervision.

### Mesures mises en place par l'exploitant

Suite à l'accident, l'exploitant :

- asservit la pompe de vidange de la cuve tampon à l'atteinte du niveau haut dans cette cuve ;
- installe de nouvelles soupapes de sécurité pour réguler automatiquement le niveau de liquide ;
- installe des cols de cygne pour surélever la prise de gaz au niveau des soupapes et réduire leur risque d'inondation par de la matière en cas d'émulsion ;
- vérifie plus fréquemment le fonctionnement des sondes de niveau ;
- renforce le système d'alerte (report des alarmes par téléphone) et met en place un système d'astreinte dans le cadre du contrat de maintenance ;
- met en place une montée en charge plus progressive pour minimiser le risque de moussage ;
- fait vérifier la vanne de rétention des eaux pluviales par le fournisseur.

Une consigne d'exploitation est mise en place pour demander au personnel, lors de la vérification des soupapes, de regarder le contenu du digesteur à travers les hublots. Une procédure à suivre en cas de surpression dans le stockage de biogaz est établie.

## Explosion dans un méthaniseur d'une exploitation agricole

**N° 51342 - 04/04/2018 - FRANCE - 89 - SAINT-FARGEAU .**

*A01.50 - Culture et élevage associés*

<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/51342/>



Dans une exploitation agricole, une explosion suivie d'un incendie se produit à 15h30 au niveau du gazomètre du post-digesteur de l'unité de méthanisation. Les employés sécurisent l'installation et alertent les pompiers. Ces derniers éteignent l'incendie. Les eaux d'extinction sont collectées dans le post-digesteur. Le gazomètre est hors d'usage, les câbles d'alimentation des agitateurs sont fondus et l'étanchéité de tête de voile est endommagée.

La production de biogaz et sa valorisation énergétique se poursuivent sur la partie digesteur. Le post-digesteur n'étant plus disponible, un traitement complémentaire du biogaz doit toutefois être réalisé pour préserver le bon état du cogénérateur (ajout d'hydroxyde de fer).

Une entreprise sous-traitante réalisait la maintenance de l'agitateur de la cuve de post-digestion (2 500 m<sup>3</sup>). Le post-digesteur avait été dégazé puis débâché et l'agitateur avait été remonté à 9h50. L'explosion s'est produite lors du test initial de fonctionnement de l'agitateur, avant remplacement de son hélice. D'après le bureau d'étude ayant analysé l'accident pour l'exploitant, un défaut d'installation de l'agitateur serait à l'origine de l'incident. Le système de supportage de l'agitateur n'était pas relié à la terre du site sur sa carcasse métallique. Lors de la coupure de son alimentation électrique, la masse de l'agitateur s'est déchargée sur le système de guidage de l'agitateur provoquant un arc électrique. L'arc a agi comme source d'ignition et d'inflammation de la zone ATEX. Les contrôles réalisés par les organismes certifiés lors de la visite initiale et lors des visites périodiques n'avaient pas permis de déceler l'erreur.

## Incendie sur un stockage de gaz naturel.

**N° 22317 - 26/02/1993 - ROYAUME-UNI - 00 - WARRINGTON .**

*D35.22 - Distribution de combustibles gazeux par conduites*

<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/22317/>



Dans une installation de distribution de gaz stockant essentiellement du méthane à basse pression, une explosion se produit sur un gazomètre assurant la régulation de la demande pendant les périodes de forte consommation ; 33 t de gaz naturel sont émises à l'atmosphère et s'enflamment aussitôt en formant une boule de feu. Un gazomètre (le plus petit en taille) voisin est touché au niveau d'un des joints (fuite enflammée). Le plus gros gazomètre, situé de l'autre côté du gazomètre impliqué, est perforé, la brèche représentant 50 cm<sup>2</sup>. Les secours évacuent 200 personnes dont 60 sont relogées pour 2 nuits. Les 20 pompiers luttent contre le sinistre consécutif à l'explosion. Le site fonctionnait sans présence humaine et ne disposait pas de plan d'urgence. La cause de l'accident est due à un acte de malveillance : une charge explosive aurait en effet été placée sur le côté du gazomètre principalement touché.

