

Dossier de demande d'autorisation environnementale

TERRA72 - projet de développement du pôle de
recyclage et de production d'énergies
renouvelables sur la commune de Montmirail (72)

Annexe 23 – étude des risques d'explosions



NOTE DE CALCUL

MODELISATIONS DE PHENOMENES DANGEREUX

Projet de méthanisation



A	29/11/2022	Première diffusion Pour commentaires / approbation client	S.GRAOUNA	L.GRAS	T.DEBELLE
REV.	DATE JJ/MM/AA	OBJET	REDIGE (nom & visa)	VERIFIE (nom & visa)	APPROUVE (nom & visa)
REVISIONS DU DOCUMENT					

Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

SOMMAIRE

1. OBJET	4
2. DOCUMENTS DE REFERENCE	4
3. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS	5
3.1. METHANISEUR	5
3.2. GAZOMETRE	5
3.3. COMPOSITION DU GAZ.....	6
4. SCENARIOS ETUDIES	6
5. SEUILS REGLEMENTAIRES	7
5.1. SEUILS DES EFFETS THERMIQUES ET DE SURPRESSION	7
5.2. SEUILS DES EFFETS TOXIQUES	7
6. SCENARIO N°1 : FUITE SUR LA CANALISATION DE COLLECTE DU BIOGAZ EN AVAL DU COMPRESSEUR	8
6.1. METHODOLOGIE.....	8
6.2. RESULTATS.....	10
7. SCENARIO N°2 : EXPLOSION CONFINEE DANS LES DIGESTEURS ET POST-DIGESTEUR	11
7.1. METHODOLOGIE.....	11
7.2. RESULTATS.....	13
8. SCENARIO N°3 : EXPLOSION EN CHAMP LIBRE SUITE A LA RUINE DU METHANISEUR	14
8.1. METHODOLOGIE.....	14
8.2. RESULTATS.....	14
9. SCENARIO 4 : FUITE SUR METHANISEUR.....	16
9.1. METHODOLOGIE.....	16
9.2. RESULTATS.....	16



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

FIGURES

Figure 1. Exemple de méthaniseur "Digesteur METHAVIE"	5
Figure 2. Abaque caractérisant la décroissance de l'onde de pression avec la distance.....	12
Figure 3. Schéma de principe des différentes phases de la dispersion atmosphérique d'un nuage n'impactant pas le sol	16
Figure 4. Scénario 4 : Dégagement toxique suite à une fuite sur méthaniseur – SELS	17
Figure 5. Scénario 4 : Dégagement toxique suite à une fuite sur méthaniseur – SEL	17
Figure 6. Scénario 4 : Dégagement toxique suite à une fuite sur méthaniseur – SEI	18

TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques du méthaniseur	5
Tableau 2. Caractéristiques de chaque gazomètre	5
Tableau 3. Composition du biogaz	6
Tableau 4. Seuils réglementaires pour les effets thermiques et de surpression	7
Tableau 5. Seuils réglementaires des effets toxiques de l'H ₂ S en fonction de la durée d'exposition	8
Tableau 6. Données d'entrée Scénario n°1.....	10
Tableau 7. Caractéristiques de la fuite Scénario n°1.....	10
Tableau 8. Résultats Scénario n°1	10
Tableau 9. Données d'entrée Scénario n°2	13
Tableau 10. Résultats Scénario n°2	13
Tableau 11. Données d'entrée Scénario n°3	15
Tableau 12. Résultats Scénario n°3	15
Tableau 13. Données d'entrée Scénario n°4.....	17
Tableau 14. Résultats Scénario 4	17



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

1. OBJET

La société SETEC réalise pour le compte de PAPREC, le dossier de Demande d'Autorisation Environnementale du projet d'installations de déconditionnement des biodéchets et de méthanisation.

Cette note présente l'étude des conséquences potentielles de plusieurs scénarios accidentels associés aux digesteurs et gazomètres de l'installation de méthanisation.

Dans un premier temps, 4 scénarios d'accidents généralement étudiés et présentés dans le cadre des Etudes De Dangers de ce type d'installations seront modélisés.

Ensuite, les distances d'effets de suppression, thermiques et toxiques seront cartographiées sur un plan d'implantation de l'installation projetée.

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

La présente étude est basée sur les documents suivants :

- Données techniques digesteurs et gazomètres ;
- Plan d'implantation TERRALIA ;
- Fiches techniques Bio conditionneur et méthanisation _V2 ;
- Rapport INERIS DRA-09-101660-12814A: « Scénarios accidentels et modélisation des distances d'effets associés pour des installations de méthanisation de taille agricole et industrielle» ;
- Rapport INERIS N° DRA-12-125630-04945B: « Les éclatements de apacités, phénoménologie et modélisation des effets - Ω 15» ;
- TNO Purple Book - Guidelines for quantitative risk assessment.



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

3. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

3.1. METHANISEUR

Un digesteur est une installation intégrée dans le processus de méthanisation qui produit du biogaz grâce à un procédé de digestion anaérobie des matières organiques.

Le digesteur fonctionne à niveau constant (alimentation par pompage, sortie par surverse) et n'est vidangé que lors d'opérations de maintenance exceptionnelle encadrées par des procédures strictes (inertage, pompage, ventilation, présence permanente de personnel...).

Le digesteur vide dispose d'une capacité utile de 3 800 m³, de forme hémisphérique.

Ses caractéristiques de ce dernier sont les suivantes :

Caractéristiques	Dimension
Dimensions du méthaniseur	25,5 x 6 (m)
Volume utile	2 656 m ³
Pression de service	-1 à 3,5 mbar

Tableau 1. Caractéristiques du méthaniseur



Figure 1. Exemple de méthaniseur "Digesteur METHAVIE"

3.2. GAZOMETRE

Le biogaz produit dans le méthaniseur est stocké dans un, deux ou trois gazomètres représentant un volume total d'environ 3 900 m³.

Le ou les gazomètres sont de forme cylindrique et sont équipés d'une membrane intérieure souple.

