

## MODELISATIONS FUITES BIOGAZ UNITE DE METHANISATION SCEA DES LONGCHAMPS



[www.dekra-industrial.fr](http://www.dekra-industrial.fr)

### DEKRA Industrial SAS

Pôle Qualité Santé Sécurité Environnement  
Région Sud-Est

Activité audit et conseil QHSE

36 avenue Jean Mermoz  
68008 LYON

Tel : 04 72 78 13 65

Fax : 04 72 78 13 51

### SCEA des Longchamps

39 rue de Meroux  
90400 ANDELNANS

Date	Version	Modifications	Contrôle qualité			
09/11/2015	A	Version initiale	Rédacteur	Yohana SIGAUD	Relecteur	Thomas LEFEVRE
09/11/2015	0	Intégration des commentaires	Rédacteur	Yohana SIGAUD	Relecteur	Thomas LEFEVRE
10/11/2015	1	Version finale	Rédacteur	Yohana SIGAUD	Relecteur	Thomas LEFEVRE

---

## **SOMMAIRE**

---

<b>I. CONTEXTE .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MÉTHODOLOGIE DE QUANTIFICATION DES EFFETS DANGEREUX .....</b>	<b>2</b>
II.1. Effets thermiques et de surpression.....	2
II.1.1. Description des phénomènes dangereux étudiés.....	2
II.1.1.a Explosion physique d'une capacité sous pression .....	2
II.1.1.b Explosion .....	3
II.1.1.a Jet enflammé .....	4
II.1.2. Outil de modélisation Phast pour les Flash fire / UVCE et jet fire .....	4
II.1.2.a Explosion : Méthode Multi-Energie.....	4
II.1.2.b Jet enflammé .....	8
II.1.3. Seuils réglementaires.....	9
II.2. Effets toxiques .....	10
II.2.1. Méthodologie .....	10
II.2.2. Seuils réglementaires.....	10
II.3. Conditions météorologiques .....	12
<b>III. RUPTURE CATASTROPHIQUE / ÉVENTRATION DE LA MEMBRANE DU DIGESTEUR .....</b>	<b>13</b>
III.1. Terme source .....	13
III.2. Résultats de la rupture catastrophique du digesteur .....	14
<b>IV. RUPTURE CATASTROPHIQUE / ÉVENTRATION DE LA MEMBRANE DU POSTDIGESTEUR</b>	<b>16</b>
IV.1. Terme source .....	16
IV.2. Résultats de la rupture catastrophique du postdigesteur .....	17
<b>V. RUPTURE GUILLOTINE D'UNE TUYAUTERIE DE BIOMÉTHANE .....</b>	<b>19</b>
V.1. Terme source .....	19
V.2. Résultats de la rupture guillotine de la tuyauterie.....	20
<b>VI. CONCLUSION.....</b>	<b>21</b>
<b>ANNEXES : CARTOGRAPHIES DES DISTANCES D'EFFETS .....</b>	<b>22</b>

---

## FIGURES

---

Figure 1 : Plan de localisation des installations étudiées .....	1
Figure 2 : Courbes de décroissance de la surpression maximale depuis l'épicentre de l'explosion selon les différents indices de « violence » d'explosion.....	7

---

## TABLEAUX

---

Tableau 1 : Indice de violence d'explosion .....	5
Tableau 2 : Indice de violence d'explosion – Recommandations Kinsella.....	6
Tableau 3 : Seuils d'effets thermiques et de surpression réglementaires.....	9
Tableau 4 : Conditions météorologiques étudiées .....	12
Tableau 5 : Terme source du digesteur .....	13
Tableau 6 : Indice de violence d'explosion – Hypothèses retenues .....	14
Tableau 7 : Distances d'effets dangereux du digesteur .....	14
Tableau 8 : Terme source postdigeur .....	16
Tableau 9 : Indice de violence d'explosion – Hypothèses retenues .....	17
Tableau 10 : Distances d'effets dangereux du postdigeur.....	17
Tableau 11 : Terme source tuyauterie .....	19
Tableau 12 : Indice de violence d'explosion – Hypothèses retenues .....	19
Tableau 13 : Distances d'effets dangereux de la tuyauterie.....	20

## I. CONTEXTE

Pour l'unité de méthanisation SCEA des Longchamps à Andelnans et dans le cadre d'une étude des dangers, les effets thermiques de surpression ou toxiques des scénarios accidentels suivants doivent être modélisés. Il a été décidé de retenir les cas majorants de rupture catastrophique des équipements principaux :

- Ruptures catastrophiques / éventration de la membrane des deux stockages de biogaz (digesteur et postdigesteur) :
  - effets de surpression dus à la rupture de la membrane,
  - explosion due à la libération de biogaz (effets thermiques : flash fire et effets de surpression : UVCE),
  - effets toxiques dus à la libération de biogaz (présence d'H<sub>2</sub>S).
- Rupture guillotine d'une tuyauterie de biométhane ayant la plus forte pression :
  - explosion due à la libération de biométhane (effets thermiques : flash fire et effets de surpression : UVCE).

De plus, il sera vérifié l'absence d'effet toxique dus à la libération de biométhane (présence de traces d'H<sub>2</sub>S)

Les installations sont représentées sur le plan ci-dessous :

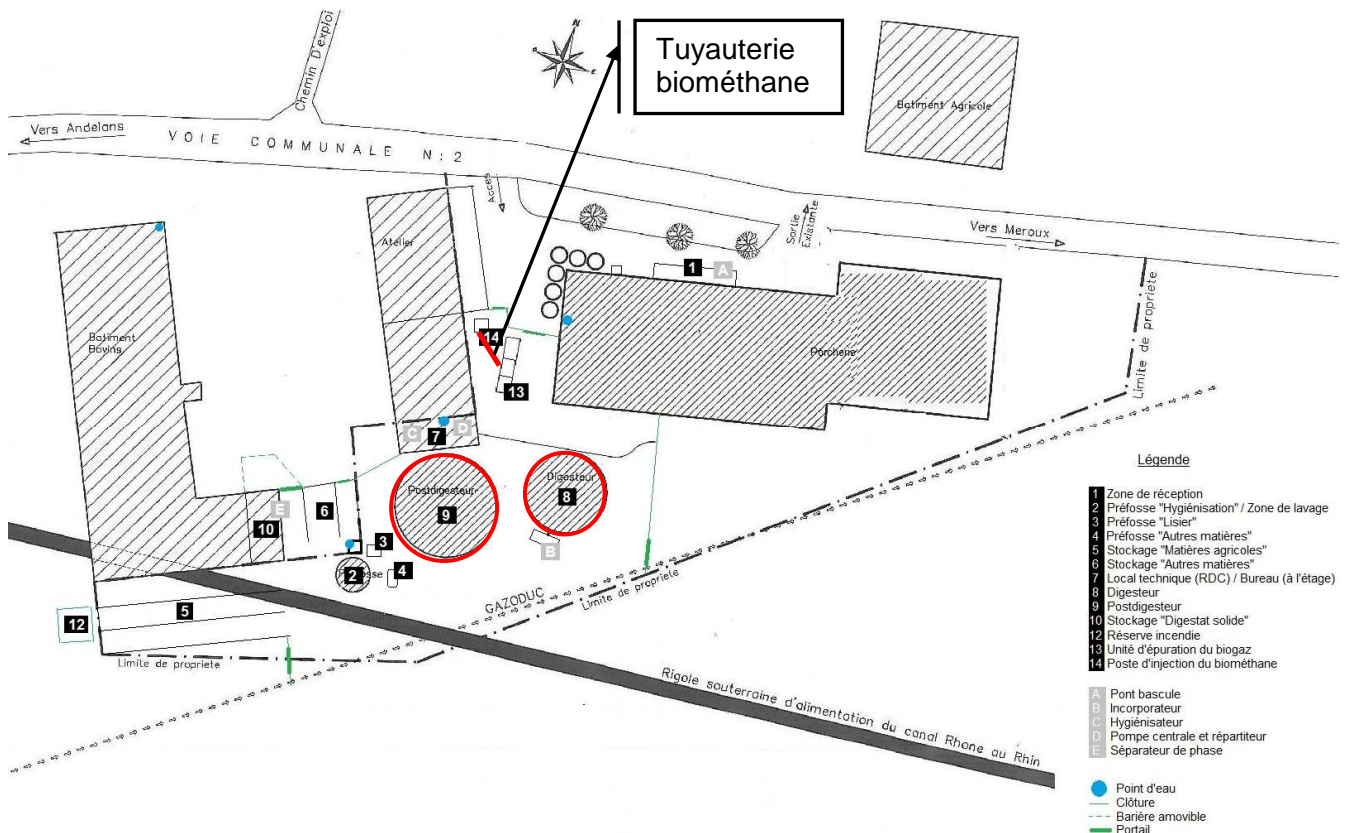


Figure 1 : Plan de localisation des installations étudiées

## II. MÉTHODOLOGIE DE QUANTIFICATION DES EFFETS DANGEREUX

### II.1. Effets thermiques et de surpression

#### II.1.1. Description des phénomènes dangereux étudiés

##### II.1.1.a Explosion physique d'une capacité sous pression

L'explosion d'une capacité sous pression (ici le digesteur ou le postdigesteur) peut survenir à la suite d'un choc mécanique qui cause la rupture de la membrane.

