

RAPPORT D'ÉTUDE  
N° DRA-07-88414-10586B

18/01/2008

## **Etude des risques liés à l'exploitation des méthaniseurs agricoles**

**INERIS**

# Etude des risques liés à l'exploitation des méthaniseurs agricoles

Verneuil-en-Halatte, Oise

Client : Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables (M.E.D.A.D.)

Liste des personnes ayant participé à l'étude : L. DUPONT, A.PAILLART, G. VINCENT

## PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	<b>Rédaction</b>	<b>Relecture</b>	<b>Vérification</b>	<b>Approbation</b>
<b>NOM</b>	L. DUPONT – A.PAILLART	J. CHAINEAUX	M.A.KORDEK	Y. MACE
<b>Qualité</b>	Ingénieurs Unité Sécurité des Procédés Direction des Risques Accidentels	Responsable Adjoint Unité Sécurité des Procédés Direction des Risques Accidentels	Déléguée Appui à l'Administration Direction des Risques Accidentels	Directeur Direction des Risques Accidentels
<b>Visa</b>				

## GLOSSAIRE

AGV	Acides Gras Volatils
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
COV	Composés Organiques Volatils
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
LIE	Limite Inférieure d'Explosivité
LSE	Limite Supérieure d'Explosivité
MRL	Minimum Risk Level
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
RfC	Reference Concentration
SE	Seuils équivalents
SEI	Seuils des effets irréversibles
SPEL	Seuils des premiers effets létaux
SELS	Seuils des effets létaux significatifs
US-EPA	United-States - Environmental Protection Agency
VLCT	Valeurs limites d'exposition à court terme (anciennement VLE)
VME	valeurs limites de moyenne d'exposition

# TABLE DES MATIERES

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>7</b>
1.1 Contexte et objectifs de l'étude .....	7
1.2 Chronologie, éléments contractuels.....	7
1.3 Démarche retenue .....	7
<b>2. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE</b> .....	<b>9</b>
2.1 Définition d'une Atmosphère Explosive (ATEX) .....	11
2.2 Définition d'une ATEX « dangereuse ».....	12
2.3 Classement des ATEX dangereuses.....	12
<b>3. DESCRIPTION DU PROCÉDÉ ET DES INSTALLATIONS DE MÉTHANISATION</b> .....	<b>15</b>
3.1 Principe de la méthanisation .....	15
3.2 Description des installations de méthanisation agricole .....	16
<b>4. CARACTÉRISTIQUES DES PRODUITS</b> .....	<b>21</b>
4.1 Composition chimique .....	21
4.2 Caractéristiques d'explosivité .....	23
4.3 Caractéristiques de toxicité .....	25
<b>5. ACCIDENTOLOGIE</b> .....	<b>29</b>
5.1 Accidents de la base ARIA .....	29
5.2 Retour d'expérience des installations de méthanisation agricoles .....	31
<b>6. ETUDE DES RISQUES ACCIDENTELS</b> .....	<b>35</b>
6.1 Explosions d'une ATEX ( Phénomènes de VCE et d'UVCE) .....	42
6.2 Feux torches.....	56
6.3 Eclatement d'une enceinte.....	56
6.4 Dispersion toxique accidentelle .....	57

6.5	Epandage accidentel .....	59
<b>7.</b>	<b>ETUDE DES RISQUES SANITAIRES .....</b>	<b>63</b>
7.1	Risque chronique .....	63
7.2	Nuisances olfactives .....	66
7.3	Risque biologique.....	68
<b>8.</b>	<b>REGLES DE SECURITE.....</b>	<b>71</b>
8.1	Règles de sécurité en vigueur dans d'autres pays .....	71
8.2	Mesures supplémentaires proposées par le « document relatif à la protection contre les explosions » du FVB.....	79
8.3	Distances de sécurité.....	80
8.4	Synthèse des règles de securite preconisées par l'INERIS .....	83
<b>9.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>87</b>
<b>10.</b>	<b>LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>89</b>

# **1. INTRODUCTION**

## **1.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE**

La méthanisation agricole est un processus de digestion anaérobie poursuivant un double objectif de valorisation énergétique par récupération du biogaz (principalement du CH<sub>4</sub>) et de stabilisation des déchets organiques.

L'année 2006 a marqué un tournant dans le développement de la filière biogaz en France avec la mise en place d'un nouveau tarif de rachat de l'électricité qui prend en compte largement l'efficacité énergétique et conduit globalement à un doublement de la valorisation du biogaz avec un effort plus marqué pour les petites installations. Ceci devrait notamment permettre de faire émerger des projets de « méthanisation à la ferme » en France.

Dans ce contexte, le Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables a sollicité l'INERIS afin d'étudier l'ensemble des risques liés au procédé de méthanisation agricole. Le principal objectif de cette étude est de définir les règles de sécurité à mettre en place pour assurer une maîtrise des risques suffisante lors de l'exploitation de ces installations

## **1.2 CHRONOLOGIE, ELEMENTS CONTRACTUELS**

La présente étude a fait l'objet :

- d'un devis en date du 3 avril 2007 référencé : DRA-07-88414-04852A portant sur la définition des règles de sécurité applicables aux unités de méthanisation agricole,
- d'une lettre de M.FRANCART en date du 12 juillet 2007 faisant office de commande et précisant les objectifs de l'étude,
- d'une réunion d'avancement dans les locaux du MEDAD en date du 26 octobre 2007 en présence de M Dupont de l'INERIS et de M. FRANCART du MEDAD,
- d'un projet de rapport fourni le 10 décembre 2007, référencé DRA-07-88414-10586A.

## **1.3 DEMARCHE RETENUE**

Dans le but de définir les règles de sécurité à appliquer aux méthaniseurs, l'INERIS présente une démarche qui s'organise comme suit :

Rappel du contexte normatif et réglementaire,

Valorisation du retour d'expérience,

Description du procédé et des installations,

Caractérisation des produits mis en œuvre,

Evaluation des risques accidentels,

Evaluation des risques sanitaires.

Au cours de cette étude, nous analysons notamment les prescriptions en vigueur en Allemagne.

## 2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Les contraintes réglementaires s'appliquant aux installations de méthanisation agricole, comme activité annexe d'un élevage, sont nombreuses du fait des étapes successives du processus de méthanisation et de la variété des domaines réglementaires balayés (utilisation de sous-produits, de déchets, production et stockage de biogaz, combustion, épandage...). Une note de la DDSV35-R recense les diverses contraintes sanitaires et ICPE<sup>1</sup>.

Deux principaux types de réglementation sont à considérer :

- **les réglementations environnementales** : celles des Installations Classées pour la protection de l'Environnement, ICPE, agréments sanitaires et celles régissant les rejets polluants dans l'air ou dans l'eau. Ces réglementations s'intéressent aux nuisances créées par les installations sur l'environnement et elles dépendent du MEDAD, ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables,
- **la réglementation ATEX (atmosphères explosives)**, qui dépend du Ministère du travail, des relations sociales et de la solidarité. Cette réglementation s'intéresse aux travailleurs de l'entreprise concernée.

En ce qui concerne les réglementations environnementales, une réflexion est actuellement engagée au MEDAD pour modifier et harmoniser les aspects réglementaires portant sur l'exploitation de ce type d'installation. Nous ne développerons donc pas cette partie.

Nous analyserons par contre en détail au cours de ce chapitre les exigences de la réglementation ATEX.