Les caractéristiques de chaque gazomètre sont détaillées dans le tableau suivant :

Caractéristique	Données
Volume d'un gazomètre	1 300 m ³
Pression de fonctionnement du gazomètre	3,5 mbars
Pression statique de rupture	50 mbars

Tableau 2. Caractéristiques de chaque gazomètre



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

3.3. COMPOSITION DU GAZ

La composition moyenne du biogaz contenu dans les ouvrages étudiés est la suivante :

Biogaz de méthanisation	Méthane	Dioxyde de carbone	Azote	Eau	Hydrogène sulfuré
Concentration moyenne	50%	45%	2%	3%	500 ppm

Tableau 3. Composition du biogaz

4. SCENARIOS ETUDIES

Les scénarios étudiés sont les suivants :

- **Unité de valorisation du biogaz :**
 - Scénario n°1 : Fuite sur la canalisation de collecte du biogaz en aval du compresseur
- **Biométhanisation :**
 - Scénario n°2 : Explosion confinée dans les digesteurs et post-digesteur
 - Scénario n°3 : Explosion en champ libre suite à la ruine du gazomètre
 - Scénario n°4 : Dispersion toxique suite à la ruine du gazomètre (H₂S)



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

5. SEUILS REGLEMENTAIRES

5.1. SEUILS DES EFFETS THERMIQUES ET DE SURPRESSION

Conformément à l'annexe 2 de l'Arrêté Ministériel 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 d'effets retenus dans le cadre des différentes modélisations sont les suivants :

Type	Pour les effets sur les structures	Pour les effets sur l'homme	Seuil
Effets de surpression	Seuil des destructions significatives de vitres	Seuil des effets irréversibles par bris de vitre	20 mbar
	Seuil des dégâts légers sur les structures	Seuil des effets irréversibles	50 mbar
	Seuil des dégâts graves sur les structures	Seuil des premiers effets létaux	140 mbar
	Seuil des effets dominos	Seuil des effets létaux significatifs	200 mbar
	Seuil des dégâts très graves sur les structures	-	300 mbar
Effets thermiques	-	Seuil des effets irréversibles	3 kW/m²
	Seuil des destructions significatives de vitres	Seuil des premiers effets létaux (1%)	5 kW/m²
	Seuil des dégâts graves sur les structures	Seuil des effets létaux significatifs (5%)	8 kW/m²
	Seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton	-	16 kW/m²
	Seuil des dégâts très graves sur les structures béton	-	20 kW/m²

Tableau 4. Seuils réglementaires pour les effets thermiques et de surpression

5.2. SEUILS DES EFFETS TOXIQUES

L'hydrogène sulfuré (H_2S) est un gaz inflammable et toxique, incolore de densité supérieure à l'air (1.19). L'intoxication à ce gaz est fonction de la concentration et de la durée d'exposition.

L'INERIS a déterminé trois seuils de toxicité accidentelle pour différentes durées d'exposition à l' H_2S :

- Seuil des Effets Irréversibles ou SEI : concentration au-dessus de laquelle peuvent être observés des effets irréversibles au sein de la population exposée ;
- Seuil des Premiers Effets Létaux ou SPEL : concentration au-dessus de laquelle peuvent être observés des premiers effets létaux au sein de la population exposée ;
- Seuil des Effets Létaux Significatifs ou SELS : concentration au-dessus de laquelle peuvent être observés des effets létaux significatifs au sein de la population exposée.



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

Le tableau suivant présente les valeurs de concentration en H₂S correspondant à ces 3 seuils pour différentes durées d'exposition :

Durée d'exposition (min)	SEI	SPEL	SELS
1	320 ppm	1 521 ppm	1720 ppm
10	150 ppm	688 ppm	769 ppm
20	115 ppm	542 ppm	605 ppm
30	100 ppm	472 ppm	526 ppm
60	80 ppm	372 ppm	414 ppm

Tableau 5. Seuils réglementaires des effets toxiques de l'H₂S en fonction de la durée d'exposition

Le biogaz contient de l'H₂S à hauteur de 500 ppm et présente donc un danger d'intoxication par inhalation.

6. SCENARIO N°1 : FUITE SUR LA CANALISATION DE COLLECTE DU BIOGAZ EN AVAL DU COMPRESSEUR

Il est considéré une fuite sur le circuit de biogaz en aval des compresseurs.

6.1. METHODOLOGIE

Pour évaluer l'intensité des conséquences potentielles de ce scénario le module « Leak » a été utilisé.

Le Terme Source a été déterminé à l'aide du logiciel PHAST à partir des conditions opératoires (pression et température de service,...), des propriétés physico-chimiques du produit (densité, température d'ébullition...) et des caractéristiques de la brèche.

La dispersion atmosphérique caractérise le devenir dans le temps et dans l'espace d'un ensemble de particules (aérosols, gaz, poussières) rejetées dans l'atmosphère.

- **Flash-fire**

En cas d'ignition d'un mélange inflammable, et si la combustion a lieu dans un environnement peu ou pas encombré, les effets thermiques restent prépondérants devant les éventuels effets de surpression.

La propagation de flammes à relativement faibles vitesses engendre des surpressions maximales de l'ordre de 2 kPa (20 mbar). Dans ces conditions, le terme explosion en champ libre ou UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion) n'a plus lieu d'être et c'est la dénomination « feux de nuage » ou encore « flash-fire » qui est préférée. On utilise le vocable « flash-fire » pour décrire les effets thermiques d'une explosion de gaz à l'air libre, que les effets de surpression soient négligeables ou non.

Les effets thermiques susceptibles de générer des blessures sont alors dus au rayonnement. Il convient toutefois de noter que des effets thermiques significatifs peuvent être ressentis dans toutes les parties de l'espace susceptibles d'être occupées par les gaz brûlés.

Comme défini dans la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux Etudes De Dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003, les distances relatives aux effets thermiques du flash-fire sont donc déterminées à partir de la distance à la LIE comme suit :

$$\begin{aligned}d_{SEL} &= d_{SELS} = d_{LIE} \\d_{SEI} &= 1.1 d_{LIE}\end{aligned}$$



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

• **Jet enflammé**

Selon l'INERIS, « Le feu torche prend naissance sous forme d'une flamme de diffusion [...] lorsqu'un jet liquide ou gazeux issu d'une fuite accidentelle s'enflamme par l'intermédiaire d'une source d'inflammation quelconque ». Une flamme de diffusion est caractérisée par le fait que l'air et le combustible sont initialement séparés et que la combustion se produit dans la zone où le mélange comburant-combustible se fait, générant ainsi une zone trop riche en combustible « précédant » la flamme.

De façon générale, on retient qu'une pression minimale de l'ordre de 2 bars (abs) est nécessaire pour l'établissement et le maintien dans le temps d'un jet enflammé. Ce phénomène dangereux est donc considéré dans le cadre de l'Analyse Détaillée des Risques uniquement pour des équipements présentant une pression de service supérieure à 2 bars (abs).

Plusieurs paramètres influent sur les caractéristiques du jet enflammé :

- Le produit considéré ;
- La taille de brèche et Terme Source associé, dépendant des conditions opératoires en amont de la brèche (T, P...) ;
- La vitesse de jet caractérisant le régime d'écoulement ;
- La direction du jet et la présence éventuelle d'obstacles.

L'approche retenue dans le cadre de cette étude pour la modélisation du phénomène de jet enflammé est l'utilisation du modèle tronconique implémenté dans le logiciel PHAST, dans sa version 8.4, en considérant un rejet horizontal libre, de manière à maximiser la longueur de flamme et les distances d'effets thermiques.