Les effets d'une telle explosion physique s'estiment en calculant une masse équivalente de TNT qui permet de déterminer la surpression engendrée :

$$M = 9,65 \cdot 10^{-6} \times V (P_1/P_0) \times (T_0/T_1) \times RT_1 \times \ln(P_1/P_2)$$

Avec : M : masse équivalente de TNT (kg) ;

V : volume de gaz comprimé (m<sup>3</sup>) ;

P<sub>1</sub> : pression dans le réservoir (Pa) ;

P<sub>2</sub> : pression en fin de détente, égale à P<sub>0</sub> (Pa) ;

P<sub>0</sub> : pression atmosphérique standard (Pa) ;

T<sub>1</sub> : température dans le réservoir (K) ;

T<sub>0</sub> : température atmosphérique standard = 273,2 K ;

R : constante des gaz parfaits = 8,32 J/mol/K ;

**Note** :  $9,65 \cdot 10^{-6}$  est le facteur de conversion masse/énergie pour le TNT avec 1 kg de TNT produisant 4,65 MJ.

La zone d'impact de la surpression est déterminée pour la masse équivalente de TNT de la même façon que dans le scénario précédent :

$$d (200 \text{ à } 250 \text{ mbar}) = 6,3 \times M^{1/3}$$

$$d (140 \text{ mbar}) = 10 \times M^{1/3}$$

$$d (50 \text{ mbar}) = 22 \times M^{1/3}$$

avec : d en mètres  
M en kg de TNT (conditions très majorantes)

## II.1.1.b Explosion

### ➤ GENERALITES

Le phénomène d'explosion est caractérisé par la propagation, à grande vitesse, d'une onde de surpression se manifestant par la succession des étapes suivantes :

- Rejet dans l'atmosphère d'un produit combustible (gaz / poussières) ;
- Mélange du combustible avec un comburant (généralement l'oxygène de l'air) pour former un volume inflammable ;
- Dispersion et advection d'un nuage inflammable ;
- Inflammation du nuage ;
- Propagation d'un front de flamme au travers du nuage et formation d'une onde de pression.

L'inflammation du mélange combustible / comburant entraîne la formation d'une zone de réaction exothermique, appelée onde de combustion correspondant à la flamme où les réactifs sont transformés en produits brûlés et l'énergie chimique est transformée en chaleur.

Une explosion conduit à des effets mécaniques et thermiques. La propagation du front de flamme agit à la manière d'un piston sur les gaz environnants et conduit à la formation d'une onde de pression lorsque la vitesse de combustion de la flamme est suffisante. La propagation des flammes s'accompagne également d'une expansion de gaz brûlés dont la température s'élève à plusieurs centaines de degrés.

La cinétique du phénomène est particulièrement rapide. Deux régimes de propagation des flammes sont possibles :

- Déflagration : vitesse subsonique de propagation des flammes, de l'ordre de quelques centaines de mètres par secondes ;
- Détonation : vitesse supersonique de propagation des flammes, de l'ordre plusieurs milliers de mètres par secondes.

### ➤ EFFETS DANGEREUX DE L'EXPLOSION (FLASH FIRE ET UVCE)

Les **effets thermiques** du flash fire sont associés au transfert de chaleur depuis les flammes vers l'environnement et sont dimensionnés par la propagation du front de flammes. Ils sont limités au volume du nuage inflammable et à son environnement proche. Par ailleurs, ces effets ne sont pas susceptibles de détériorer les structures. En effet, le transfert de chaleur est limité par la cinétique rapide du phénomène ne permettant pas de provoquer des dommages significatifs sur le bâti.

Les **effets de surpression** de l'UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion) correspondent à la formation et la propagation d'une onde de pression aérienne associée à la vitesse de combustion des flammes. Le niveau de surpression maximal atteint dépend essentiellement de la vitesse des flammes et diminue en s'éloignant de l'épicentre d'explosion. Les conséquences associées à la propagation de l'onde peuvent conduire à des effets directs et indirects sur l'homme ainsi qu'à la destruction totale ou partielle de structures engendrant éventuellement la projection de débris.

### II.1.1.a Jet enflammé

#### ➤ GENERALITES

Le jet enflammé correspond à une flamme de diffusion formée lorsqu'un jet combustible (liquide ou gazeux) issu d'une fuite accidentelle s'enflamme par l'intermédiaire d'une source d'inflammation. Le jet combustible se mélange à l'air par entraînement/diffusion et brûle lorsque les concentrations de combustible et d'air sont comprises dans les limites d'inflammabilité spécifiques à chaque combustible. Le jet peut s'auto-enflammer sans source d'inflammation extérieure si la température du mélange gazeux est suffisamment élevée.

#### ➤ EFFETS DANGEREUX DU JET ENFLAMME

Les **effets thermiques** générés sont associés au transfert de chaleur par rayonnement de la flamme et par convection forcée due à la vitesse de jet. Les conséquences associées à la puissance thermique développée par un jet enflammé peuvent entraîner des dommages importants pour l'homme et les structures. Une caractéristique particulière du jet enflammé réside notamment dans sa propension à entraîner des effets dominos sur les installations à proximité.

### II.1.2. Outil de modélisation Phast pour les Flash fire / UVCE et jet fire

Le logiciel PHAST, version 7.11 de DNV Technica est utilisé pour le calcul des distances de l'explosion. Ce logiciel est largement reconnu dans la profession et a été évalué avec des conclusions positives par l'INERIS dans des versions antérieures (Références INERIS : DRA – 2002 – 29576 « Évaluation des versions 6.0 et 6.1 du logiciel PHAST \_ Rapport de synthèse de Novembre 2002 »).

PHAST est un outil reconnu d'évaluation des conséquences dans le domaine des risques industriels. Il permet de simuler l'évolution du rejet accidentel d'un produit toxique et/ou inflammable depuis l'évaluation du terme source jusqu'à la dispersion en champ lointain. Une fois le terme source calculé, celui-ci est associé au modèle de dispersion intégral utilisé par PHAST (modèle UDM – Unified Dispersion Model) afin d'obtenir les distances d'effets du phénomène étudié.

#### II.1.2.a Explosion : Méthode Multi-Energie

La méthode Multi-Energie est utilisée pour le calcul des effets d'une explosion. Les principes de base de la méthode sont inspirés des mécanismes qui gouvernent le déroulement d'une explosion considérant qu'une flamme se propageant dans un mélange réactif accélère si le volume occupé est caractérisé par la présence répétée d'obstacles et d'espaces partiellement confinés.

Dans le cadre d'une application de la méthode Multi-Energie, la « violence » de chaque explosion est caractérisée par un indice compris entre 1 et 10. Ces indices de « violence » d'explosion permettent de qualifier la puissance avec laquelle l'énergie est consommée pour engendrer des surpressions aériennes. Les niveaux maximaux de surpression et les courbes d'atténuation en fonction de la distance sont donnés, pour chaque indice, par des abaques de calcul de décroissance de la surpression.

#### ➤ EFFETS DE PRESSION

Les éléments importants déterminés lors des calculs des **effets de pression** sont les suivants :

- **Énergie d'explosion** : l'énergie d'explosion est déterminée à partir de la nature et de la quantité de combustible participant à la réaction de combustion en fonction notamment, du volume du nuage inflammable formé, de la concentration et de la chaleur de combustion du combustible ;

- **Pression maximale d'explosion en champ proche** : la pression maximale générée en cas d'explosion est déterminée par un indice de « violence » dont l'échelle de référence utilisée est donnée dans le tableau suivant ;

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

Tableau 1 : Indice de violence d'explosion

L'indice de « violence » d'explosion, et donc la surpression maximale d'explosion, sont déterminés suivant les recommandations de Kinsella à partir de l'énergie d'inflammation, du confinement du nuage et du degré d'encombrement de la zone d'évolution du front de flamme.

### **Indice de violence ou de sévérité de l'explosion**

La pression maximale générée en champ proche et l'atténuation des effets de pression sont établies à partir d'un indice de violence d'explosion estimé sur la base des recommandations de Kinsella :

- **Énergie d'inflammation** : il est admis que les vitesses de flamme peuvent augmenter lorsque l'énergie d'inflammation croît. En effet, la vitesse de propagation des flammes peut être initialement importante et conduire à des vitesses de propagation relativement élevées. En pratique, les sources d'inflammation accidentelles usuelles (électricité statique, surfaces chaudes, ...) délivrent des énergies de l'ordre du Joule correspondant à une énergie d'inflammation faible. Une énergie importante susceptible d'amorcer une explosion de type détonation est de l'ordre de plusieurs kJ, caractérisée par exemple par une explosion pouvant être à l'origine de l'inflammation du nuage par effet domino ;
- **Degré d'encombrement** : en présence d'obstacles dans la zone d'évolution du front de flamme, l'écoulement des gaz devient généralement turbulent. L'effet « piston » exercé par les flammes sur les gaz frais est ainsi accentué et intensifie la turbulence. Les degrés d'encombrement définis sont les suivants :
  - Inexistant : absence d'obstacles ;
  - Faible : volume d'obstacle inférieur à 30% du volume total de la zone encombrée ;
  - Fort : volume d'obstacle supérieur à 30% du volume total de la zone encombrée.



- **Degré de confinement** : le confinement imposé par la géométrie de l'environnement possède une influence sur le mode de propagation et donc sur la vitesse des flammes. Le degré de confinement est considéré existant si le nuage inflammable est confiné par des murs / barrières / parois sur au moins deux côtés.

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

Tableau 2 : Indice de violence d'explosion – Recommandations Kinsella

Précisons que les recommandations de Kinsella ne prennent cependant pas en compte la réactivité du gaz qui peut sensiblement influencer la vitesse de combustion du mélange inflammable. Concernant les scénarios étudiés, le gaz naturel (méthane) correspond cependant à un gaz à réactivité basse dont la vitesse laminaire de combustion est la plus faible. La méthode Kinsella est donc adaptée au calcul de l'indice de violence d'explosion.