Remarque

Il faut souligner la complémentarité des réglementations ICPE et ATEX : la réglementation ATEX s'intéresse aux risques liés aux activités de tous les jours, et aux dysfonctionnements qui pourraient entraîner des dommages aux personnes, sans nécessairement dépasser les limites du site. Dans l'analyse des risques ATEX, on ne considère pas les scénarios comme des ruptures franches de canalisation ou des fuites massives. L'application de cette réglementation représente pourtant, en ce qui concerne le risque d'explosion, une des principales étapes de la prévention des risques majeurs.

La réglementation ICPE demande d'ailleurs, par l'arrêté du 31 mars 1980, de définir des « zones » à risque de formation d'ATEX. Il est probable qu'il sera abrogé, car l'ensemble de ses exigences se retrouve dans la réglementation ATEX issue de la Directive 1999/92/CE.

---

<sup>1</sup> « Recensement des diverses contraintes sanitaires et ICPE selon les matières incorporées dans un process de méthanisation ou de compostage ». Etude de la DDSV35-R. Version du 11 septembre 2007.

Les deux Directives ATEX 94/9/CE et 1999/92/CE définissent les exigences en matière de sécurité face au risque d'explosion. La Directive 1999/92/CE s'applique à l'exploitant mais le constructeur a l'obligation de prévoir le matériel adapté (marquage Ex du groupe idone), le classement en zone retenu doit donc être défini lors de la conception.

La directive 1999/92/CE donne les « prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives ». Elle relève de la directive cadre 89/391/CEE sur « l'amélioration de la santé et de la sécurité des travailleurs au travail ».

La directive 1999/92/CE est transposée en droit français, en ce qui concerne les employeurs, par un décret paru au JORF n°303 du 29 décembre 2002 et trois arrêtés, des 8 et 28 juillet 2003 :

- le **décret n°2002-1553** du 24 décembre 2002 relatif aux dispositions concernant la prévention des explosions applicables aux lieux de travail et modifiant le chapitre II du titre III du livre II du code du travail ;
- l'**arrêté du 8 juillet 2003** complétant l'arrêté du 4 novembre 1993 relatif à la signalisation de sécurité et de santé au travail ;
- l'**arrêté du 8 juillet 2003** relatif à la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés à une atmosphère explosive ;
- l'**arrêté du 28 juillet 2003** relatif aux conditions d'installation des matériels électriques dans les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter et la **circulaire DRT n°11 du 6 août 2003** commentant cet arrêté.

Cette réglementation, a été complétée au niveau français par un décret concernant les maîtres d'ouvrage :

- le **décret n°2002-1554** du 24 décembre 2002 relatif aux dispositions concernant la prévention des explosions **que doivent observer les maîtres d'ouvrage** lors de la construction des lieux de travail et modifiant le chapitre V du titre III du livre II du code du travail.

La réglementation ATEX impose à l'employeur d'évaluer s'il y a risque d'explosion et, si ce risque existe, de prendre des mesures techniques et organisationnelles pour :

- empêcher la formation d'atmosphères explosibles ou, si cela n'est pas possible,
- prévenir leur inflammation ou, en cas d'impossibilité,
- réduire les effets de l'explosion à un niveau suffisamment faible pour que les travailleurs n'en subissent pas de préjudice.

L'employeur est tenu de classer ses emplacements à risque d'explosion et d'y installer les appareils adaptés. **Cette exigence s'applique à tous les appareils qu'ils soient électriques ou non électriques.**

Un « document relatif à la protection contre les explosions » doit être établi par l'employeur avant le démarrage des installations, tenu à jour, et intégré dans son « Document Unique ».

Il doit en particulier informer sur :

- ◆ la détermination et l'évaluation des risques d'explosion,
- ◆ les mesures de prévention et de protection,
- ◆ le classement en zones,
- ◆ les emplacements et équipements non dangereux mais qui contribuent à la sûreté des appareils situés dans les emplacements dangereux,
- ◆ la surveillance de la sécurité des lieux et des équipements, y compris les dispositifs d'alarme,
- ◆ la liste des travaux soumis à autorisation,
- ◆ les dispositions pour que les équipements soient utilisés en toute sécurité (instructions écrites de l'employeur),
- ◆ les mesures de coordination si plusieurs entreprises sont présentes sur les lieux de travail.

Pour la rédaction de ce document, l'employeur s'appuie sur les éléments fournis par le concepteur.

Par ailleurs les travailleurs appelés à travailler dans ces zones doivent avoir reçu une formation.

## **2.1 DEFINITION D'UNE ATMOSPHERE EXPLOSIVE (ATEX)**

Une ATEX est «un mélange avec l'air, dans les conditions atmosphériques, de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs, brouillards ou poussières, dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé ».

Il est à remarquer que l'ATEX peut exister :

- ◆ en milieu ouvert : son inflammation créera essentiellement des effets thermiques,
- ◆ en milieu fermé : son inflammation créera des effets thermiques et des effets de surpression.

Pour que l'inflammation se propage, il faut que la concentration soit comprise entre deux valeurs, la LIE et la LSE, limites inférieures et supérieures d'explosivité du produit combustible mis en cause.

## **2.2 DEFINITION D'UNE ATEX « DANGEREUSE »**

Pour attribuer une zone où peut se former des ATEX, il faut que ces atmosphères soient considérées comme **dangereuses** :

« un emplacement dangereux au sens du présent arrêté (du 8 juillet 2003) est un emplacement où il est probable qu'une atmosphère explosive puisse se présenter en quantités telles que des précautions spéciales sont nécessaires en vue de protéger la sécurité et la santé des travailleurs concernés ».

Pour décider de la présence d'une zone ATEX à classer, il faut donc évaluer les risques pour les travailleurs liés à cette ATEX, ce qui veut dire étudier les conséquences de son inflammation en tant que dommages aux travailleurs.

S'il est nécessaire de protéger les travailleurs en prenant des précautions spéciales, alors l'ATEX doit être considérée comme dangereuse, et il est nécessaire de définir une zone comme expliqué dans ce qui suit.

## **2.3 CLASSEMENT DES ATEX DANGEREUSES**

### **2.3.1 ATEX GAZEUSES**

Pour les atmosphères explosives constituées de gaz et vapeurs inflammables, les définitions des zones définies par la réglementation sont les suivantes :

#### **Zone 0**

Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeurs ou de brouillard est présente en permanence ou pendant de longues périodes ou fréquemment.

#### **Zone 1**

Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeurs ou de brouillard est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.

#### **Zone 2**

Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeurs ou de brouillard n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée.

Ces définitions sont reprises, pour les gaz et vapeurs, dans la norme NF EN 60079-10 qui spécifie le classement des zones dangereuses dans lesquelles des risques dus à des gaz ou vapeurs inflammables peuvent apparaître afin de permettre le choix et l'installation corrects de matériel utilisable dans de telles zones dangereuses.