• **Evaluation de la masse inflammable**

Dans une approche majorante, le volume inflammable considéré est le volume maximal atteint lors de la phase de dispersion pour évaluer la masse inflammable susceptible de participer à l'explosion dans le cas d'une dispersion en champ libre.

Dans ce scénario, la masse inflammable maximale atteinte lors de la dispersion du nuage est déterminée à partir du sous-modèle « Short pipe » implémenté dans le logiciel PHAST, dans sa version 8.4.

• **Détermination des effets de surpression**

La détermination des effets de surpression se fait selon la méthode Multi-Energie, développée par Van den Berg et décrite en détail dans le TNO « Yellow Book » (CPR 14E -1997).

Le principe est d'accumuler la masse participante évaporée dans l'environnement encombré considéré. La méthode Multi-Energie suppose un panache hémisphérique de concentration stœchiométrique et de volume égal à la zone encombrée recouverte par le panache.

Les paramètres d'effet de surpression sont calculés en utilisant un modèle unidimensionnel à vitesse de flamme constante, basé sur l'intégration numérique des équations d'écoulement compressible.

Chaque zone encombrée susceptible de conduire à une explosion est ainsi caractérisée par une onde de pression à laquelle est associé un indice de sévérité d'explosion gradué de 1 à 10.

L'indice de sévérité d'explosion varie généralement entre 3 et 4 pour une explosion en champ libre ou dans une zone très peu encombrée (rupture de ligne de gaz à l'air libre, rejet de biogaz par torchère), et entre 5 et 7 à l'intérieur d'une unité de production industrielle (zone de traitement de gaz). Un incrément peut éventuellement être considéré pour tenir compte du degré de confinement (c'est par exemple le cas pour la chambre de combustion de la chaudière), ou d'une plus forte réactivité du gaz.



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

Compte tenu de la localisation de la fuite dans une zone encombrée, un indice de sévérité 5 a été retenu dans une approche majorante pour l'évaluation des effets de surpression du scénario n°1.

6.2. RESULTATS

Les calculs ont été réalisés sur la base des données d'entrée suivantes :

Volume de gaz alimentant la fuite	Supposé illimité
Diamètre des lignes de gaz	160 mm
Direction de fuite	Horizontale libre
Débit d'alimentation en gaz	300 Nm³/h
Température du gaz	15°C
Composition moyenne du gaz	Méthane CH ₄ : 50% Dioxyde de carbone CO ₂ : 45% Azote N ₂ : 2% Eau H ₂ O : 3%

Tableau 6. Données d'entrée Scénario n°1

Les distances d'effets potentielles pour ce scénario ont été modélisées avec le module « Leak » de PHAST. Pour évaluer les distances d'effets de surpression potentielles consécutives à l'ignition du nuage inflammable, le modèle « MULTI-ENERGY EXPLOSION » du logiciel PHAST a été utilisé.

Enfin, le débit à la brèche est majoré à 1,5 fois le débit d'alimentation en gaz en sortie du compresseur pour tenir compte de la perte de pression aval suite à la rupture de la canalisation, selon l'approche proposée par le TNO Purpel Book.

- Caractéristiques de la fuite**

Les caractéristiques de rejet à la brèche sont les suivantes :

Débit à la brèche	0,17 kg/s
Vitesse de rejet	6,64 m/s
Durée de fuite	3 600 s
Hauteur de fuite	1 m

Tableau 7. Caractéristiques de la fuite scénario n°1

- Distances d'effets**

Les distances d'effets suivantes sont obtenues pour les deux phénomènes dangereux identifiés :

UVCE	SELS	SEL	SEI	SBV	Masse inflammable
	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar	
Distance d'effets Classe 3F	-	-	-	-	<<1 kg
Distance d'effets Classe 5D	-	-	-	-	<<1 kg
Jet enflammé	8 kW/m²	5 kW/m²	3 kW/m²	-	Longueur de flamme
Distance d'effets Classe 3F	12,4 m	12,4 m	12,4 m	-	11,7 m
Distance d'effets Classe 5D	11,4 m	11,4 m	11,4 m	-	11,8 m
Flash-fire	Diamètre	Distance à la LIE			
		3F	5D	SEI	
Distances d'effet (m)	160	4 m H= 1 m	4 m H= 1 m	5 m	

Tableau 8. Résultats Scénario n°1



7. SCENARIO N°2 : EXPLOSION CONFINÉE DANS LES DIGESTEURS ET POST-DIGESTEUR

Il est considéré la formation d'une ATEX à la stœchiométrie d'un mélange d'air et de biogaz dans un digesteur ou dans un post-digesteur suite à une entrée d'air parasite, en fonctionnement normal puis lors d'une vidange.

7.1. METHODOLOGIE

La rupture catastrophique d'une capacité correspond à la ruine de l'enveloppe conduisant au relâchement instantané de la totalité de l'inventaire disponible. Dans un tel cas, le relâchement brutal d'énergie consécutif à la rupture d'une capacité sous pression ou d'un réservoir, engendre des ondes de surpression et peut éventuellement générer des fragments animés de vitesses élevées, susceptibles de causer des dommages aux personnes et des dégâts aux biens.

Un éclatement d'une capacité sous pression ou d'un réservoir peut être le fait de différents phénomènes physiques :

- Réaction d'emballement de réaction ou de combustion interne : on parle d'explosion confinée ;
- Montée en pression d'une capacité soumise à un incendie voisin (cas feu) : on parle alors d'explosion physique (pas de combustion interne) ;
- Eclatement pneumatique d'une capacité suite à l'envoi de gaz sous pression ;
- Sur-remplissage liquide d'une capacité (éclatement hydraulique) ;
- Eclatement d'une capacité « à froid » à la suite d'un choc thermique (détente cryogénique par exemple) ou d'un impact : on parle dans ce cas de rupture fragile ;
- Inflammation d'un mélange de vapeurs dans ses limites d'inflammabilité : nous parlerons d'explosion thermique ; c'est le cas notamment de l'explosion des réservoirs de stockage atmosphérique.

Ces différents modes de rupture répondent à des conditions de rupture spécifiques qui dépendent fortement de la séquence accidentelle considérée.

La masse d'équivalent TNT correspond à l'énergie de pression disponible au moment de l'éclatement de la capacité. L'application du premier principe de la thermodynamique à l'onde qui se déplace permet de montrer que l'énergie véhiculée dans l'onde aérienne équivaut à l'énergie dite « de Brode » :

$$E_{Brode} = \frac{(p_1 - p_0) \cdot V_1}{\gamma_1 - 1}$$

où :

V_1 représente le volume du ciel gazeux de la capacité (m^3) ;

p_1 représente la pression maximale atteignable dans l'enceinte (Pa) ;

p_0 représente la pression atmosphérique (Pa) ;

γ_1 représente le rapport des chaleurs spécifiques du gaz (sans unité) ;

Cette énergie représente l'augmentation de l'énergie interne du réservoir produite par l'accroissement de la pression. Celui-ci peut être obtenu soit par une augmentation de la température des gaz (échauffement ou combustion), soit par l'injection de gaz supplémentaire. Il n'y a pas de différence de principe entre ce phénomène et l'émission d'onde aérienne suite à la détente brutale des gaz de combustion d'un explosif.