- **Atténuation des effets de pression** : les caractéristiques de l'onde de surpression aérienne dépendent de la distance entre l'épicentre de l'explosion et la position du lieu considéré. L'éloignement par rapport à l'épicentre de l'explosion est pris en compte au travers un calcul de décroissance des surpressions aériennes depuis les surpressions maximales engendrées en champ proche.

Le modèle de calcul associé à la méthode Multi-Energie donne les surpressions engendrées à vitesse de flamme constante de volumes explosibles hémisphériques au niveau du sol. L'abaque de calcul correspondant est présenté dans la figure suivante.

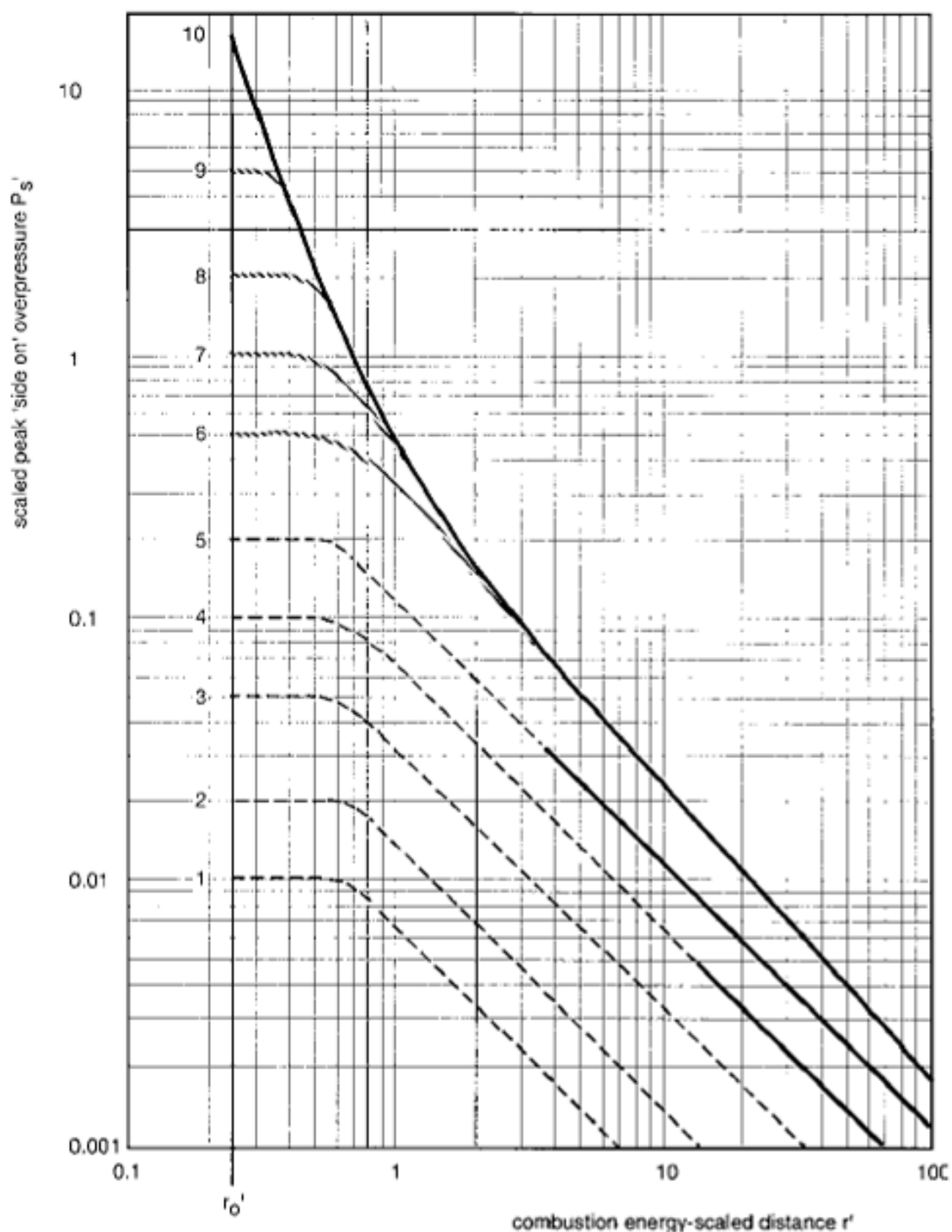


Figure 2 : Courbes de décroissance de la surpression maximale depuis l'épicentre de l'explosion selon les différents indices de « violence » d'explosion

## ➤ EFFET THERMIQUES

Concernant les **effets thermiques** associés au passage du front de flamme, l'expérience montre que l'effet du rayonnement thermique est assez limité. Les distances d'effets dangereux sont déterminées sur la base des prescriptions de la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers :

- Les effets létaux (SEL et SELS) sont dimensionnés par la distance à la Limite Inférieure d'Inflammabilité (LII) du nuage de gaz formé. Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours des gaz brûlés est susceptible de subir un effet léthal ;
- Les effets réversibles sont dimensionnés à partir d'une formule forfaitaire basée sur la distance à la limite inférieure d'inflammabilité du nuage de gaz formé. Les effets irréversibles sont limités à l'environnement proche des gaz brûlés (distance SEI = 1,1 x distance à la LII).

### II.1.2.b Jet enflammé

Le modèle « cône » décrivant la flamme comme un tronc de cône localisé au niveau de la fuite est utilisé pour le calcul des effets thermiques. Ce modèle a notamment été validé par des essais effectués par la Société SHELL avec des gaz de pétrole liquéfiés (GPL). Ce modèle tient compte de la nature du combustible, des conditions extérieures (température, humidité et vitesse du vent) et des caractéristiques du rejet (direction et angle avec le vent).

Les étapes permettant de déterminer les effets d'un jet enflammé sont les suivantes :

- **Caractéristiques du jet** : la vitesse et le diamètre effectif du jet sont deux paramètres de similitude essentiels pour définir ensuite la géométrie de la flamme. Ces paramètres sont calculés à partir des conditions de fonctionnement des installations à l'origine de la fuite (pression, débit, température,...) ;
- **Géométrie de la flamme** : l'enveloppe de la flamme est assimilée à un tronc de cône. Ainsi, il s'agit de calculer la longueur de la flamme, la largeur de sa base et enfin la largeur du haut de la flamme. La géométrie de la flamme est déterminée suivant les caractéristiques du jet et de la vitesse du vent. Elle permet de définir le facteur de vue sous lequel une cible est exposée au rayonnement de la flamme ;
- **Pouvoir émissif** : le pouvoir émissif de la flamme correspond à la quantité de chaleur rayonnée par unité de surface de flamme et de temps et se définit comme la fraction rayonnée de la puissance totale réellement dégagée par la combustion. Il est calculé à partir de la vitesse du jet et des propriétés du combustible mis en jeu.

Les effets thermiques d'un jet enflammé sont liés au transfert de chaleur radiatif et éventuellement convectif si la cible est dans l'environnement proche de la flamme. Dans le cas des jets enflammés à très forte pression, la convection des gaz brûlés peut devenir un transfert de chaleur prépondérant devant le rayonnement de la flamme. Le terme de convection des gaz brûlés sur une cible se détermine à partir des caractéristiques du jet enflammé, notamment la vitesse des gaz et le diamètre effectif du jet.

Concernant le flux radiatif, le modèle « cône » permet de réaliser une évaluation précise et complète des effets thermiques en utilisant la méthode « de la flamme solide » qui définit de façon complète la configuration de la flamme (longueur, largeur,...). Cette méthode est notamment utilisée pour les calculs de flux radiatif de feux de nappe. La flamme est assimilée à un volume opaque de géométrie simple dont les surfaces rayonnent uniformément.

### II.1.3. Seuils réglementaires

Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques et de surpression sont définies dans l'arrêté du 29 septembre 2005, dit PCIG, 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.

Elles sont reprises dans le tableau ci-après.

Effets de surpression	Seuils d'effets		Effets sur l'homme	Effets sur les structures
	Flux thermiques			
	Statique	Dose		
20 mbar	-	-	-	Seuil des bris de vitres
50 mbar	3 kW/m <sup>2</sup>	600 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup>	SEI : Seuils des effets irréversibles délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine	-
140 mbar	5 kW/m <sup>2</sup>	1 000 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup>	SEL : Seuil des effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine	Seuil des destructions de vitres significatives
200 mbar	8 kW/m <sup>2</sup>	1 800 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup>	SELS : Seuil effets létaux significatifs délimitant 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

Tableau 3 : Seuils d'effets thermiques et de surpression réglementaires

## **II.2. Effets toxiques**

### **II.2.1. Méthodologie**

L'évaluation des distances d'effets de la dispersion d'un nuage toxique peut être décomposée en plusieurs étapes successives :

- La détermination du terme source (composition du produit, débit d'émission et caractéristiques cinétiques d'émission) ;
- L'évaluation de la toxicité du produit ;
- La modélisation de la dispersion du nuage toxique ;
- La détermination des distances aux seuils d'effets toxiques réglementaires (SEI, SEL et SELS) ;

Le logiciel PHAST, version 7.11 de DNV Technica est utilisé pour le calcul de la dispersion du nuage toxique. Ce logiciel est largement reconnu dans la profession et a été évalué avec des conclusions positives par l'INERIS dans des versions antérieures (Références INERIS : DRA – 2002 – 29576 « Évaluation des versions 6.0 et 6.1 du logiciel PHAST \_ Rapport de synthèse de Novembre 2002 »).