### 2.3.2 SIGNALISATION

Il est à noter que la réglementation demande la signalisation des emplacements à risque d'explosion par le panneau suivant :

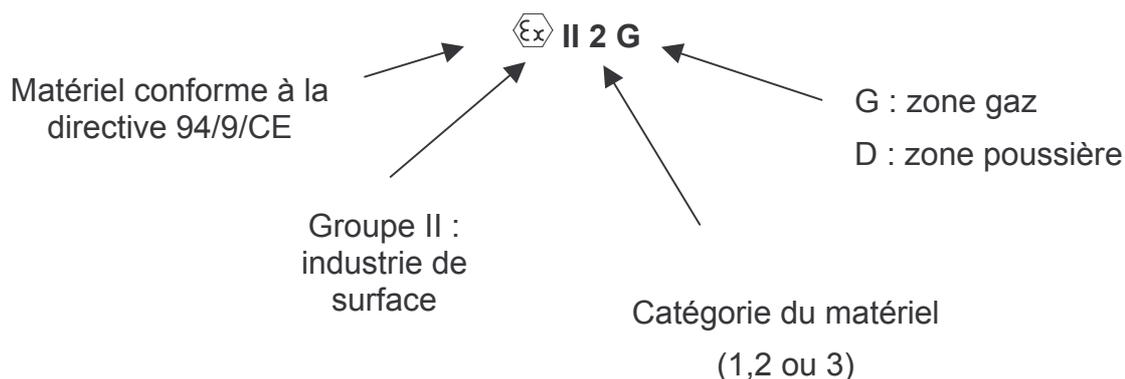


### 2.3.3 MATERIEL (ELECTRIQUE ET NON ELECTRIQUE)

Le matériel installé après le 01/07/2003 dans ces zones doit être conforme au décret 96-1010 qui transpose la directive 94/9/CE, c'est-à-dire que :

- en zone 0 ou 20, le matériel devra être de catégorie 1,
- en zone 1 ou 21, il devra être de catégorie 2,
- en zone 2 ou 22, il devra être de catégorie 3.

Cette catégorie sera mentionnée sur le marquage du matériel, qui respectera les règles suivantes :



En France, les dates d'application de la réglementation pour les **équipements de travail** sont les suivantes :

- Equipements de travail existants (avant le 26/07/2003), totalement conformes à la réglementation en vigueur jusqu'au 26/07/2003 (matériels pour ATEX) : statu quo, les équipements restent en place (totalement conforme veut dire qu'une évaluation des risques a montré que les équipements ne constituent pas une source d'inflammation pour une ATEX présente) ;
- Equipements de travail existants (avant le 26/07/2003), non totalement conformes à la directive : les prescriptions minimales visant à améliorer la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives (section 2 de l'arrêté du 8 juillet 2003) sont applicables depuis le 26 juillet 2003 ;

- Nouveaux équipements de travail mis en service après le 26 juillet 2003 : les équipements doivent être conformes à la section 2 (prescriptions minimales) ainsi qu'à la section 3 de l'arrêté du 8 juillet 2003 (équipements conformes au décret n°96-1010).

Les délais d'application pour les **lieux de travail** sont les suivants :

- Lieux de travail existants avant le 26/07/2003 : les prescriptions minimales doivent être satisfaites au plus tard le 26/07/2006 ;
- Nouveaux lieux de travail mis en service après le 26/07/2003 : les prescriptions minimales sont applicables dès la mise en service ;
- Extensions, transformations après le 26/07/2003 : les prescriptions minimales sont applicables dès la mise en service.

### 3. DESCRIPTION DU PROCÉDE ET DES INSTALLATIONS DE METHANISATION

#### 3.1 PRINCIPE DE LA METHANISATION

La méthanisation est un procédé de transformation de la matière organique par un ensemble de micro-organismes, en absence d'oxygène (anaérobie). Ce phénomène s'accompagne de la production de "biogaz", mélange gazeux combustible principalement composé de méthane et de CO<sub>2</sub>, et d'un résidu appelé "digestat". Les installations de méthanisation agricole permettent la valorisation énergétique et agronomique des sous-produits.

Pour les méthaniseurs agricoles, le substrat introduit est appelé biomasse et peut-être composé de matières organiques fraîches telles que du fumier, du lisier, du purin et des déchets organiques mais aussi de produits agro-alimentaires ou de plantes énergétiques.

Le biogaz produit peut-être transformé :

- soit en énergie thermique (par combustion dans une chaudière),
- soit en énergie électrique et calorifique (sous la forme d'un combustible pour un module de cogénération composé d'un moteur et d'un alternateur).

Les quatre principales phases de digestion en anaérobie sont illustrées par la figure ci-dessous :

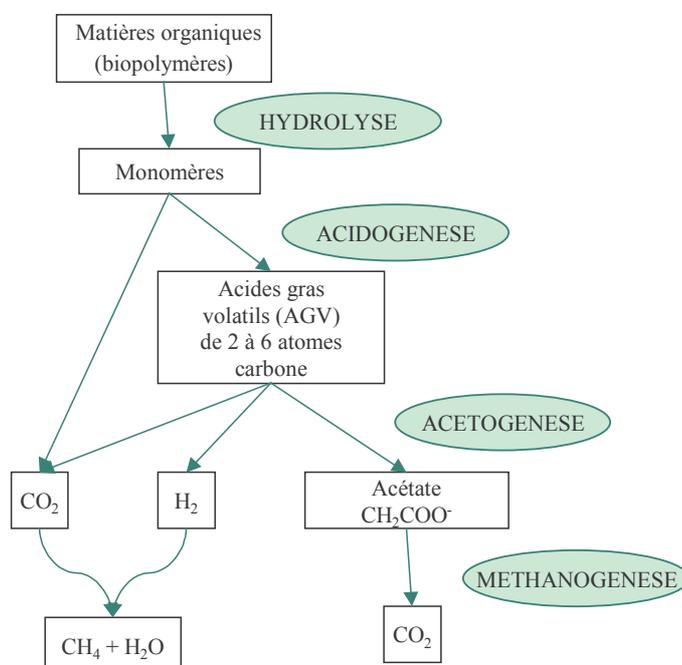


Figure 1 : Représentation simplifiée des étapes de biodégradation anaérobie de la matière organique

### 3.2 DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE METHANISATION AGRICOLE

Une installation de méthanisation agricole comprend en général 4 types d'ateliers différents :

1. Le stockage et le prétraitement des effluents (matières fermentescibles),
2. Le réacteur de méthanisation, ou digesteur,
3. Le stockage, les traitements et les installations d'utilisation du biogaz,
4. Le stockage et les traitements de l'effluent après digestion.

Certaines phases optionnelles peuvent être rajoutées au procédé (pré ou post-traitement) en fonction des matières traitées, des débits et de la performance du procédé.

La présente étude porte sur les points 2,3 et 4. Par contre, elle ne prend pas en compte le point du stockage et du pré-traitement<sup>2</sup> des effluents ainsi que l'épandage.

Le digesteur peut procéder selon trois modes de fonctionnement<sup>3</sup> :

- fonctionnement discontinu : Le réacteur est chargé, on laisse la digestion se dérouler, puis on vide le réacteur et on recommence ces opérations.
- fonctionnement semi-continu : Le déchet est digéré en cuve étanche. On retire périodiquement une fraction du digestat, que l'on remplace par du substrat frais. Le temps de séjour moyen varie de 10 à 40 jours pour des températures de l'ordre de 30 à 35 ° C.
- fonctionnement continu : Ces réacteurs sont principalement utilisés pour des effluents essentiellement liquides (déchets pompables avec une teneur en matières sèches bien inférieure à 10 % en masse). Le digesteur est alimenté en continu, ce qui implique une bonne maîtrise des matériels utilisés qui sont sollicités en permanence.

Pour la méthanisation agricole, l'approche la plus répandue est celle du fonctionnement semi-continu. Dans ce cas, la digestion anaérobie est conduite en dans deux réacteurs distincts :

- le premier réacteur est appelé digesteur : il est le siège de la production du biogaz,
- le second réacteur est appelé post-digesteur : la production de biogaz continue, mais dans une moindre mesure. Il a un rôle de stockage et de traitement du biogaz.