**Explosion d'une boudruche contenant du méthane.****N° 9065 - 07/01/1999 - FRANCE - 73 - LA ROCHETTE .***C17.12 - Fabrication de papier et de carton*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/9065/>

Dans une unité de recyclage de biogaz issu de la station d'épuration anaérobie d'une papeterie, une explosion (5 kg de TNT) détruit une boudruche tampon en matériau souple de 10 m<sup>3</sup> et les tuyauteries associées alimentant une chaudière de production de vapeur ou une torchère de sécurité. La boudruche est pulvérisée, des rambardes sont tordues dans un rayon de 3 m, des tuiles sont détruites dans un rayon de 20 m, des bardages sur l'unité et vitres jusqu'à 130 m de distance volent en éclat. Il n'y a pas de victime. La boudruche se serait bloquée en descente et mise en dépression. De l'air serait alors entré par les joints en téflon frottant sur l'axe central. Le biogaz arrivant à nouveau forme le mélange explosif qui est allumé par la flamme de la veilleuse de la torchère. Une production accidentelle d'hydrogène dans le méthaniseur et un acte de malveillance sont également évoqués. L'usine porte plainte. Des expertises sont réalisées. Des sécurités sont installées (analyseurs, clapets, etc.).

**Explosion dans une usine de méthanisation****N° 42322 - 27/03/2007 - AUTRICHE - 00 - SANKT MAGARETHEN AN DER RAAB .***A01.50 - Culture et élevage associés*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/42322/>

Un dôme d'une cuve de stockage de biogaz de 2 000 m<sup>2</sup> d'une installation de méthanisation explose à 8h45. Un anneau métallique de 2 m de diamètre est projeté à 30 m, le souffle est ressenti à 100 m. Deux employés qui travaillaient derrière un mur de 4 m de haut à proximité sont indemnes. La police effectue une enquête. La cause de l'explosion n'est pas connue.

**Explosion de méthane****N° 9808 - 23/03/1996 - INDE - 00 - UTTAR PRADESH .***E38.22 - Traitement et élimination des déchets dangereux*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/9808/>

Une citerne de méthane explose dans une usine de traitement des effluents au nord de l'Inde. Trois personnes sont tuées et une autre sérieusement blessée. L'explosion a été causée par des travaux de soudure sur le toit du bac de méthane. Le contrôle des pollutions de l'Etat avait ordonné deux jours auparavant à la compagnie de prendre des mesures afin d'éviter les fuites de gaz sur le réservoir. Une plainte pour négligence criminelle est déposée contre la compagnie.

**Explosion / Incendie dans une usine de traitement de déchets.****N° 2004 - 08/06/1990 - FRANCE - 78 - ACHERES .***E38.11 - Collecte des déchets non dangereux*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/2004/>

Une explosion et un incendie se produisent dans un centre de traitement des ordures. Le feu s'est déclaré sur un réservoir contenant du méthane. Il n'y a pas de victime et aucune pollution notable n'est observée.

**Explosion mortelle dans une usine de métallurgie****N° 56370 - 17/11/2020 - ISRAEL - 00 - ASHDOD .***YYY - Activité indéterminée*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/56370/>

Lors de travaux de soudure sur un réservoir de gaz, une explosion se produit dans une entreprise métallurgique. Deux employés décèdent et deux autres personnes sont blessées. Le bâtiment est détruit. Depuis trois ans, l'entreprise fonctionnait sans licence. Sa certification avait été révoquée en raison de problèmes de sécurité.

**Explosion d'un réservoir de gaz sur un complexe gazier****N° 49999 - 16/07/2017 - NIGERIA - 00 - CALABAR .***D35.21 - Production de combustibles gazeux*<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/49999/>

Dans un complexe gazier, une explosion d'un réservoir de gaz se produit, entraînant la mort de 9 personnes et blessant au moins 10 autres personnes. Une enquête est effectuée pour connaître les causes du départ de feu et de l'explosion.

*Page laissée intentionnellement blanche*

---



## IDE Environnement

Bureau d'études et de conseils en Environnement

4, rue Jules Védrières – BP 94204

31031 TOULOUSE Cedex 04

Tél : 05 62 16 72 72 - Fax : 05 62 16 72 69