PHAST est un outil reconnu d'évaluation des conséquences dans le domaine des risques industriels. Il permet de simuler l'évolution du rejet accidentel d'un produit toxique et/ou inflammable depuis l'évaluation du terme source jusqu'à la dispersion en champ lointain. Une fois le terme source calculé, celui-ci est associé au modèle de dispersion intégral utilisé par PHAST (modèle UDM – Unified Dispersion Model) afin d'obtenir les distances d'effets du phénomène étudié.

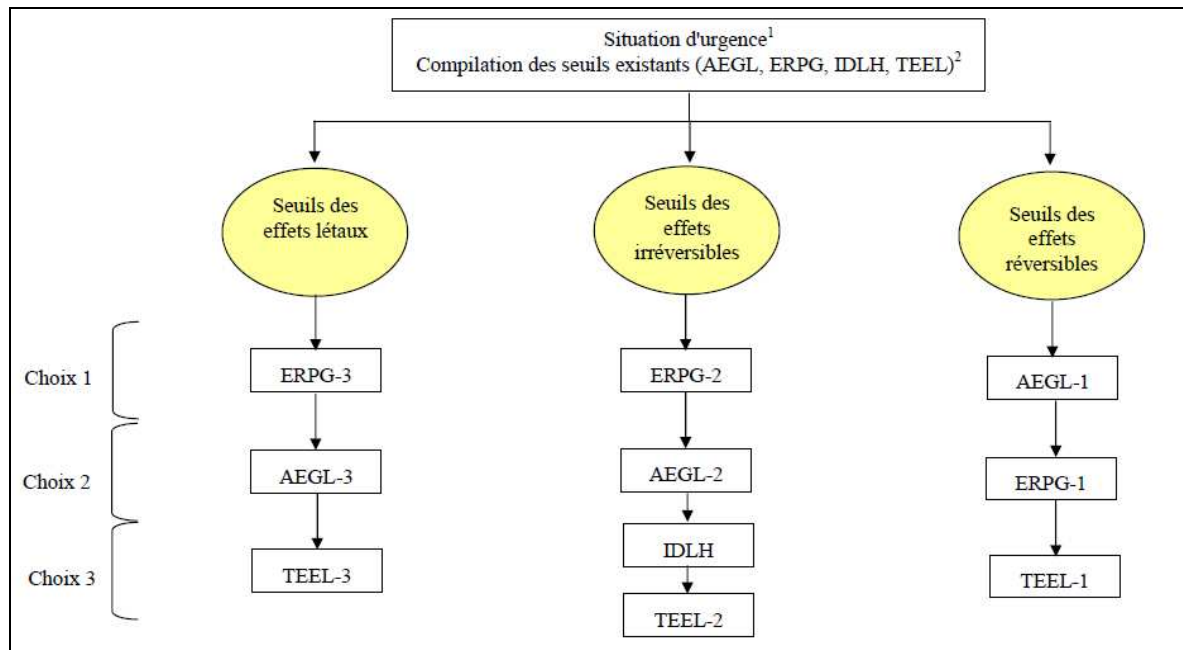
### **II.2.2. Seuils réglementaires**

Pour la définition des zones d'effets d'une dispersion de produits toxiques, les seuils utilisés comme valeurs de référence sont ceux définis dans l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation :

- le seuil des effets irréversibles (SEI),
- le seuil des premiers effets létaux (SPEL), correspondant à une CL 1 %,
- le seuil des effets létaux significatifs (SELS), correspondant à une CL 5 %.

Pour les substances ne disposant pas de valeurs françaises, la méthodologie s'appuiera sur le rapport d'étude de la direction des risques chroniques de l'INERIS : Guide pratique des valeurs de seuils de toxicité aiguë en cas d'absence des valeurs françaises.

Le choix des différents seuils correspond au logigramme suivant.



La relation de Haber permet d'obtenir les doses toxiques correspondantes :

$$Dose = C^n \times t$$

Avec : C (ppm), n (coefficient de Haber) et t (min)

La molécule toxique retenue dans la présente étude est l'H<sub>2</sub>S, d'où n = 2,95 (source INERIS).

Les valeurs de référence données par l'INERIS pour 60 minutes retenues sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Substance	SEI (ppm)	SPEL (ppm)	SELS (ppm)
H <sub>2</sub> S	80	372	414
Substance	Dose SEI (ppm <sup>2,95</sup> .min)	Dose SEL (ppm <sup>2,95</sup> .min)	Dose SELS (ppm <sup>2,95</sup> .min)
H <sub>2</sub> S	2,47.10 <sup>7</sup>	2,30.10 <sup>9</sup>	3,15.10 <sup>9</sup>

Remarque : Les doses toxiques sont calculées à une hauteur de 1,5 m, ce qui correspond à la hauteur moyenne humaine.

### II.3. Conditions météorologiques

Conformément aux prescriptions de la circulaire du 10 mai 2010, les paramètres météorologiques considérés pour les calculs sont donnés dans le tableau suivant :

Classe de stabilité de l'atmosphère	Vitesse du vent (m/s)	Température ambiante (°C)	Humidité air ambiant (%)	Pression atmosphérique (bar)
A	3	20	70	1,013
B	3			
B	5			
C	5			
C	10			
D	5			
D	10			
E	3			
F	3	15		

Tableau 4 : Conditions météorologiques étudiées

### III. RUPTURE CATASTROPHIQUE / ÉVENTRATION DE LA MEMBRANE DU DIGESTEUR

Le site dispose d'un digesteur dont les caractéristiques sont les suivantes :

- volume de gaz : 475 m<sup>3</sup> (membrane) + 245 m<sup>3</sup> (ciel gazeux de la fosse), soit un total de 720 m<sup>3</sup>,
- dimension et matériaux : fosse en acier inox de 1 543 m<sup>3</sup>, diamètre 17,66 m, hauteur 6,30 m, recouverte d'une géomembrane (revêtement PVC et tissu de support PES),
- pression et température de service (gaz) : 3 mbar (4,5 mbar max), 35°C (40°C max).
- composition du biogaz : 53% de CH<sub>4</sub>, 41% de CO<sub>2</sub>, 5% de H<sub>2</sub>O, 0,4% de N<sub>2</sub>, 0,1% de O<sub>2</sub>, 0,06% (600 ppm) H<sub>2</sub>S (0,15% soit 1 500 ppm max) + traces H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO,
- hauteur de la membrane : 4,20 m à 7,52 m.

#### III.1. Terme source

Le cas retenu pour les modélisations est le cas majorant de dysfonctionnement des soupapes de sécurité.

La pression retenue est alors celle de la rupture de la membrane, égale à 30 mbar, tirée du rapport d'étude INERIS N°DRA-09-101660-12814A "Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle".

Le terme source correspond aux données d'entrées des calculs de distances d'effets dangereux. Les principaux paramètres utilisés sont synthétisés dans le tableau suivant.

Installations	Paramètres		Scénarios d'accident
Digesteur	Propriétés du combustible	Chaleur de combustion (J/kg)	1,5.10 <sup>7</sup>
		Densité phase gazeuse (kg/m <sup>3</sup> )	1,2
		Limites d'inflammabilité (%)	8 % à 31 %
	Caractéristiques du digesteur	Volume interne (m <sup>3</sup> )	720
		Indice de sévérité	5
		Pression de rupture * (mbar)	30

\* Résistance mécanique d'une membrane en PVC (rapport d'étude INERIS N°DRA-09-101660-12814A "Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle")

Tableau 5 : Terme source du digesteur



Les hypothèses retenues pour la détermination de l'indice de violence ou de sévérité de l'explosion sont données dans le tableau suivant.

Paramètres	Digesteur
Degré d'encombrement	Faible
Confinement	Existant
Indice de violence d'explosion	5
Pression maximale d'explosion (mbar)	200

Tableau 6 : Indice de violence d'explosion – Hypothèses retenues

### III.2. Résultats de la rupture catastrophique du digesteur

Les distances d'effets dangereux calculées sont données dans le tableau suivant.

Installations	Scénarios d'accidents	Phénomènes dangereux	Type d'effets	Distances d'effets dangereux (m)			
				20 mbar bris de vitre	SEI	SEL	SELS
Digesteur	Rupture catastrophique de la membrane	Surpression due à la rupture	Surpression	50	15	10	5
		Explosion (UVCE)	Surpression (Conditions météo 5D. Cf. II.3)	250	105	45	40
		Explosion (flash fire)	Thermique (Conditions météo 5D. Cf. II.3)	-	40	35	35
		Dispersion de biogaz toxique	Toxique (Conditions météo 10D. Cf. II.3)	-	NA	NA	NA

NA : non atteint

Tableau 7 : Distances d'effets dangereux du digesteur

La distance minimale entre le digesteur et la limite sud du site est de 12 m. Les distances d'effets qui sortent au sud du site sont les suivantes :

- Seuils des bris de vitre et SEI de la surpression dus à la rupture de la membrane,
- Seuils des bris de vitre, SEI, SEL et SELS de l'UVCE et du flash fire.

Ces distances atteindraient le tracé du gazoduc.

La distance minimale entre le digesteur et la limite nord du site est de 63 m. Les distances d'effets qui sortent au nord du site sont les suivantes :

- Seuils des bris de vitre et SEI de l'UVCE.

Les seuils toxiques ne sont pas atteints car le rejet se produit en hauteur. Le panache toxique ne retomberait pas au sol.