---

<sup>2</sup> Le prétraitement reste une étape clef afin d'améliorer le rendement de la méthanisation. Son but est multiple, il sert à éliminer des éléments étrangers indésirables (pierres, plastiques, verres, etc.), réduire le volume des déchets organiques, homogénéiser la matière organique ou humidifier si nécessaire. Il existe plusieurs types de prétraitement. On pourra retenir la séparation, le triage, la réduction de la taille par broyage, le criblage par la taille, la pasteurisation, le pré-chauffage et le traitement aux ultrasons.

<sup>3</sup> Les techniques de l'ingénieur, ref G2060

Cette approche permet de mieux contrôler le processus global de biodégradation. Les acides gras volatils (AGV) sont produits dans le premier réacteur et dégradés dans le second dont on peut contrôler le flux d'alimentation pour éviter toute surcharge.

Dans cette étude, nous considérons le cas le plus répandu à savoir les méthaniseurs semi-continus. Les risques encourus dans les autres types d'installation ne diffèrent pas de ceux qui seront traités au cours de cette étude.

Les différents éléments d'une installation type sont décrits dans les paragraphes ci-dessous.

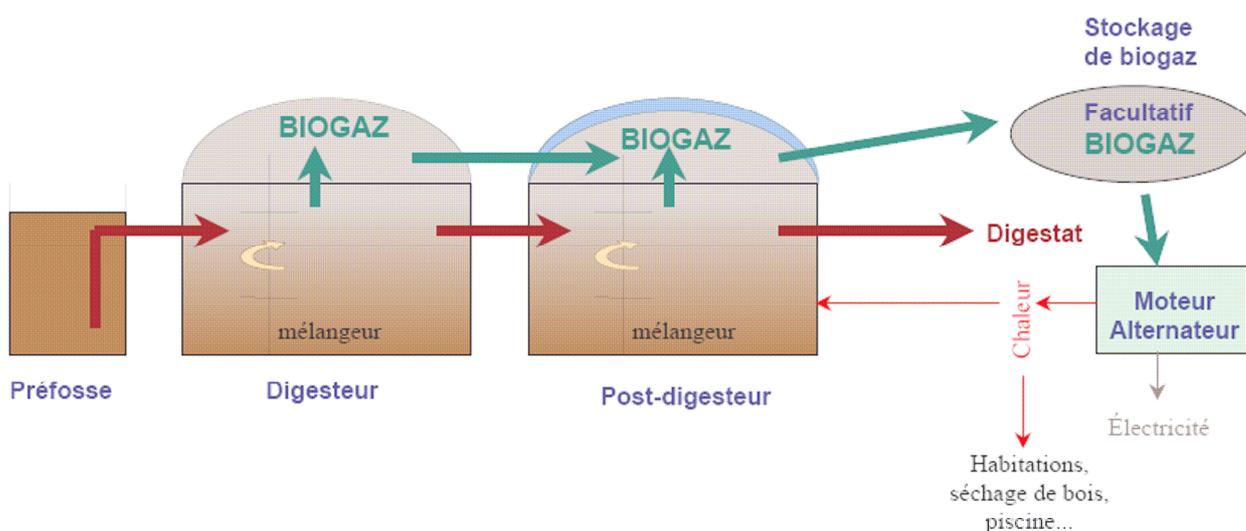


Figure 2 : Schéma simplifié d'un bioréacteur semi-continu

### 3.2.1 LE REACTEUR DE METHANISATION OU LE DIGESTEUR

Les digesteurs sont généralement constitués d'un cylindre isolé thermiquement et totalement étanche à l'air. Ils sont généralement équipés :

- d'une trappe d'alimentation pour l'incorporation des substrats solides,
- d'un système de brassage pour homogénéiser le produit,
- d'un système de chauffage,
- d'un système d'évacuation du digestat vers le post-digesteur.

Dans ce type de digesteur, le gaz étant plus léger que la matière organique liquide, le biogaz produit par les bactéries méthanogènes, remonte à la surface. Un mélangeur participe également à cette remontée en homogénéisant la matière et en empêchant qu'une croûte ne se forme en surface.

Les digesteurs peuvent être de différents types de constitution selon leur configuration :

- les lagunes : le principe est de creuser un trou dans le sol, de le bétonner puis de le recouvrir d'un liner ; ces digesteurs sont donc systématiquement enterrés,

- les digesteurs en béton : ce type de digesteur est constitué uniquement de béton (sauf le toit) ; il peut-être enterré ou non ; cette configuration est la plus fréquente,
- les digesteurs en acier : ce type de digesteur est peu fréquent.

La température à l'intérieur du digesteur est maintenue grâce aux tuyaux de chauffage qui se trouvent sur la paroi interne du digesteur. L'eau qui circule à l'intérieur de ceux-ci est souvent chauffée grâce à l'énergie issue de l'installation elle-même par un module de cogénération.

Au niveau microbiologique, on distingue trois plages de production de biogaz en fonction de la température de développement des microorganismes :

- psychrophile : 15 - 25 °C,
- mésophile : 25 - 45 °C,
- thermophile : 45 - 65 °C.

Ce sont les digesteurs mésophiles qui sont les plus utilisés (à 38 °C) dans les zones tempérées.

A l'intérieur du digesteur, le niveau de la matière organique en fermentation anaérobie est constant. Chaque fois que de la matière est introduite, une même quantité de matière sort du digesteur et va vers le post-digesteur. Il faut que le temps de séjour ou temps de rétention soit suffisant pour dégrader la matière organique.

Le choix du volume de l'installation dépendra de la quantité quotidienne que l'on souhaite introduire mais aussi du temps de rétention et du taux de matière sèche dans les matières organiques qui seront introduites. En effet, le temps de rétention de la matière à l'intérieur du digesteur peut varier de quelques jours à 2 mois. Par exemple, le lisier de bovin peut être dégradé deux fois plus vite que certains fumiers.

A l'intérieur de ce type de digesteur, le taux de matière sèche ne peut pas dépasser 15%. Il est donc parfois nécessaire d'ajouter du liquide (digestat ou eau) lorsqu'on introduit des matières solides comme le fumier ou le maïs.

Une sortie au sommet de la cuve permet de collecter le biogaz produit. La cuve remplie par le déchet à traiter laisse un ciel gazeux de volume le plus faible possible (souvent de l'ordre du dixième du volume total du digesteur). Le biogaz est véhiculé par des canalisations reliant le digesteur au post-digesteur et autres unités de l'installation.

Le couvercle du digesteur est généralement une bâche fixée hermétiquement qui se gonfle en fonction de la pression qui règne à l'intérieur du ciel du méthaniseur (quelques millibars). Dans d'autres configurations, le couvercle du digesteur peut-être en béton.

Les paramètres à prendre en compte lors du fonctionnement d'un digesteur sont les suivants :

- La composition, les caractéristiques et le type de chargement du substrat,
- La montée et le maintien de la température,

- L'immersion ou le recyclage du liquide,
- Le temps de résidence du substrat.

Néanmoins, d'un point de vu bactériologique, les autres paramètres importants à prendre en compte sont la teneur du ciel en oxygène moléculaire, le pH, la teneur en eau mais aussi l'agitation (brassage).

Il existe de nombreux types de système d'introduction de la matière à l'intérieur du digesteur (préfosse, couvercle, piston, vis sans fin, ...). Le choix du système dépend bien entendu du type de matière à introduire et en particulier de son caractère liquide ou solide.

### 3.2.2 LE STOCKAGE, LES TRAITEMENTS ET LES UTILISATIONS DU BIOGAZ

Une installation de méthanisation possède en général une capacité tampon, qui correspond à quelques heures de production et qui est :

- soit intégrée au post-digesteur ou à la fosse de stockage du digestat,
- soit en ouvrage séparé (ballon souple).