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

Dans le cas de l'explosion d'une capacité, le terme $(p_1 - p_0)$ peut être approximé par la pression résiduelle maximale présente dans l'enceinte (P_{red}).

D'autre part, la phase liquide est susceptible de flasher une fois à l'atmosphère et ainsi contribuer à la surpression. Pour calculer la masse de liquide susceptible de flasher, l'équation d'Antoine est utilisée pour déterminer la température de rupture du fluide correspondant à la pression de rupture (cas d'un produit pur). A partir de cette température, le taux de flash est estimé pour calculer la contribution du flash à l'explosion. Selon le document de l'INERIS Omega 15, l'abaque TM5-1300 (détonation d'une charge de TNT) sera utilisée pour caractériser la décroissance de l'onde de pression avec la distance.

L'abaque présente ci-dessous cette approche :

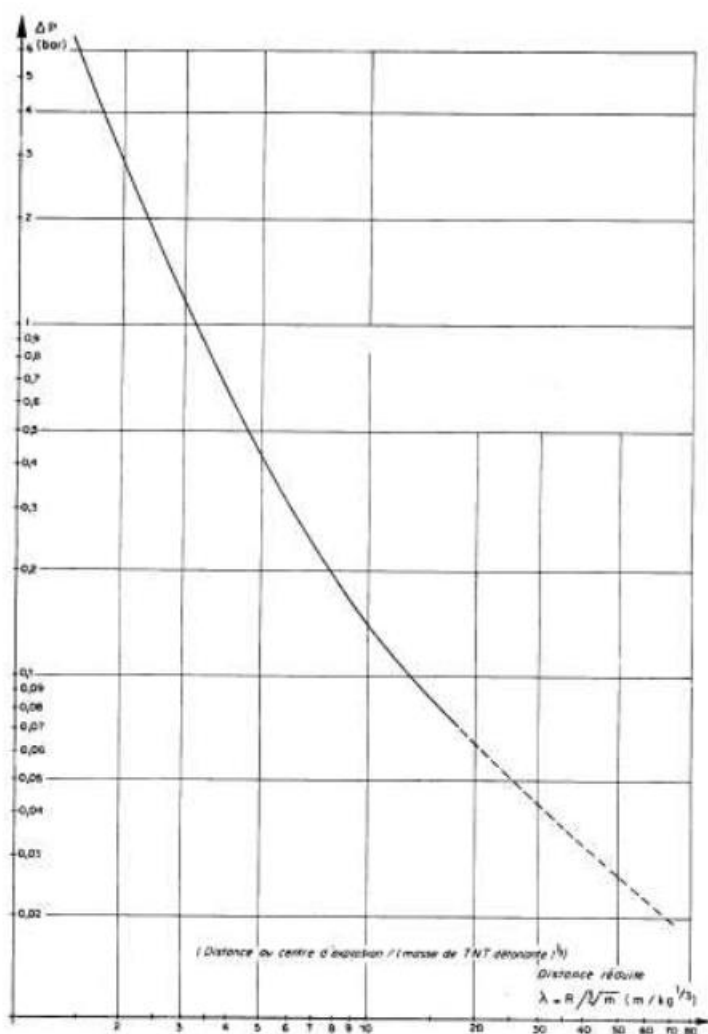


Figure 2. Abaque caractérisant la décroissance de l'onde de pression avec la distance



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

7.2. RESULTATS

Les calculs ont été réalisés sur la base des données d'entrée suivantes :

	Méthaniseur
Volume utile	2 656 m ³
Volume de gaz	1 300 m ³
Pression de service	3,5 mbar
Température de service	35°C
Pression de rupture	100 mbar Soit 2 fois la pression de rupture statique pour ce type de structure

Tableau 9. Données d'entrée Scénario n°2

La pression de rupture correspond à la valeur proposée pour ce type de structure dans le guide INERIS DRA-09-101660-12814A pour les éclatements de capacité de faible surpression.

Une explosion prenant son origine dans le ciel gazeux d'un digesteur éjecterait à l'extérieur la quasi-totalité du volume inflammable à travers les éléments soufflables, en l'occurrence, la toiture.

Les distances d'effets de surpression ainsi obtenues sont les suivantes :

VCE	SELS	SEL	SEI	SBV
	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar
Digesteur plein	-	-	38 m	76 m
Digesteur vide	-	-	55 m	110 m

Tableau 10. Résultats Scénario n°2

Les seuils SELS et SEL ne sont pas atteints dans la mesure où la surpression maximale dans le nuage est considérée égale à 100 mbar pour un indice de sévérité d'explosion de 4.

Il est néanmoins important de garder à l'esprit que des effets thermiques létaux, circonscrits à l'enceinte du digesteur, seraient observés simultanément au phénomène d'explosion.



8. SCENARIO N°3 : EXPLOSION EN CHAMP LIBRE SUITE A LA RUINE DU METHANISEUR

Dans ce scénario, nous considérons la formation d'une Atmosphère Explosive (ATEX), à la stœchiométrie, d'un mélange d'air et de biogaz se dispersant à l'air libre suite à la ruine du méthaniseur.

8.1. METHODOLOGIE

Les explosions accidentelles de gaz à l'air libre constituent un des événements les plus redoutés dans le domaine des risques industriels. Ce type d'accident, également appelé UVCE, comprend généralement la succession des étapes suivantes :

- Rejet dans l'atmosphère d'un produit inflammable, en phase gazeuse ou liquide ;
- Création puis dispersion d'un mélange de gaz avec l'oxygène de l'air pour former un nuage inflammable ;
- Inflammation du nuage inflammable ;
- Propagation d'un front de flamme au travers du nuage inflammable ;
- Le cas échéant, mélange avec l'air et combustion des parties du nuage qui étaient initialement trop riches en combustible pour être inflammables.

La modélisation du phénomène d'UVCE se divise en deux étapes :

La détermination de la masse inflammable maximale atteinte au cours de la dispersion ;
L'évaluation des effets de surpression consécutifs à l'explosion de cette masse inflammable dans le volume encombré considéré.

- **Evaluation de la masse inflammable**

Dans une approche majorante, le volume inflammable considéré est le volume maximale atteint lors de la phase de dispersion pour évaluer la masse inflammable susceptible de participer à l'explosion dans le cas d'une dispersion en champ libre.

Pour le cas d'une ruine de capacité, la masse inflammable est déterminée à partir du sous-modèle « Rupture catastrophique » correspondant à la libération instantanée de tout l'inventaire disponible.