La zone délimitée par les effets dominos du flash fire (SELS des effets thermiques) n'atteint pas le stockage de fourrage.

Les cartographies des distances d'effets sont représentées en annexe.

## IV. RUPTURE CATASTROPHIQUE / ÉVENTRATION DE LA MEMBRANE DU POSTDIGESTEUR

Le site dispose d'un digesteur dont les caractéristiques sont les suivantes :

- volume gaz : 759 m<sup>3</sup> (membrane) + 216 m<sup>3</sup> (ciel gazeux fosse), soit un total de 975 m<sup>3</sup>,
- dimension et matériaux : fosse en béton 3 464 m<sup>3</sup>, diamètre 23,48 m, hauteur 8 m, recouverte d'une géomembrane (revêtement PVC et tissu de support PES),
- pression et température de service (gaz) : 2 mbar (4,5 mbar max), 35°C (40°C max),
- composition du biogaz : 53% de CH<sub>4</sub>, 41% de CO<sub>2</sub>, 5% de H<sub>2</sub>O, 0,4% de N<sub>2</sub>, 0,1% de O<sub>2</sub>, 0,06% (600 ppm) H<sub>2</sub>S (0,15% soit 1 500 ppm max) + traces H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO,
- hauteur de la membrane : 5,40 m à 9,64 m.

### IV.1. Terme source

Le cas retenu pour les modélisations est le cas majorant de dysfonctionnement des soupapes de sécurité.

La pression retenue est alors celle de la rupture de la membrane, égale à 30 mbar, tirée du rapport d'étude INERIS N°DRA-09-101660-12814A "Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle".

Le terme source correspond aux données d'entrées des calculs de distances d'effets dangereux. Les principaux paramètres utilisés sont synthétisés dans le tableau suivant.

Installations	Paramètres		Scénarios d'accident
Postdigesteur	Propriétés du combustible	Chaleur de combustion (J/kg)	1,5.10 <sup>7</sup>
		Densité phase gazeuse (kg/m <sup>3</sup> )	1,2
		Limites d'inflammabilité (%)	8 % à 31 %
	Caractéristiques du postdigesteur	Volume interne (m <sup>3</sup> )	975
		Indice de sévérité	5
		Pression de rupture * (mbar)	30

\* Résistance mécanique d'une membrane en PVC (rapport d'étude INERIS N°DRA-09-101660-12814A "Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle")

Tableau 8 : Terme source postdigesteur

Les hypothèses retenues pour la détermination de l'indice de violence ou de sévérité de l'explosion sont données dans le tableau suivant.

Paramètres	Digesteur
Énergie d'inflammation	Faible
Degré d'encombrement	Faible
Confinement	Existant
Indice de violence d'explosion	5
Pression maximale d'explosion (mbar)	200

Tableau 9 : Indice de violence d'explosion – Hypothèses retenues

## IV.2. Résultats de la rupture catastrophique du postdigesteur

Les distances d'effets dangereux calculées sont données dans le tableau suivant.

Installations	Scénarios d'accidents	Phénomènes dangereux	Type d'effets	Distances d'effets dangereux (m)			
				20 mbar bris de vitre	SEI	SEL	SELS
Postdigesteur	Rupture catastrophique de la membrane	Surpression due à la rupture	Surpression	55	20	10	5
		Explosion (UVCE)	Surpression (Conditions météo 5D. Cf. II.3)	275	115	50	40
		Explosion (flash fire)	Thermique (Conditions météo 5D. Cf. II.3)	-	40	35	35
		Dispersion de biogaz toxique	Toxique	-	NA	NA	NA

NA : non atteint

Tableau 10 : Distances d'effets dangereux du postdigesteur

La distance minimale entre le postdigesteur et la limite du site est de 16 m au sud. Les distances d'effets qui sortent du site sont les suivantes :

- Seuils bris de vitre et SEI de la surpression dus à la rupture de la membrane,
- Seuils bris de vitre, SEI, SEL et SELS de l'UVCE et du flash fire.

Ces distances atteindraient le tracé du gazoduc.

La distance minimale entre le digesteur et la limite nord du site est de 65 m. Les distances d'effets qui sortent au nord du site sont les suivantes :

- Seuils bris de vitre et SEI de l'UVCE.

Les seuils toxiques ne sont pas atteints car le rejet se produit en hauteur. Le panache toxique ne retomberait pas au sol.

La zone délimitée par les effets dominos du flash fire (SELS des effets thermiques) n'atteint pas le stockage de fourrage.

Les cartographies des distances d'effets sont représentées en annexe.

## V. RUPTURE GUILLOTINE D'UNE TUYAUTERIE DE BIOMÉTHANE

Le site dispose d'une tuyauterie dont les caractéristiques sont les suivantes :

- hauteur : 1,5 m au départ de la tuyauterie, puis enterrée à 0,8 cm sous terre,
- pression et température de service : 2 à 8,5 bar max, 40°C max,
- débit de service : 90 Nm<sup>3</sup>/h max, soit 12,1 m<sup>3</sup>/h max,
- diamètre : DN32 à DN160,
- composition du biométhane : 97,5% de CH<sub>4</sub>, 2% de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> de 0,5%, H<sub>2</sub>S < 10 ppm (caractéristiques identique à du gaz de ville de type H),
- présence d'organes de sécurité : Sécurités instrumentées dans le conteneur. À l'extérieur, pas de dispositif de détection. Il est considéré que le temps de fuite est de 1 heure.

### V.1. Terme source

Le cas retenu pour les modélisations est le cas majorant, qui correspond au cas de la tuyauterie avec la plus forte pression (8,5 mbar pour un DN32).

Le terme source correspond aux données d'entrées des calculs de distances d'effets dangereux. Les principaux paramètres utilisés sont synthétisés dans le tableau suivant.

Installations	Paramètres		Scénarios d'accident
Tuyauterie	Propriétés du combustible	Chaleur de combustion (J/kg)	4,9.10 <sup>7</sup>
		Densité phase gazeuse (kg/m <sup>3</sup> )	0,7
		Limites d'inflammabilité (%)	4 à 17 %
	Caractéristiques de la tuyauterie	Temps de fuite majorant (s)	3600
		Indice de sévérité	7

Tableau 11 : Terme source tuyauterie

Les hypothèses retenues pour la détermination de l'indice de violence ou de sévérité de l'explosion sont données dans le tableau suivant.

Paramètres	Digesteur
Énergie d'inflammation	Faible
Degré d'encombrement	Fort
Confinement	Existant
Indice de violence d'explosion	7
Pression maximale d'explosion (mbar)	1000

Tableau 12 : Indice de violence d'explosion – Hypothèses retenues

## V.2. Résultats de la rupture guillotine de la tuyauterie

Les distances d'effets dangereux calculées sont données dans le tableau suivant.

Installations	Scénarios d'accidents	Phénomènes dangereux	Type d'effets	Distances d'effets dangereux (m)			
				20 mbar bris de vitre	SEI	SEL	SELS
Tuyauterie	Rupture guillotine de la tuyauterie	Explosion (UVCE)	Surpression	NA	NA	NA	NA
		Explosion (flash fire)	Thermique (Conditions météo 3F. Cf. II.3)	-	10	5	5
		Jet enflammé	Thermique	-	NA	NA	NA
		Dispersion de biométhane	Toxique	-	NA	NA	NA

NA : non atteint

Tableau 13 : Distances d'effets dangereux de la tuyauterie

La distance minimale entre la tuyauterie et la limite du site est d'environ 50 m au sud et 40 m au nord.

Les effets thermiques du flash fire ne sortiraient pas des limites du site. Le tracé du gazoduc ne serait pas atteint.

La zone délimitée par les effets dominos du flash fire (SELS des effets thermiques) n'atteint pas le bâtiment agricole

Le rejet est trop faible pour générer des effets de surpression lors de l'explosion. La pression dans la tuyauterie est trop faible pour générer un jet enflammé.

Les seuils toxiques ne sont pas atteints car le rejet contient uniquement des traces d'H<sub>2</sub>S.

La cartographie des distances d'effets sont représentées en annexe.

## VI. CONCLUSION

Plusieurs phénomènes dangereux ont été modélisés sur les installations du site (digesteur, postdigesteur et tuyauterie de biométhane) :

- **Effets de surpression d'une rupture catastrophique** de la membrane du digesteur ou du postdigesteur.

Les effets de surpression de type « bris de verre » et du SEI (seuil des effets irréversibles) sortiraient des limites du site.

- **Effets de surpression d'une explosion (UVCE)** suite au relâchement de biogaz dû à une rupture catastrophique de la membrane du digesteur ou du postdigesteur.

Les effets de surpression de type « bris de verre », SEI (seuil des effets irréversibles), SEL (seuil des effets létaux) et SELS (seuil des effets létaux significatifs) sortiraient des limites du site.

- **Effets thermiques d'une explosion (flash fire)** suite au relâchement de biogaz dû à une rupture catastrophique de la membrane du digesteur ou du postdigesteur.

Les effets thermiques de type SEI (seuil des effets irréversibles), SEL (seuil des effets létaux) et SELS (seuil des effets létaux significatifs) sortiraient des limites du site.

- **Effets de surpression (UVCE) et effets thermiques (flash fire) d'une explosion** suite à une rupture guillotine de la tuyauterie de biométhane.

Les effets thermiques du flash fire ne sortiraient pas des limites du site.

- **Effets toxiques** suite à une rupture catastrophique de la membrane du digesteur ou du postdigesteur, ou suite à une rupture guillotine de la tuyauterie de biométhane.