Cette étude traitera de ces deux configurations. Il faut cependant noter que le stockage du biogaz se fait généralement au-dessus du post-digesteur. Lorsque la production de biogaz est supérieure à la quantité brûlée par les modules de cogénération, le biogaz peut y être stocké. L'objectif poursuivi est de brûler le biogaz produit au fur et à mesure de sa production pour ne pas devoir surdimensionner les modules de cogénération ni le stockage du biogaz.

La configuration du post-digesteur est similaire à celle du digesteur. La différence notable est que le post-digesteur n'est généralement pas chauffé mais seulement isolé thermiquement car fonctionnant à température ambiante. Le traitement biologique du biogaz nécessite un apport en oxygène dans le ciel de ce réacteur.

Le biogaz provenant de déjections animales est particulièrement riche en hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S). Il doit donc être partiellement épuré avant utilisation. La technique la plus couramment utilisées est l'injection d'un faible débit d'air directement dans le ciel gazeux du post-méthaniseur, parcequ'elle est simple à réaliser et moins coûteuse que les autres méthodes existantes<sup>4</sup>. L'introduction d'une faible quantité d'air dans la partie du digesteur où le biogaz s'accumule favorise, sous l'action des microorganismes, la réduction du H<sub>2</sub>S en soufre élémentaire et de l'eau selon l'équation :



La quantité d'air nécessaire dépend de la stœchiométrie des réactions de digestion. En pratique, l'apport d'air correspondant à 3 à 8% en volume de la production journalière du biogaz permet d'éliminer 95 à 99% de H<sub>2</sub>S du biogaz. L'inconvénient majeur de cette méthode est la baisse de la production de méthane étant donnée que la digestion anaérobie n'est plus complète si l'on ajoute de l'air directement dans le digesteur. C'est une des raisons pour laquelle cet apport d'air est généralement réalisé dans le post-digesteur.

---

<sup>4</sup> « Compatibilité du biogaz avec les moteurs de cogénération ». Héteu et Martin, Université Catholique de Louvain, 2007.

D'autres techniques de désulfuration sont également susceptibles d'être mise en œuvre : par injection de particules ferreuses ou de charbon actif.

Concernant les couvercles des réacteurs, il existe deux types de configuration :

- une bâche fixée hermétiquement qui se gonfle en fonction de la pression qui règne à l'intérieur du ciel du méthaniseur,
- deux bâches fixées hermétiquement : la première retient le biogaz et gonfle en fonction de la production du biogaz ; la seconde englobe la première et est constamment gonflée d'air à quelques millibar par une ventilation extérieure.

En sortie du post-méthaniseur, le biogaz peut subir un traitement de déshumidification à l'aide d'un condenseur. Cette étape du procédé est généralement enterrée.

A ce niveau, le biogaz est sec et contient une faible quantité d'hydrogène sulfuré. Il peut ensuite être comprimé puis utilisé dans un moteur à gaz ou envoyé vers une torchère.

### **3.2.3 LE STOCKAGE DU DIGESTAT**

Le résidu de méthanisation peut être valorisé comme amendement organique. La valeur fertilisante des effluents d'élevage méthanisés n'est pas affectée (la totalité de l'azote contenu dans le fumier ou le lisier est conservée lors de la digestion), et est même parfois améliorée. En effet, l'azote change de forme pendant le processus : présent sous forme d'azote organique dans les déjections fraîches, il se retrouve sous forme d'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$  dans l'effluent. L'ammonium est une forme d'azote plus facilement assimilable par les plantes mais il est très volatile.

Le digestat est stocké dans un réservoir, soit à l'air libre, soit enterré.

### **3.2.4 ENTRETIEN ET MAINTENANCE**

La maintenance sur une installation de méthanisation est assez réduite. Elle se résume principalement à l'apport des résidus et à l'épandage.

Son entretien nécessite une main d'œuvre spécialisée car il est parfois nécessaire d'ouvrir les digesteurs notamment lors des opérations de changements du mélangeur ou de curage.

## **4. CARACTERISTIQUES DES PRODUITS**

### **4.1 COMPOSITION CHIMIQUE**

#### **4.1.1 SUBSTRAT**

A l'exception des matières lignifiées (branches d'arbres, tailles d'arbustes...), presque toutes les autres matières organiques peuvent être introduites à l'intérieur du digesteur (matières fermentescibles).

Au niveau de la production de biogaz, chaque matière a ses propres caractéristiques en terme de pouvoir méthanogène calculé en m<sup>3</sup> de biogaz par tonne de matière sèche.

Les matières organiques agricoles susceptibles d'être traitées par une installation de méthanisation agricole sont :

- les effluents d'élevage liquides (lisier/purin) ou solides (fumier),
- les plantes énergétiques (maïs, betterave, colza, ...).

D'autres matières peuvent faire office de co-substrat<sup>5</sup> :

- les restes d'alimentation des animaux, de la ferme, ...
- les déchets organiques telles les tontes de pelouse, les huiles végétales, ....
- les boues de STEP (station d'épuration de l'eau) si elles peuvent être épandues
- ...

En conséquence, la composition chimique du biogaz et des digestats varie beaucoup en fonction des substances introduites.

#### **4.1.2 BIOGAZ<sup>6</sup>**

Le biogaz est composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone. Leur proportion varie en fonction de la nature du déchet et des conditions opératoires.

---

<sup>5</sup> L'introduction de matières exogènes à l'exploitation nécessite l'obtention des autorisations nécessaires, le respect de la législation sur les déchets, les normes d'épandage, ...

<sup>6</sup> Etudes comparatives des dangers et des risques liés au biogaz et au gaz naturel, J. BROZ, INERIS, avril 2006

Le tableau suivant indique les ordres de grandeurs des principaux constituants du biogaz issu des activités de méthanisation :

Constituants	Teneur (%)
CH <sub>4</sub>	50 à 75
CO <sub>2</sub>	25 à 45
H <sub>2</sub> S	< 1
N <sub>2</sub>	0 à 6
H <sub>2</sub>	< 1
O <sub>2</sub>	< 2
Composés Organiques Volatils (COV)	Dépend du type des entrants
H <sub>2</sub> O	Saturation : dépend de la température

*Tableau 1 : Teneurs des principaux constituants du biogaz*

L'annexe n°1 illustre la teneur en méthane dans le biogaz en fonction du substrat brut introduit ainsi que la composition réelle d'un biogaz issu d'un élevage porcin.

D'autres substances sont formées dans le biogaz à l'état de traces :

- des acides gras volatils ;
- des composés azotés, soufrés ;
- des alcools, aldéhydes, cétones et acides organiques ;
- des composés aromatiques et des alcanes.

En ce qui concerne l'azote, il est majoritairement transformé lors de la réaction de méthanisation, sous forme ammoniacale dans le digestat. Etant donnée la volatilité des solutions ammoniacales, il est envisageable de retrouver de l'ammoniac gazeux dans la composition du biogaz. Dans la littérature, nous n'avons pas trouvé de source mentionnant la formation de celui-ci ; néanmoins, il serait intéressant de valider sa présence par des mesures in situ. Dans la suite de ce document, nous ne considérerons donc plus l'éventuelle présence d'ammoniac gazeux dans le biogaz. Pour mémoire, les caractéristiques de toxicité de l'ammoniac sont données en Annexe 6.