La détermination des effets de surpression se fait de la même manière que pour le scénario n°1.

L'indice de sévérité d'explosion varie généralement entre 3 et 4 pour une explosion en champ libre ou dans une zone très peu encombrée (rupture de ligne de gaz à l'air libre, rejet de biogaz par torchère), et entre 5 et 7 à l'intérieur d'une unité de production industrielle (zone de traitement de gaz). Un incrément peut éventuellement être considéré pour tenir compte du degré de confinement (c'est par exemple le cas pour la chambre de combustion de la chaudière), ou d'une plus forte réactivité du gaz.

8.2. RESULTATS

Ce scénario peut être assimilé à l'explosion à l'air libre : les effets de surpression sont donc évalués à l'aide de la méthode multi-énergie, avec un indice de sévérité d'explosion de 4, soit une surpression maximale dans le nuage inflammable de 100mbar.



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

Ce choix correspond à la valeur proposée dans le guide INERIS DRA-09-101660-12814A dans le cas d'une explosion UVCE suite à la ruine d'un gazomètre.

Les calculs ont été réalisés sur la base des données d'entrée suivantes :

	Méthaniseur
Volume de gaz	1 300 m ³
Pression de service	3,5 mbar
Température de service	35°C
Composition volumique du gaz	Méthane CH ₄ : 50% Dioxyde de carbone CO ₂ : 45% Azote N ₂ : 2% Eau H ₂ O : 2,95% Sulfure d'hydrogène H ₂ S : 500 ppm

Tableau 11. Données d'entrée Scénario n°3

Les distances d'effets de surpression ainsi obtenues sont les suivantes :

UVCE	SELS	SEL	SEI	SBV	
	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar	Masse inflammable
Distance d'effets Classe 3F	-	-	62 m	124 m	715 kg
Flash-fire	-	Distance à la LIE			
		3F	5D	SEI	
Distances d'effet (m)	-	20 m H= 1 m	33,5 m H= 1 m	37 m	

Tableau 12. Résultats Scénario n°3



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

9. SCENARIO 4 : FUITE SUR METHANISEUR

Dans ce scénario, il est supposé la dispersion de biogaz suite à une fuite sur un piquage du méthaniseur. Cette configuration est majorante du point de vue de l'évaluation des effets toxiques dans la mesure où l'énergie cinétique induite par le relâchement instantané de l'inventaire gazeux contribue à fortement dilué un gaz peu riche en H_2S (500 ppm) dans le cas du scénario de ruine du méthaniseur.

9.1. METHODOLOGIE

Les distances d'effets toxiques du sulfure d'hydrogène (H_2S) sont évaluées à partir du modèle « Unified Dispersion Model » (UDM) implémenté dans le logiciel PHAST, dans sa version 8.4 : Il s'agit d'un modèle intégral. C'est-à-dire qu'il résout les équations de la mécanique des fluides, qui ont été « dégradées » par certaines corrélations empiriques issues de travaux expérimentaux.

Il permet notamment de distinguer plusieurs étapes dans la dispersion :

- L'expansion, durant laquelle le jet passe des conditions à la brèche aux conditions atmosphériques lorsque l'écoulement est critique (i.e. pression supérieure à 1 atmosphère à la brèche) ;
- La phase d'entraînement, durant laquelle l'écoulement est perturbé par plusieurs phénomènes : effets de jet, effets de densité, interactions avec le sol... Cela se traduit par des effets de dilution plus ou moins importants et l'entraînement d'air correspondant dans le nuage ;
- La dispersion passive, durant laquelle la dispersion du nuage est dominée par l'effet de dilution du vent.

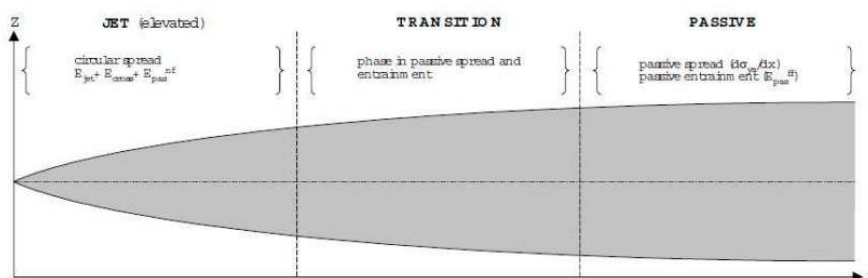


Figure 3. Schéma de principe des différentes phases de la dispersion atmosphérique d'un nuage n'impactant pas le sol

9.2. RESULTATS

Dans une approche majorante, les effets de dispersion toxique sont évalués pour une fuite alimentée de 3 600s.

Les calculs ont été réalisés sur la base des données d'entrée suivantes :

	Méthaniseur
Volume total	Supposé illimité
Durée de fuite	3 600s
Direction de fuite	Horizontale libre
Pression de service	3,5 mbar
Température de service	35°C
Composition volumique du gaz	Méthane CH_4 : 50% Dioxyde de carbone CO_2 : 45%



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

	Azote N ₂ : 2% Eau H ₂ O : 2,95% Sulfure d'hydrogène H ₂ S : 500 ppm
--	---

Tableau 13. Données d'entrée Scénario n°4

Les distances d'effets toxiques sont obtenues sur la base des seuils d'effets toxicologiques de l' H₂S pour une exposition de 60 min. Elles sont présentées ci-dessous :

	Condition météo	SELS 414 ppm	SEL 372 ppm	SEI 80 ppm
Gazomètre	3F	4 m	5 m	20 m
	5D	4 m	4 m	13 m

Tableau 14. Résultats Scénario 4

Les panaches toxiques pour une exposition de 60 minutes pour une fuite de biogaz au niveau méthaniseur sont représentés sur les figures suivantes :

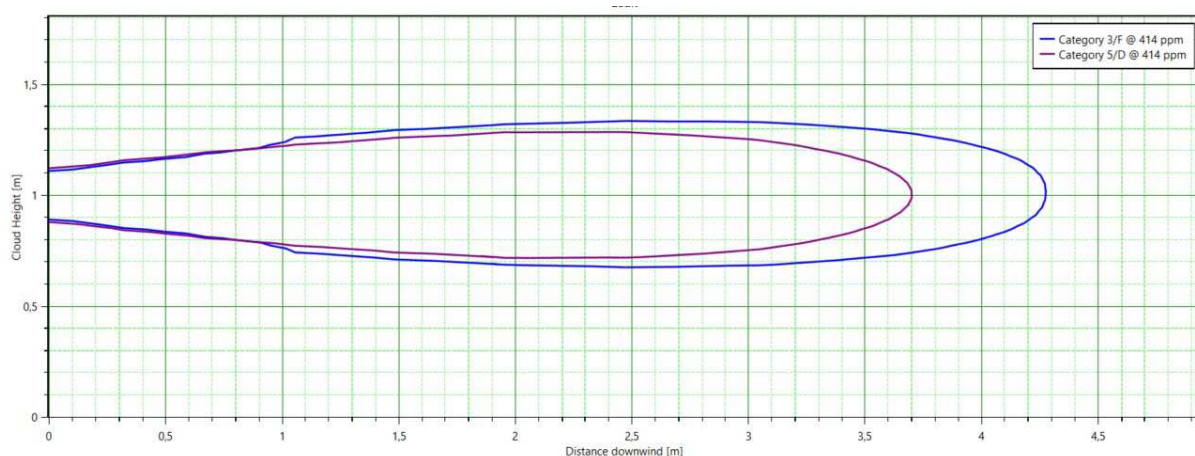


Figure 4. Scénario 4 : Dégagement toxique suite à une fuite sur méthaniseur – SELS