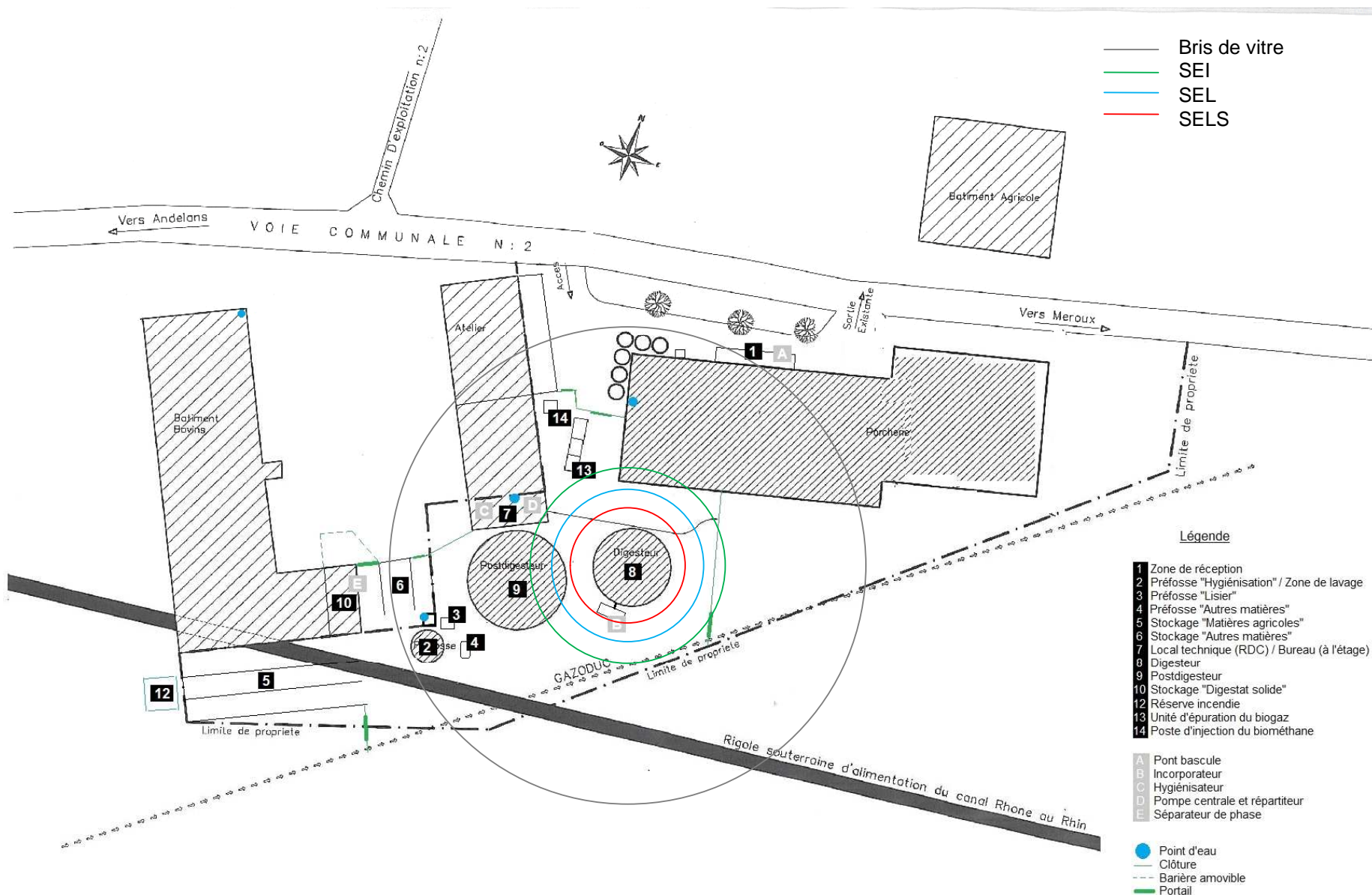
Aucun effet toxique n'est atteint au niveau du sol, à l'intérieur comme à l'extérieur du site.

Enfin, hormis l'habitation de l'exploitant et un bâtiment agricole, **aucun tiers n'est situé dans les cercles des effets thermiques ou de surpression** de l'installation de méthanisation (les tiers les plus proches sont situés à plus de 275 m).

Il convient de rappeler que les hypothèses prises en compte sont les plus défavorables. En effet, il est considéré que la totalité du volume de gaz du digesteur et du postdigesteur est libéré instantanément, et qu'il est mis en présence d'une source d'inflammation. Dans la réalité, tout le biogaz ne se disperserait pas immédiatement, car il y aurait un rejet à un faible débit par la brèche créée dans la membrane. Les distances d'effets seraient donc moins importantes.