#### **4.1.3 DIGESTAT**

Le digestat est constitué des déchets « digérés » appelés aussi effluents. Ces derniers contiennent des matières qui n'ont pas été transformés en biogaz :

- bactéries excédentaires,
- matières organiques non dégradées,
- matières minéralisées après traitement des déchets organiques.

Le déchet conservant l'intégralité de ses éléments nutritifs principaux (N, P, K) au cours de la digestion (il perd essentiellement C, H et O sous forme du mélange  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ), le digestat est un produit potentiellement valorisable comme amendement organique des sols, après mélange éventuel avec des engrais minéraux<sup>7</sup>.

Il est utilisable sous forme brut ou après traitement (déshydratation, compostage...).

La composition des effluents varie en fonction des entrants mais aussi des conditions opératoires du méthaniseur. Il n'existe pas, à notre connaissance de base de données donnant les profils physico-chimiques des digestats en fonction des matières entrants et des conditions de méthanisation.

Nous n'avons pas trouvé de données sur les effluents gazeux potentiellement émis par le digestat. Il serait donc intéressant de caractériser ces émissions, notamment pour le cas de l'ammoniac.

## 4.2 CARACTERISTIQUES D'EXPLOSIVITE

Le biogaz formé contient une forte proportion de gaz combustible, le méthane ( $\text{CH}_4$ ), et d'un gaz inerte, le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Les autres composés formés sont suffisamment peu abondants pour n'avoir qu'une influence négligeable sur les caractéristiques d'explosivité ou de violence d'explosion du biogaz. Nous considérerons donc dans ce paragraphe que le biogaz n'est qu'un mélange de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{CH}_4$ .

### ▪ Limites d'explosivité :

Pour une composition  $\text{CH}_4\text{-CO}_2$  variant de 60%-40% à 50%-50% les limites inférieures et supérieures d'explosivité du biogaz sont présentées dans le tableau suivant<sup>8</sup> :

$\text{CH}_4 - \text{CO}_2$ (%v/%v)	LIE (%v/v $\text{CH}_4$ )	LSE (%v/v $\text{CH}_4$ )
100 - 0	5	15
60 - 40	5,1	12,4
55 - 45	5,1	11,9
50 - 50	5,3	11,4

Tableau 2 : Limites d'inflammabilité relatives à quatre compositions différentes

<sup>7</sup> R. Gourdon, Traitement biologique des déchets, Les techniques de l'ingénieur.

<sup>8</sup> Dupont, Explosion characteristics of synthesised biogas at various temperatures, Journal of Hazardous Materials, 2006.

La présence du  $\text{CO}_2$  tend donc à diminuer la réactivité du méthane. De plus, la teneur en vapeur d'eau dans l'atmosphère présente à l'intérieur d'un digesteur ou post-digesteur est relativement importante. En matière d'explosivité, la vapeur d'eau intervient comme un gaz inerte : l'explosivité de l'atmosphère mise en œuvre à l'intérieur d'un digesteur ou post-digesteur dépendra de sa teneur en vapeur d'eau et donc de sa température.

- Violence d'explosion : Pression maximale d'explosion ( $P_{\text{max}}$ ) et vitesse maximale de montée en pression ( $K_g$ ) :

Lorsqu'on enflamme un mélange explosif dans une enceinte fermée étanche et résistante à la pression, la courbe d'augmentation de la pression en fonction du temps a la forme présentée sur la figure suivante. On caractérise l'explosion par la pression maximale  $P_{\text{ex}}$  et par la valeur maximale de  $P_{\text{ex}}$  obtenue pour les différents mélanges soit  $P_{\text{max}}$ , ainsi que par la pente maximale de montée en pression soit  $(dP/dt)_{\text{max}}$ . Celle-ci, rapportée à la racine cubique du volume de l'enceinte dans laquelle est réalisé l'essai, est une valeur caractéristique du produit, désignée par  $K_g$ .

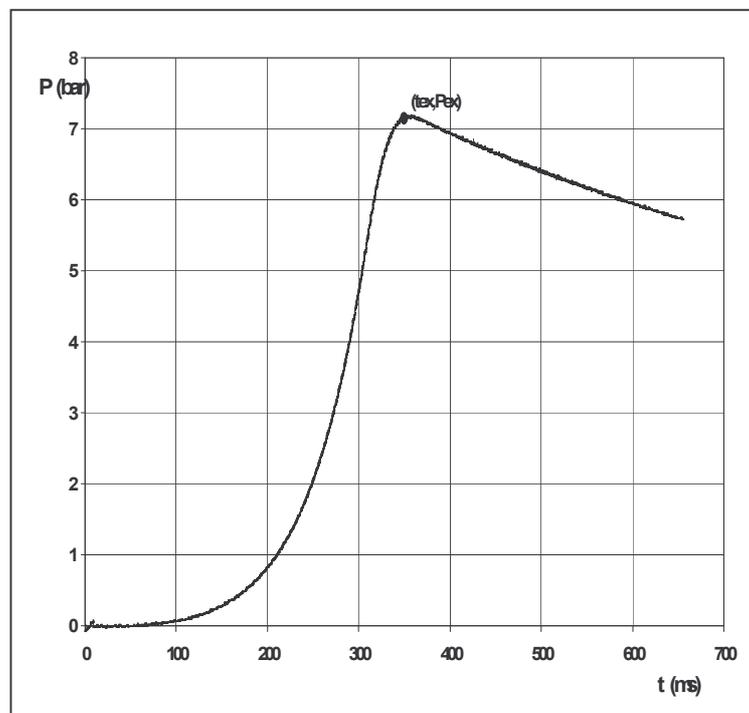


Tableau 3 : Pression d'explosion en fonction du temps d'une atmosphère air-CH<sub>4</sub> à 10% dans une sphère de 2 m<sup>3</sup>.

Des essais avec des mélanges CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>/air, saturés en humidité dans la gamme de 20°C à 70°C ont été réalisés à l'INERIS (même étude que pour la détermination des limites d'explosivité).

Temperature (°C)	Pmax (bar) rel	Kg (bar.m/s)
30	5,7	14
40	5,4	14
50	4,3	8
55	3,2	4
60	2,8	3
70	0,7	0,5

Tableau 4 : Caractéristiques d'explosion du biogaz saturé en eau

Cette étude conduite à l'INERIS a permis de mesurer l'influence de la vapeur d'eau sur les caractéristiques d'explosivité d'un biogaz composé à 50% de CH<sub>4</sub> et 50% de CO<sub>2</sub>. Il a été prouvé qu'au-delà de 70 °C, la vapeur d'eau contenue dans le biogaz est suffisante pour inerte le biogaz : le mélange biogaz / air ne peut pas constituer une atmosphère explosive quelle que soit sa teneur en biogaz.

▪ Energie minimale d'inflammation :

Par rapport au méthane pur, dont l'énergie minimale d'inflammation (EMI) vaut 0,28 mJ, le biogaz est caractérisé par une valeur d'EMI nécessairement supérieure, à cause de la présence de CO<sub>2</sub> et éventuellement aussi de vapeur d'eau. Cependant, bien qu'il ne soit pas possible d'estimer l'EMI du biogaz, il est possible d'affirmer qu'elle reste suffisamment faible pour qu'une ATEX contenant du biogaz puisse être enflammée par des sources d'inflammations de faible intensité telles que des étincelles d'origine électro-statique.

▪ Température d'auto-inflammation :

La température d'auto-inflammation est la température minimale pour laquelle une ATEX s'enflamme spontanément. Il n'est pas non plus possible d'estimer précisément la TAI du biogaz, qui varie en fonction de sa composition et de sa température. Nous retenons donc également la même valeur que celle du méthane, soit 535°C.