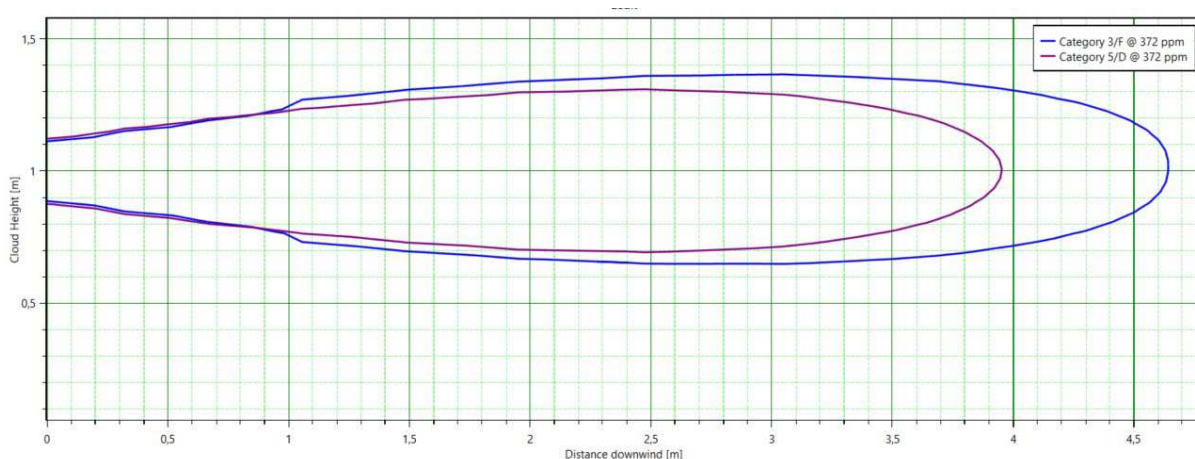


Figure 5. Scénario 4 : Dégagement toxique suite à une fuite sur méthaniseur – SEL



Note de calcul – Modélisations de phénomènes dangereux - Projet de méthanisation

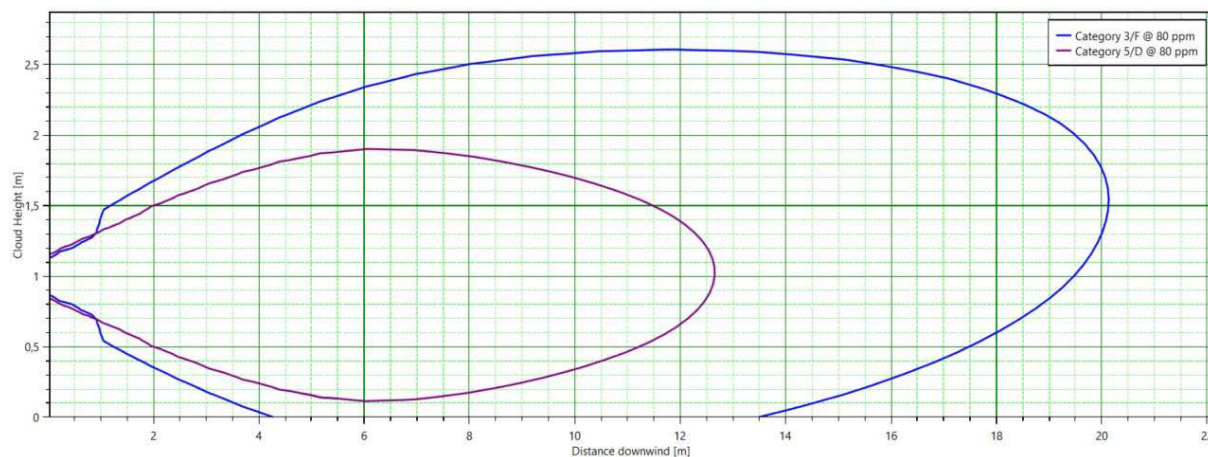


Figure 6. Scénario 4 : Dégagement toxique suite à une fuite sur méthaniseur – SEI

Les distances les plus pénalisantes sont obtenues pour les conditions météorologiques 3F à une hauteur de 1m environ.

Les effets létaux potentiels n'excèdent pas quelques mètres depuis le point de fuite (<5m).





Maison de la et de l'environnement

ACCES POMPIERS

Légende

- SEL Thermique - Flash-fire
- SELS Thermique - Flash-fire
- Enveloppe d'effet Jet enflammé

Implantation Amiante, CSR et Méthaniseur

Titre folio:

Echelle:

Folio:	
--------	--

1/2500

Date foli

Indice folio:

Phase

Type

Numéro

Indice:



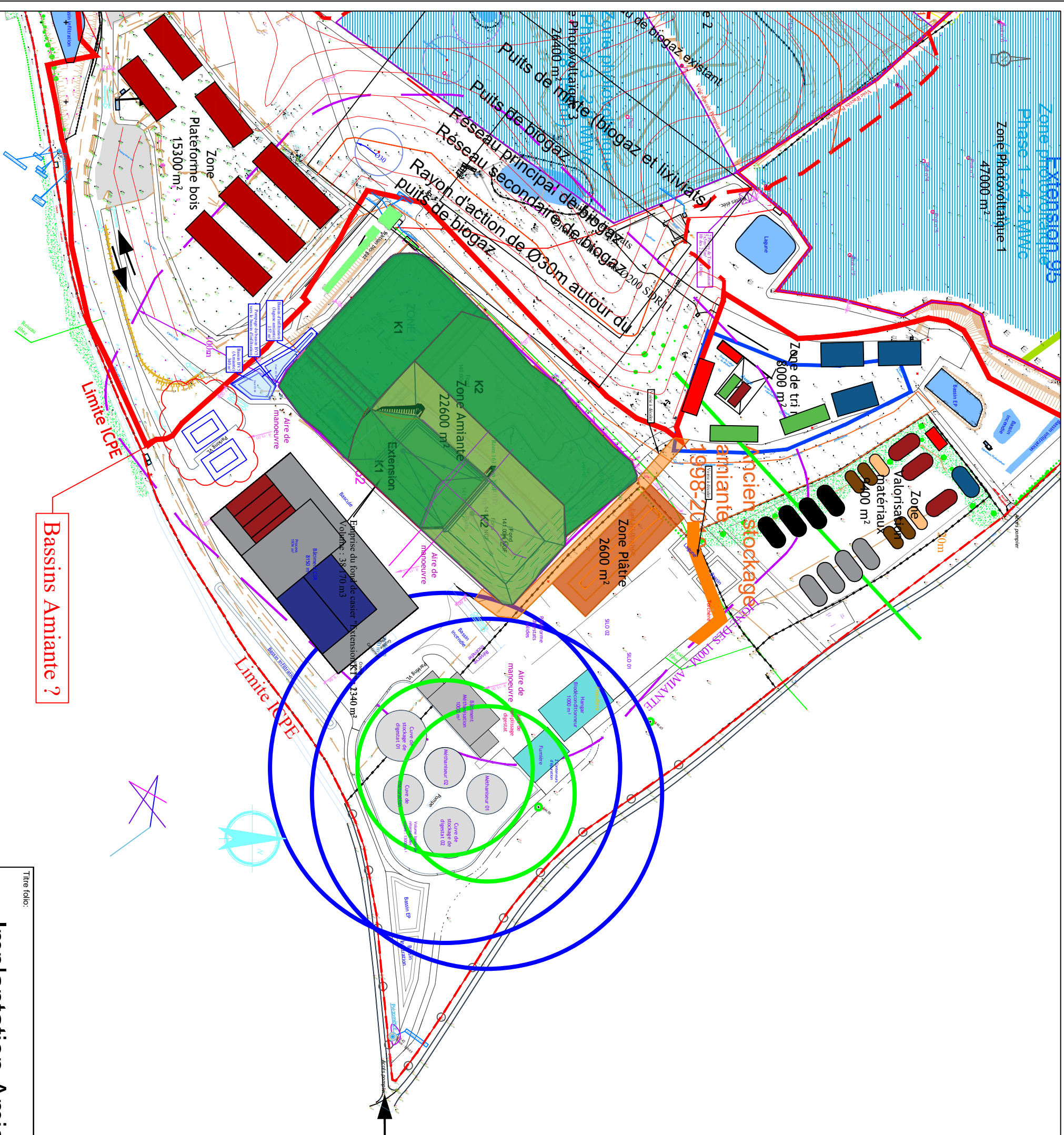
setec
énergie environnement

024-48517

PL

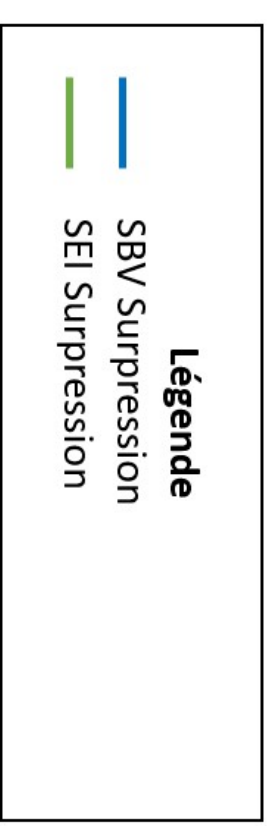
002

A



Maison de la et de l'environnement

ACCES POMPIERS



Titre folio:

Implantation Amiante, CSR et Méthaniseur



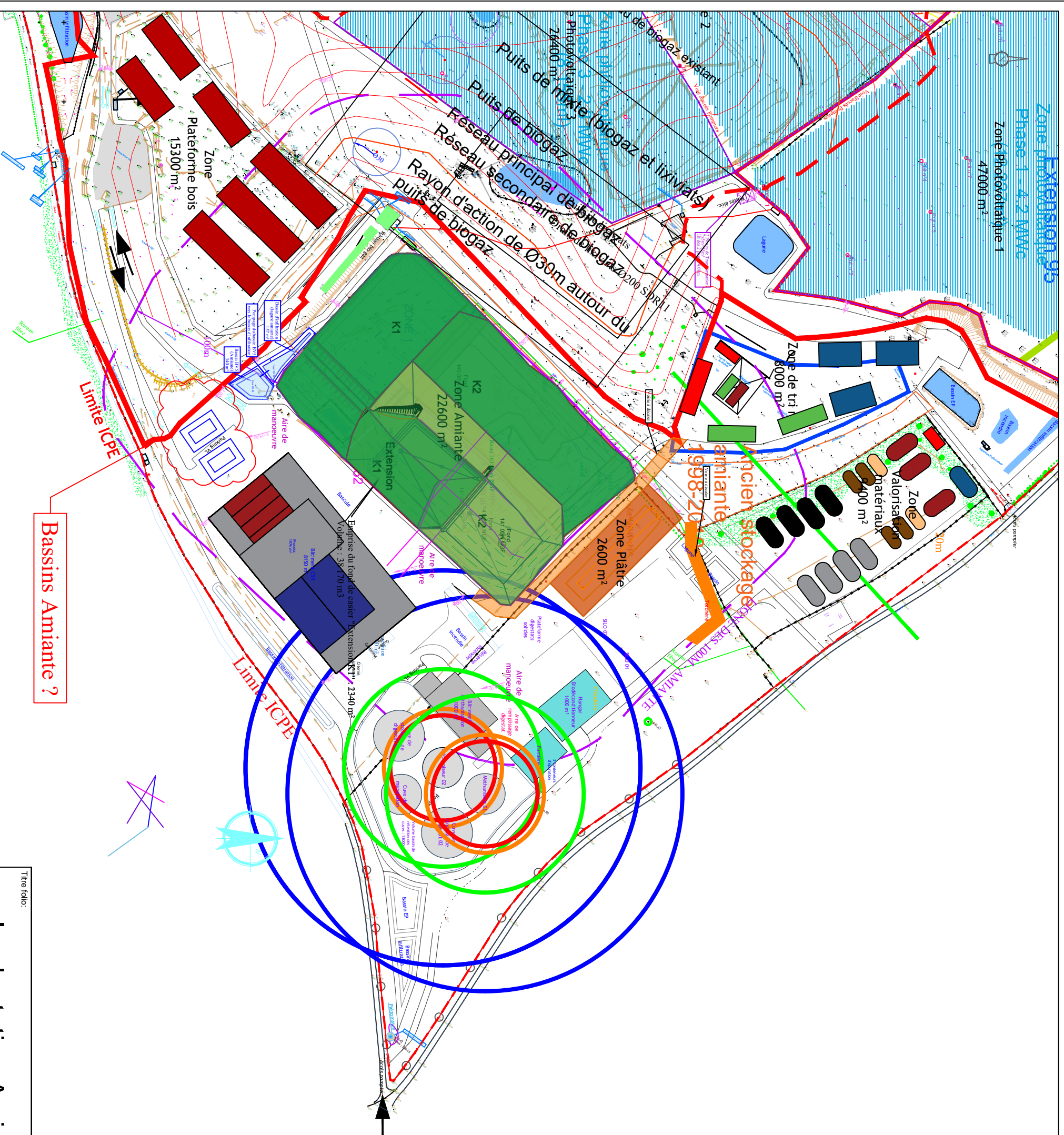
Numéro d'affaire: 024-486

Phase
MFType
PL

Numéro 002

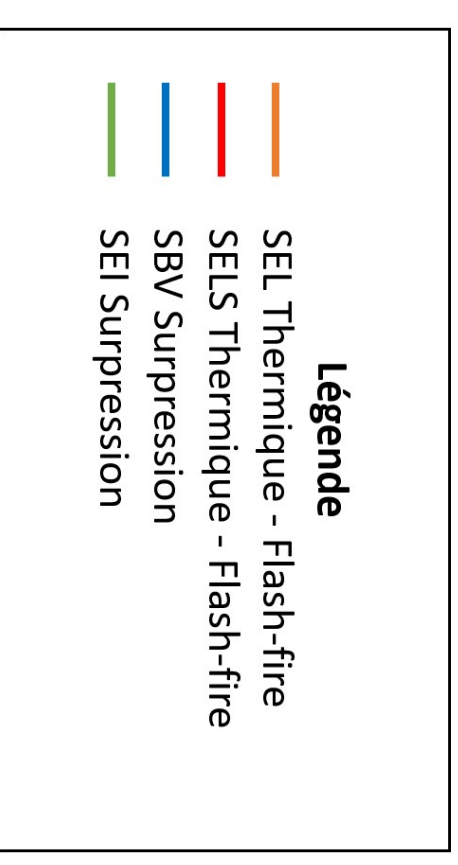
Présenter
O

Indice:
A



Maison de la et de l'environnement

ACCES POMPIERS



Titre folio:

Implantation Amiante, CSR et Méthaniseur



Numéro d'affaire: 024-483

Phase	Type
IMP	PL

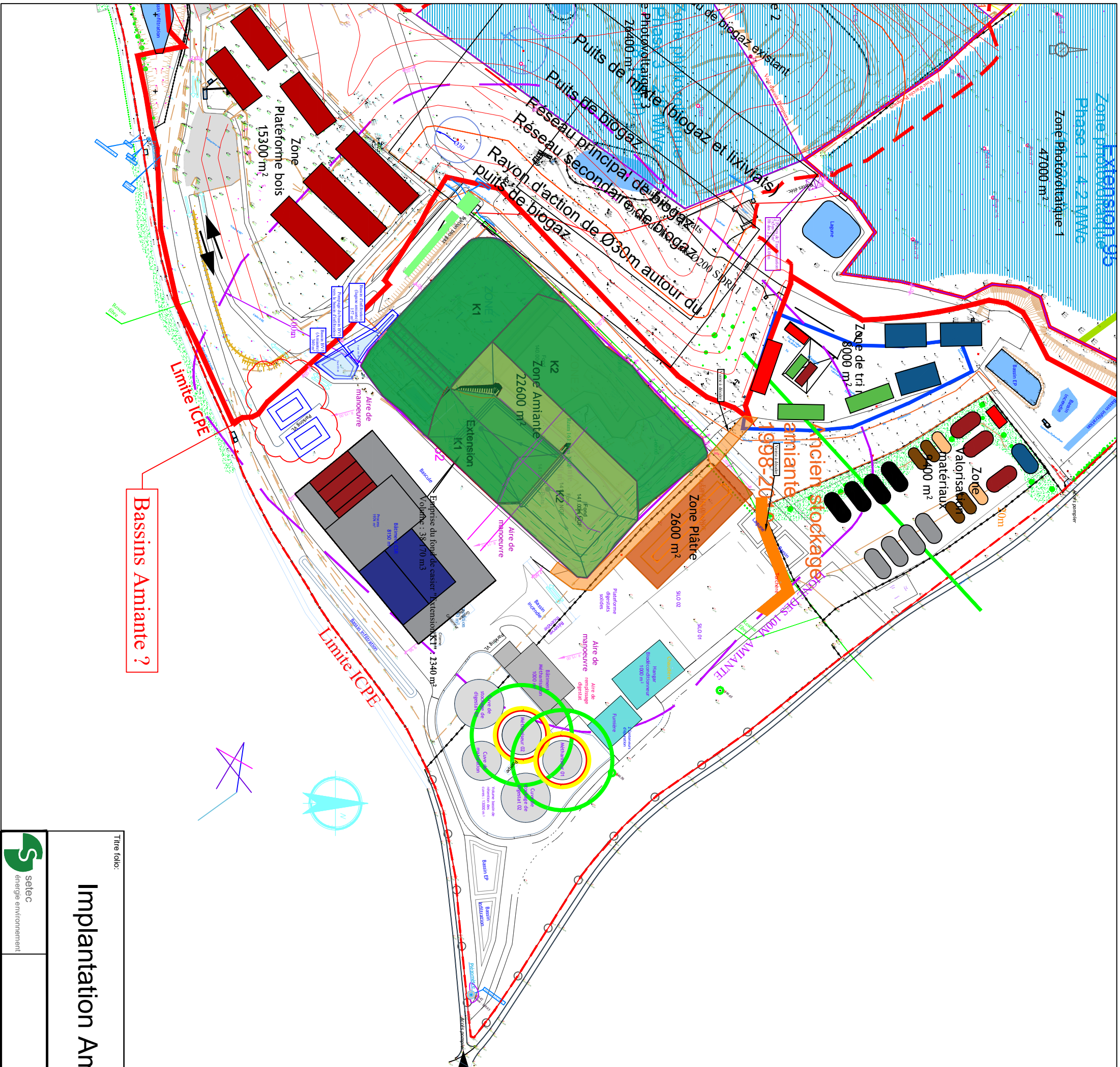
Numéro	Présentation	Indice:
002	01	A

Echelle:	Folio:
----------	--------

1/2500	/
--------	---

Date folio:	Indice folio:
28/04/2021	A

Numéro	Présentation	Indice:
002	01	A



Maison de la et de l'environnement

Légende

SEI Toxique

SEL Toxique

SELS Toxique

Titre folio:

Echelle:

Folio:

Implantation Amiante, CSR et Méthaniseur

1/2500

/

setec

énergie environnement

024-48517

IMP

PL

002

01

A

Numéro d'affaire:

Phase

Type

Numéro

Présentation

Indice:

Ce plan est la propriété exclusive de SETEC énergie environnement toute utilisation reproduction ou communication est soumise à accord préalable