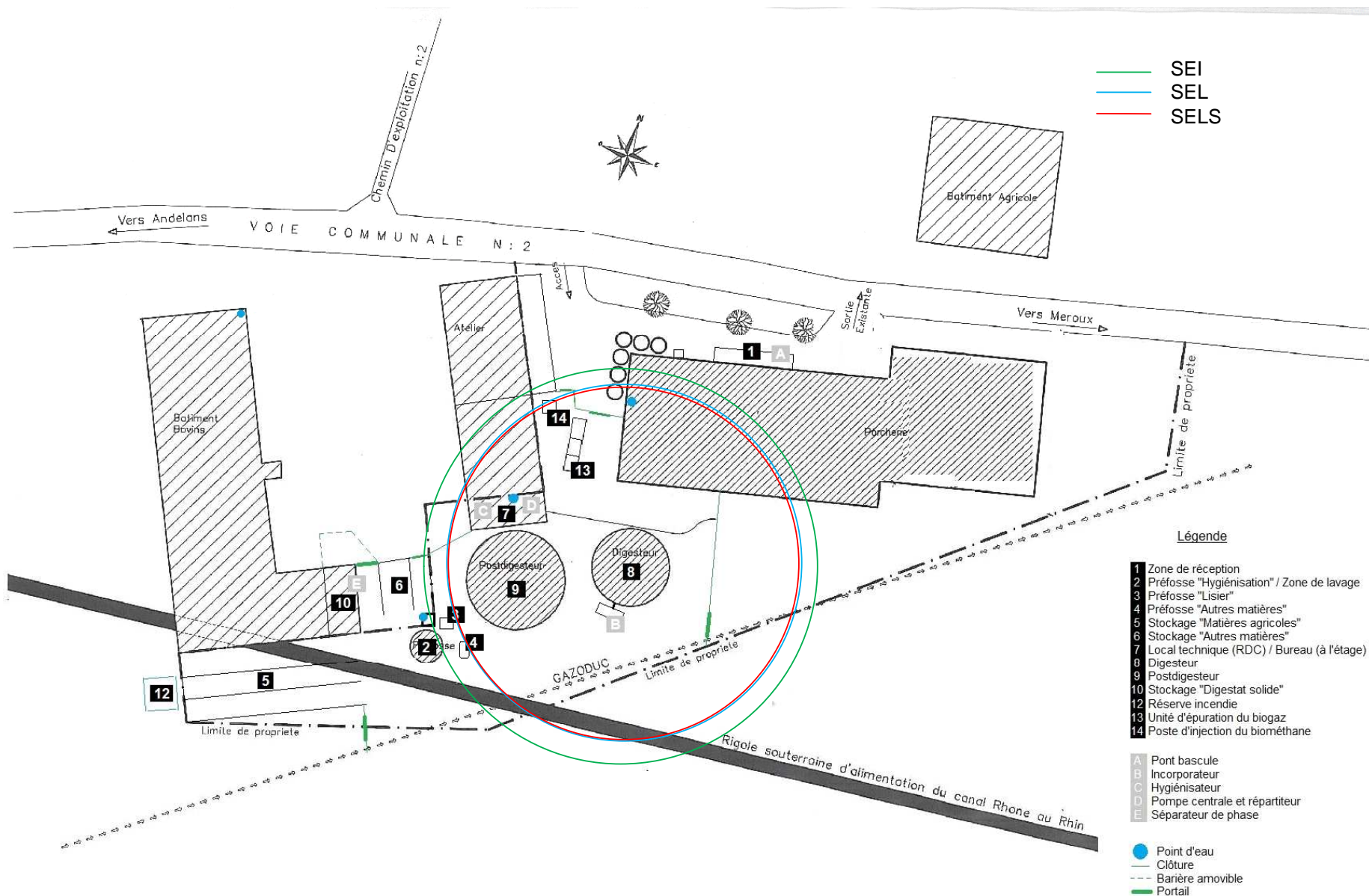


**ANNEXES : CARTOGRAPHIE DES DISTANCES D'EFFETS**



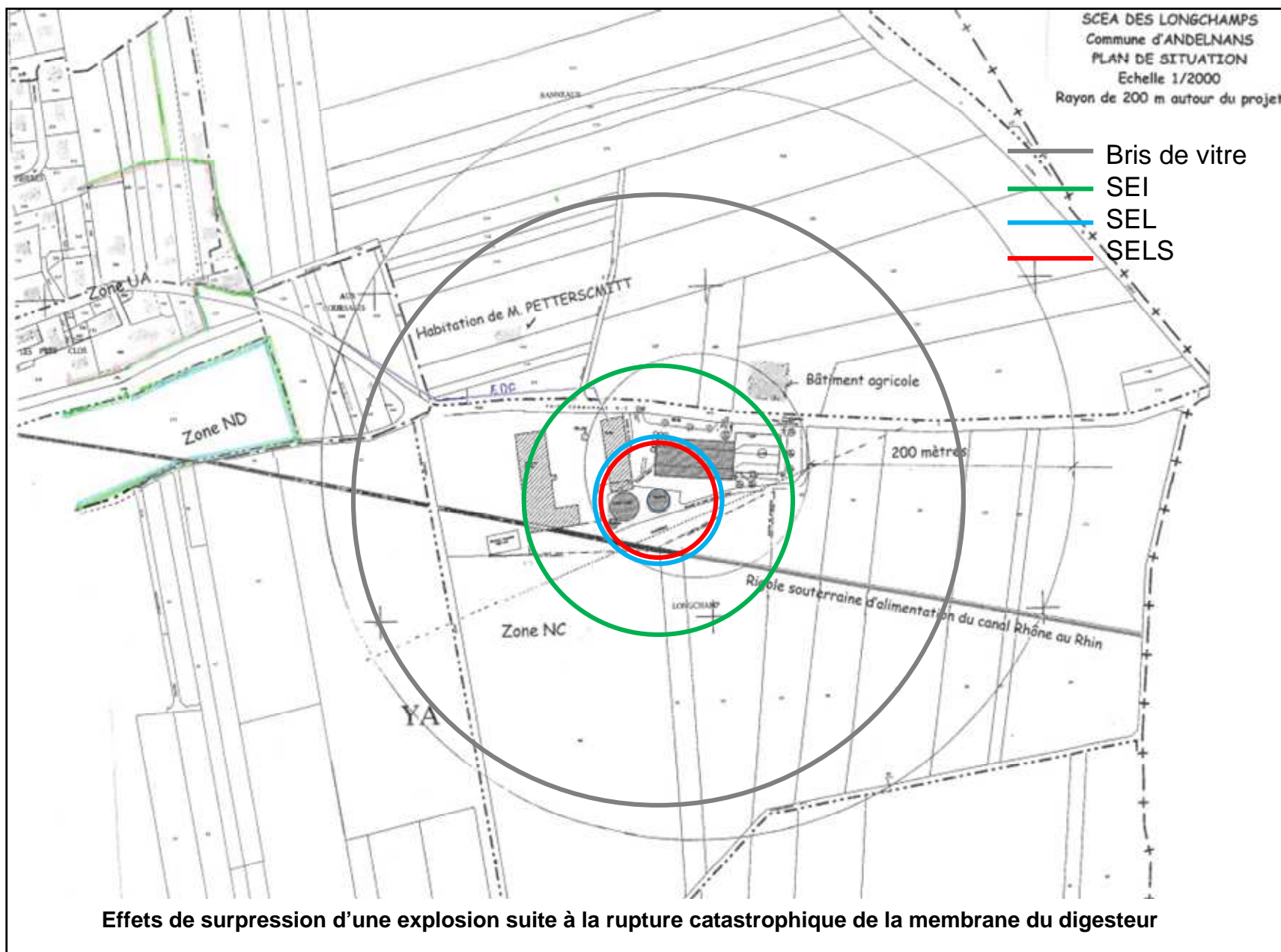
**Effets de surpression liés à la rupture catastrophique de la membrane du digesteur**