### 4.3 CARACTERISTIQUES DE TOXICITE

Dans cette partie, seuls sont traités les gaz toxiques présents en quantité suffisante pour dépasser leurs seuils de toxicité respectifs d'après les valeurs dont nous disposons (Cf annexe 1). Des mesures de composition du biogaz sur site pourront cependant faire apparaître des teneurs plus importantes d'autres composés toxiques : il faudra dans ce cas les prendre en compte dans l'évaluation du risque toxique.

### 4.3.1 HYDROGENE SULFURE (H<sub>2</sub>S)

En terme de toxicité aiguë, l'hydrogène sulfuré compte parmi les gaz courants les plus toxiques et son inhalation accidentelle provoque fréquemment des intoxications graves pouvant avoir une issue fatale à des concentrations dans l'air de l'ordre de 500 ppm<sup>9</sup>. Ces accidents apparaissent au cours d'opérations aussi différentes que l'inspection visuelle intérieure d'un réservoir, le curage d'une cuve ou le décolmatage d'une canalisation.

L'hydrogène sulfuré est un gaz incolore plus lourd que l'air (densité = 1,19) qui a tendance à s'accumuler dans les parties basses d'espaces non ventilés.

A température ambiante et pression atmosphérique, l'hydrogène sulfuré est un gaz d'odeur fétide caractéristique («œuf pourri»). La sensation olfactive, variable d'un individu à l'autre, n'augmente pas avec la concentration du gaz dans l'air. L'odeur décelable à de très faibles concentrations (0,008 ppm) s'atténue ou disparaît à forte concentration (anesthésie de l'odorat au-dessus de 100 ppm).

La teneur en hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) varie fortement selon les types de déjections animales. Le tableau suivant donne à titre indicatif, les ordres de grandeurs en fonction des deux types de lisiers :

Type de matières entrantes	Sans traitement (mg/m <sup>3</sup> )	Avec traitement à l'O <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
Lisier bovin	Entre 800 et 2000	< 100
Lisier porcin	Entre 4000 et 8000	< 100
Cultures énergétiques	Dépend des cultures - valeurs assez faibles pour le maïs et autres cultures courantes	

Tableau 5 : Teneurs de H<sub>2</sub>S en fonction des matières entrantes (valeurs indicatives)

Il faut noter que le biogaz provenant de déjections animales est particulièrement riche en hydrogène sulfuré, par rapport à des biogaz formés à partir d'autres substrats.

Le tableau suivant récapitule les effets de l'hydrogène sulfuré sur l'homme.

Concentration (ppm)	Symptômes
0,008	seuil de détection olfactive
10	seuil de tolérance pour une exposition prolongée
70 – 150	symptômes légers après plusieurs heures d'exposition
100	seuil d'anesthésie olfactive
170 – 300	concentration maximale pour 1 heure d'exposition sans conséquences toxiques graves
400 – 700	dangereux pour 30 à 60 minutes d'exposition
> 700	mortel en 30 minutes

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des effets de l'hydrogène sulfuré sur l'homme

<sup>9</sup> Risques d'intoxication présentés par l'hydrogène sulfuré, R420, INRS, 2005

### 4.3.2 DIOXYDE DE CARBONE (CO<sub>2</sub>)

A température ambiante, le CO<sub>2</sub> est un gaz inodore, incolore, plus lourd que l'air, ininflammable et non conducteur d'électricité. A forte concentration, il aurait une saveur légèrement piquante.

En France, il n'existe pas de valeur limite d'exposition professionnelle, indicative ou réglementaire, pour le dioxyde de carbone. Cependant la circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 précise que pour l'aération des locaux à pollution non spécifique par dispositifs de ventilation, les débits minimaux d'air neuf à introduire sont établis sur la base d'une concentration maximale admissible de dioxyde de carbone de l'ordre de 1000 ppm<sup>10</sup>. Nous rappelons que la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère est d'environ 350 ppm.

### 4.3.3 CARACTERISTIQUES D'ANOXIE

L'air est composé principalement d'azote et d'oxygène dans des proportions très précises. La diminution du taux d'oxygène, due à une augmentation du taux d'un autre composé présent ou non dans la composition de base de l'air, entraîne le risque d'anoxie.

La zone sûre est comprise dans une fourchette allant de 19 à 23% d'oxygène. En deçà de 19% d'oxygène des troubles sont décelables, et en deçà de 17% d'oxygène des troubles graves apparaissent.

Le dégagement en grande quantité de gaz inertes dans l'atmosphère, conduit à une dilution de l'air, donc à une diminution de la concentration en oxygène. Si cette diminution est importante (teneur en oxygène de l'ordre de 10 à 12 %), il existe alors un risque d'asphyxie. Rappelons que la teneur minimale réglementaire en oxygène dans un lieu de travail est de 19 %.

Teneur d'O <sub>2</sub> (%)	Troubles
de 19 à 23	Niveau normal d'oxygène
de 16 à 19	Difficultés respiratoires, nausées, vomissements, vertiges
de 12 à 16	Perte de connaissance
< à 12%	Perte de connaissance immédiate entraînant la mort

*Tableau 7 : Troubles liés à l'anoxie*

Dans le cas du biogaz, les principaux gaz, en quantité suffisante, ayant un pouvoir asphyxiant sont :

- Le méthane (CH<sub>4</sub>) : à forte concentration, le méthane peut réduire la quantité d'oxygène nécessaire à la respiration et causer l'asphyxie,
- Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : gaz asphyxiant qui peut entraîner la mort. L'importance des effets observés dépend de la concentration dans l'atmosphère et de nombreux facteurs physiologiques (âge du sujet, état vasculaire...) ou climatiques (température extérieure, pression en oxygène...);
- L'azote (N<sub>2</sub>) : asphyxiant à forte concentration.

<sup>10</sup> INRS, Intoxication par inhalation du dioxyde de carbone, 179, 1999  
Réf. : DRA-07-88414-10586B



## **5. ACCIDENTOLOGIE**

Nous avons tout d'abord recensé dans ce chapitre les différents accidents et presque accidents dans lesquels du biogaz était impliqué, quel que soit le type d'activité à l'origine de la formation de celui-ci (installations de stockage ménager, stations d'épuration...).

Nous nous sommes ensuite plus spécifiquement intéressés au retour d'expérience issu de l'exploitation des installations de méthanisation agricole.

L'enseignement de ce retour d'expérience nous a alors permis d'identifier certaines règles de sécurité à mettre en place pour éviter l'occurrence de tels événements ou au moins, pour limiter leurs conséquences.

### **5.1 ACCIDENTS DE LA BASE ARIA**

#### **5.1.1 EXPLOSIONS DE BIOGAZ**

Les principaux cas d'explosion de biogaz recensés dans la littérature proviennent des phénomènes de migration du biogaz, principalement dans les décharges d'ordures ménagères ou de déchets industriels. Nous ne passerons pas en revue l'ensemble de ces accidents qui ne sont a priori pas susceptibles de survenir dans les installations de méthanisation agricoles.

Ils sont cependant représentatifs des principaux risques d'explosion liés à la mise en œuvre du biogaz :

- une fuite et une accumulation de biogaz lors de sa mise en œuvre à l'intérieur d'un local confiné,
- une fuite sur une installation située à proximité d'un local confiné suivie de la migration et de l'accumulation de biogaz à l'intérieur de ce local.