Echelle : 1/750

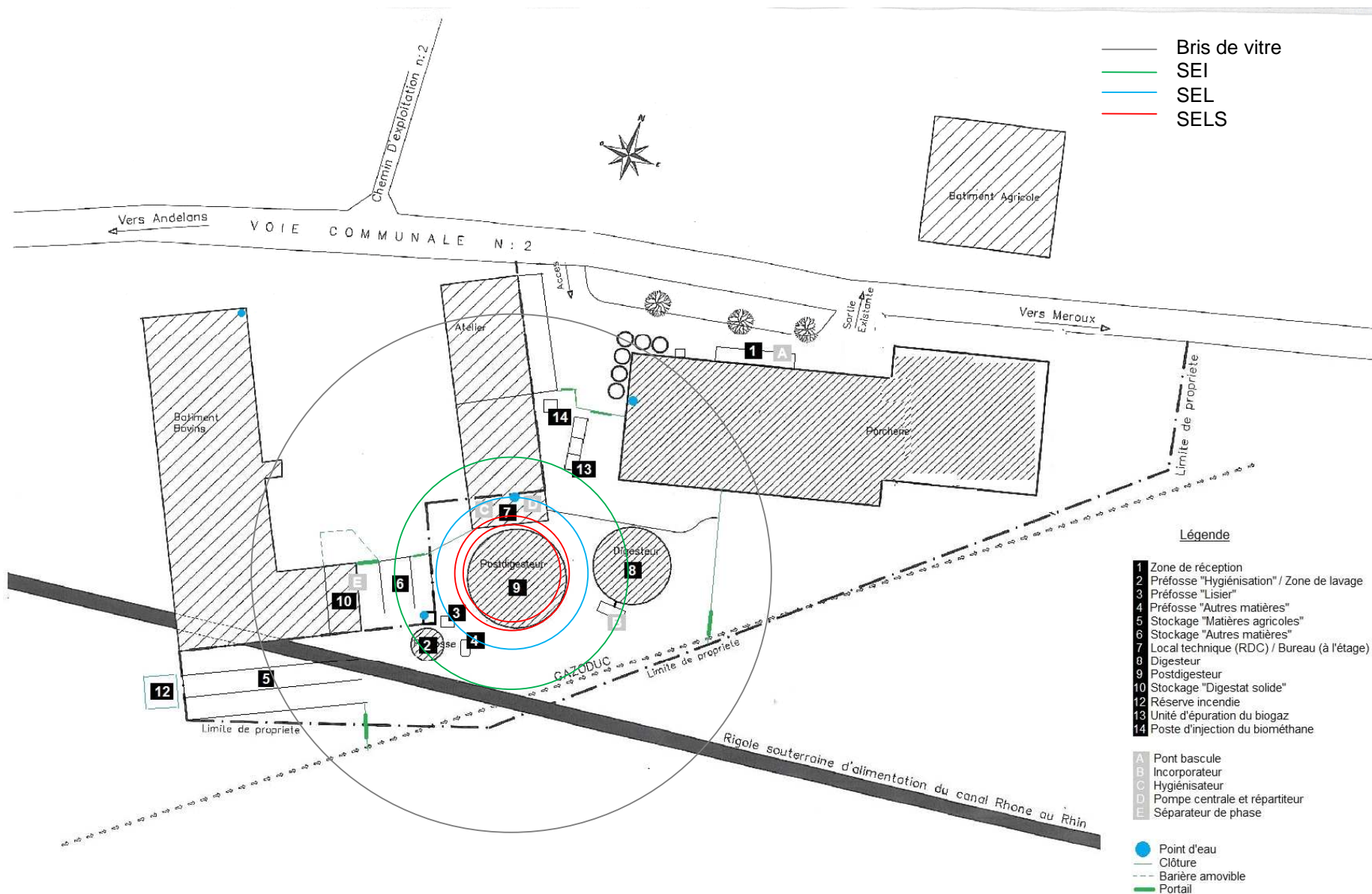


**Effets thermiques d'une explosion suite à la rupture catastrophique de la membrane du digesteur**

Echelle : 1/750

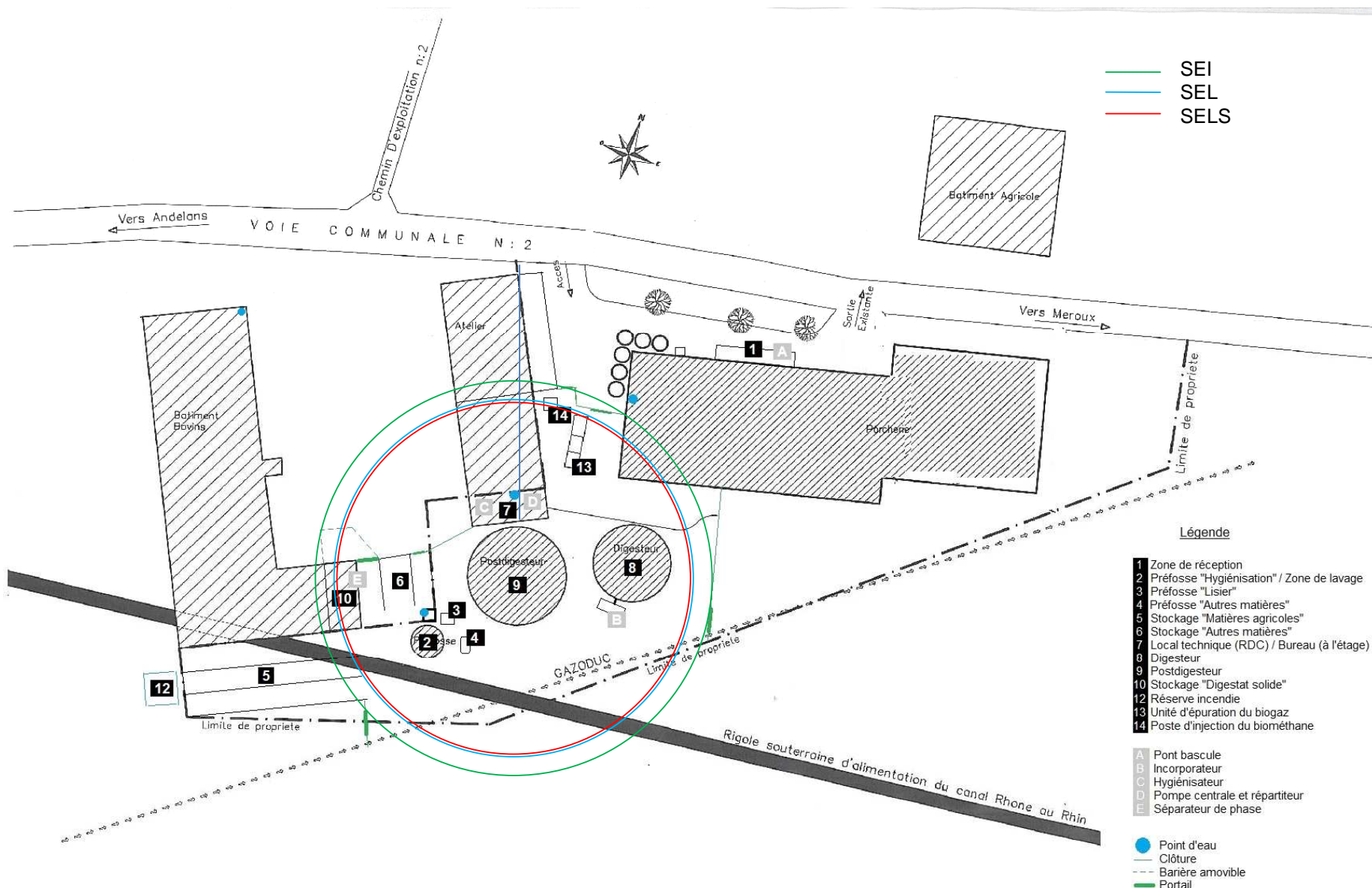






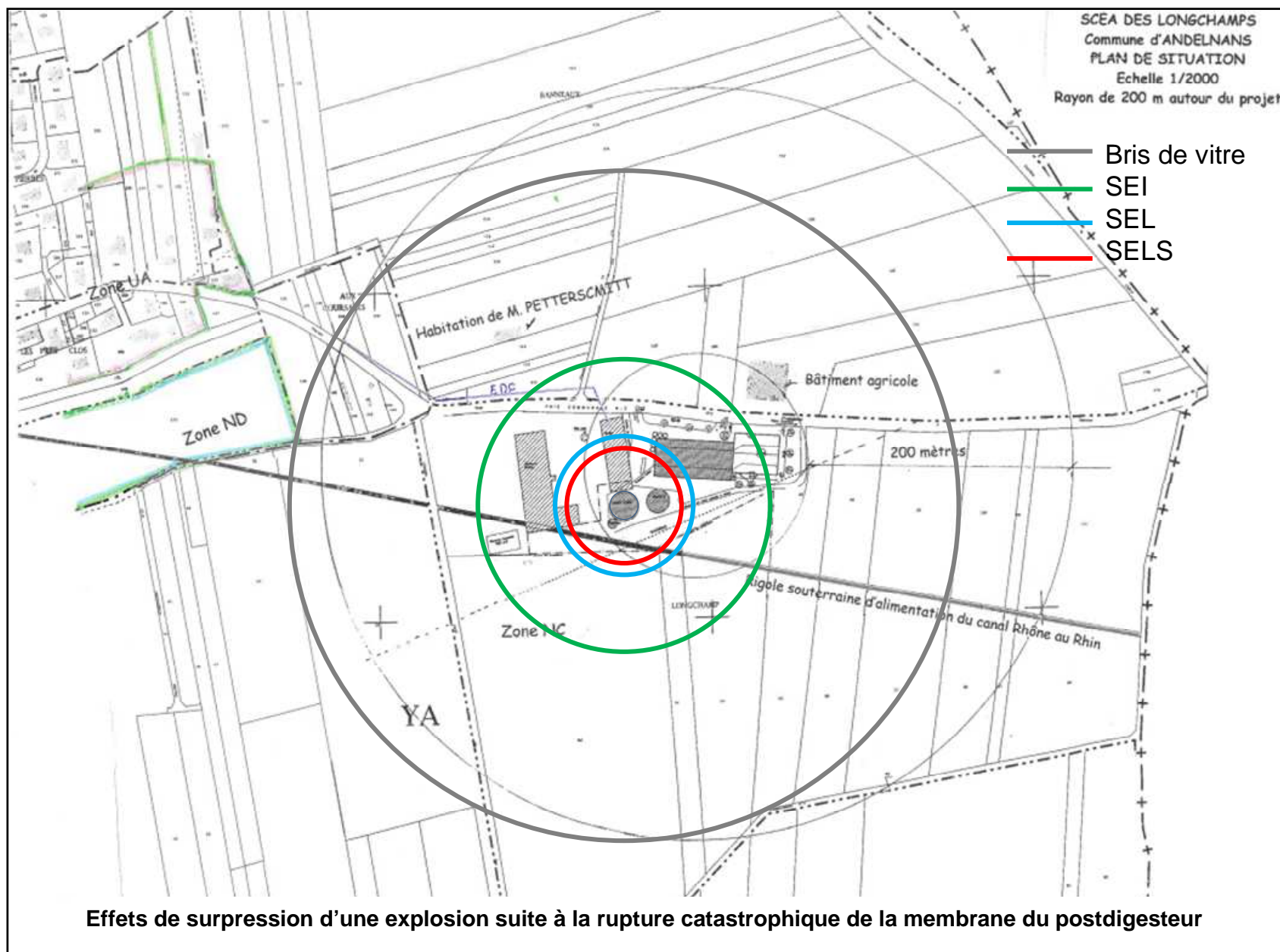
**Effets de surpression liés à la rupture catastrophique de la membrane du postdigesteur**

Echelle : 1/750

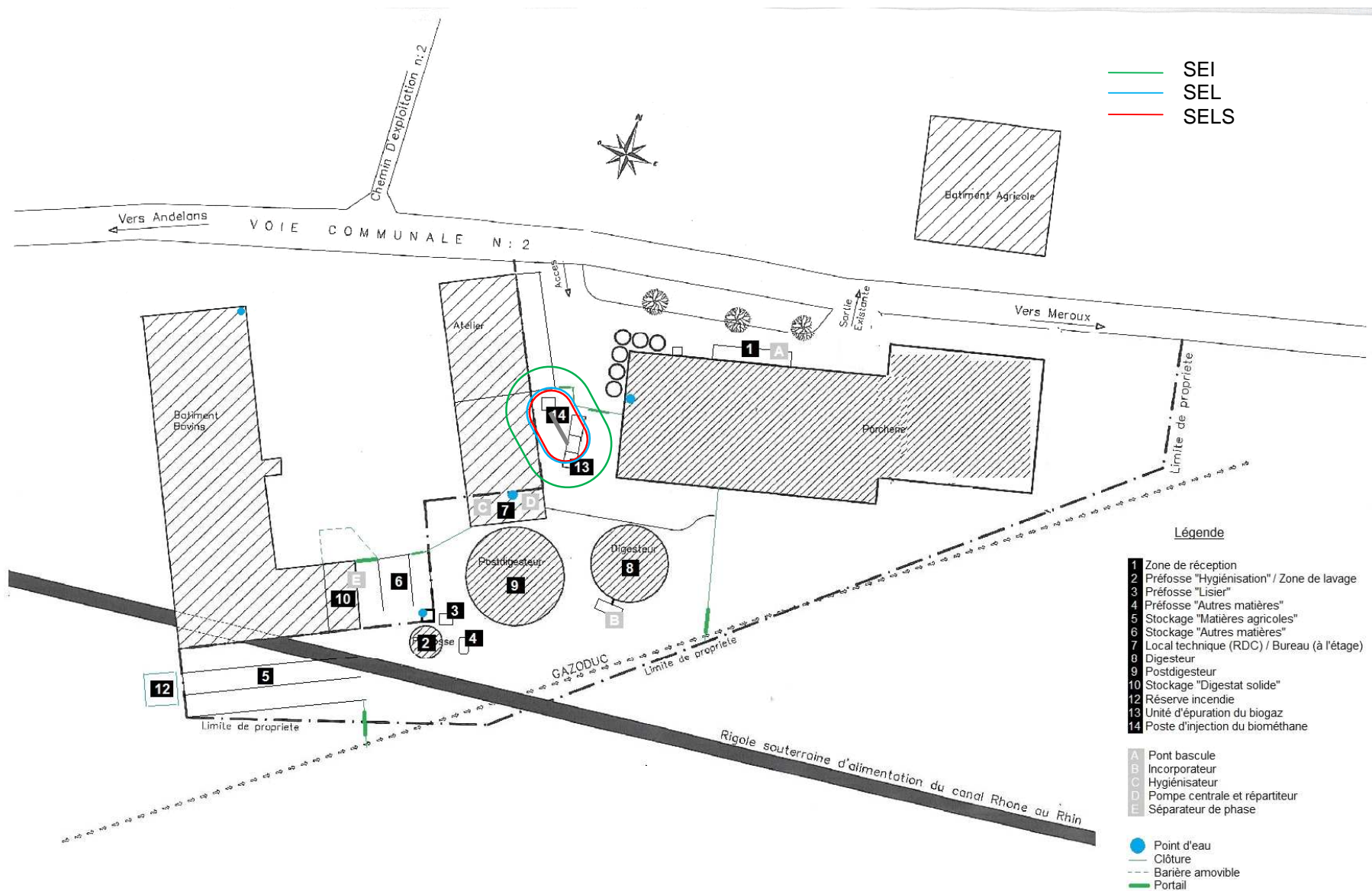


**Effets thermiques d'une explosion suite à la rupture catastrophique de la membrane du postdigesteur**

Echelle : 1/750







**Effets thermiques dus à la rupture guillotine de la tuyauterie**

Echelle : 1/750