On peut ainsi notamment relever les deux accidents suivants :

- En 2006 (*Base de données ARIA du BARPI*) à Clermont-Ferrand (63), une explosion s'est produite à l'intérieur d'un poste électrique d'une centrale de valorisation de biogaz d'un centre d'enfouissement technique.
- En 2005 à Leves (28) (*Base de données ARIA du BARPI*), une fuite de biogaz s'est produite sur un digesteur de boue fissuré à plusieurs endroits laissant le biogaz s'échapper vers l'extérieur.

En ce qui concerne le stockage du biogaz, deux explosions ont été recensées dans la littérature:

- En 1999 (*Base de données ARIA du BARPI*), à la Rochette (73), une explosion a détruit une bouduche tampon de 10 m<sup>3</sup> en matériau souple dans une unité de recyclage de biogaz issu de la station d'épuration d'une papeterie ;
- En 1997, en Italie (*Base de données ARIA du BARPI*), dans une station d'épuration communale des eaux usées, une explosion s'est produite au cours de travaux de réparation dans un silo en béton de fermentation et de production de biogaz.

Une autre explosion survenue récemment en France (Information officielle) à l'intérieur d'un méthaniseur industriel montre également les risques liés aux phases transitoires (travaux, maintenance...) à l'intérieur d'un méthaniseur : pour pouvoir intervenir à l'intérieur d'un méthaniseur, les opérateurs ont introduit un produit chimique pour détruire la matière organique. Une explosion s'est ensuite produite à l'intérieur du méthaniseur. Les causes exactes de cette explosion ne sont pas encore connues (biogaz pas totalement éliminé, hydrogène formé ?).

Ces accidents mettent en évidence la nécessité de la mise en place de plusieurs mesures :

- la nécessité de concevoir des plans d'intervention et de les respecter avant d'effectuer une intervention (travaux, maintenance,...) à l'intérieur des installations de stockage du biogaz. Pour cela, il semble indispensable que les concepteurs de méthaniseurs intègrent la nécessité d'intervenir à l'intérieur et prévoient le nombre d'ouvertures nécessaires.
- la mise en place d'évents d'explosion sur les méthaniseurs en béton. Pour les méthaniseurs possédant une membrane souple, celle-ci fera alors office d'évent d'explosion.
- la mise en place d'une ventilation suffisante des locaux à l'intérieur desquels du biogaz est susceptible de se répandre en cas de fuite pour éviter son accumulation.
- la mise en place de matériel protégé à l'intérieur des zones susceptibles de contenir une atmosphère explosive pour éviter son inflammation.

Les accidents mentionnés dans ce chapitre sont décrits en annexe 2.

### **5.1.2 ACCIDENTS LIES A LA PRESENCE D'HYDROGENE SULFURE**

Dans la littérature, on trouve de nombreux accidents impliquant du H<sub>2</sub>S, provenant notamment de la dégradation de matières organiques. Ces accidents susceptibles de survenir dans tous types d'installations, industrielles ou agricoles, ne proviennent cependant pas de la mise en œuvre de biogaz. Ces derniers sont en effet beaucoup plus rares.

Il faut toutefois noter qu'un accident particulièrement grave impliquant une installation de méthanisation agricole s'est produit en Allemagne en 2005 : 4 personnes ont été tuées par un dégagement de H<sub>2</sub>S. Cet accident se serait produit au cours du déchargement d'un camion de déchets dans une fosse située à l'intérieur d'un hall confiné. Une incompatibilité chimique (vraisemblablement une réaction acido-basique) entre les produits déjà présents dans la fosse et ceux déchargés à l'intérieur de celle-ci serait responsable de la formation rapide de grandes quantités de H<sub>2</sub>S. Le couvercle de la fosse était ouvert à cet instant, une panne électrique empêchant sa fermeture.

Les résumés d'accidents impliquant le H<sub>2</sub>S indiquent que dans la plupart des cas, les victimes sont d'abord pris d'un malaise (évanouissement, perte de conscience...) en travaillant au-dessus des installations, ce qui entraîne leur chute puis l'asphyxie dans un milieu confiné (fosse à purin, préfosse à lisier...).

Ces accidents sont souvent mortels et il est frappant de constater qu'ils impliquent souvent plusieurs personnes car les sauveteurs occasionnels venant au secours d'une première victime sont également asphyxiés par le H<sub>2</sub>S.

Ces accidents mettent en lumière :

- l'importance du contrôle des entrants dans les installations de méthanisation : il est indispensable de s'assurer de la compatibilité physico-chimique des différents substrats amenés à être mélangés. Aujourd'hui, il n'existe pas, à notre connaissance, de base de données recensant ces différentes incompatibilités possibles. Il peut donc être nécessaire, en cas de doute, de procéder à des analyses de laboratoire pour s'assurer qu'il n'y ait pas de dégagement de produits toxiques de type H<sub>2</sub>S lors du mélange des produits,
- de la formation du personnel,
- de la stricte observation des règles de sécurité (fermeture du couvercle dans le cas précédent par exemple).

## **5.2 RETOUR D'EXPERIENCE DES INSTALLATIONS DE METHANISATION AGRICOLES**

Le retour d'expérience en France est très limité du fait du faible nombre d'installations de méthanisation agricoles en activité ; cependant au niveau européen, celles ci sont beaucoup plus nombreuses, notamment en Allemagne qui possède plus de 3000 installations. Au cours des visites de sites, nous avons essayé de recenser, sur la base de discussions avec les exploitants, les différents incidents susceptibles de se produire dans leurs installations. Ces informations ont largement été complétées par des discussions avec M. SERVAIS, responsable du club biogaz de l'ATEE. Les incidents/Accidents rapportés ci-dessous se sont produits dans les installations agricoles ou dans des installations industrielles.

### **Débordement du méthaniseur**

Ce type d'incidents se produit assez régulièrement en Allemagne (estimation de 3 à 4 fois par an). Il peut être dû à un mauvais fonctionnement du méthaniseur : par exemple, si le volume utile de celui-ci est réduit pour une raison quelconque (formation d'une zone sableuse par exemple), les entrants n'ont plus le temps de se dégrader et le méthaniseur est alors susceptible de déborder.

La soupape se déclenche alors mais n'est pas dimensionnée pour évacuer la phase liquide. De plus, il est alors important de la nettoyer après ce type d'événement pour qu'elle ne puisse pas rester bloquée.

Ce risque de débordement est difficile à prévenir de manière certaine : il faut contrôler les entrants pour éviter qu'une matière non dégradable du type sable ne puisse s'accumuler au fond du méthaniseur. Il est également indispensable de concevoir les installations pour s'assurer qu'un débordement ne puisse pas se produire à l'intérieur d'une zone confinée.

### **Surpression interne à l'intérieur du méthaniseur**

Deux événements, survenus en Allemagne et en Espagne, impliquant la formation d'une surpression interne responsable du déversement à l'extérieur du contenu du méthaniseur, nous ont été rapportés. Les circonstances ont été établies dans un des deux cas : des matières plastiques s'étaient accumulées à l'intérieur du méthaniseur jusqu'à former une couche étanche à la surface de la phase liquide. La réaction de fermentation s'est poursuivie, mais le gaz ne pouvant plus parvenir dans le ciel du méthaniseur, s'est accumulé dans la partie basse.

La surpression engendrée par cette accumulation est responsable de l'éclatement du méthaniseur et de la projection de morceaux de béton à plusieurs mètres ainsi que de l'épandage des matières présentes à l'intérieur du méthaniseur sur le sol. Il faut souligner que les soupapes, situées en partie haute, sont inutiles pour prévenir ce type d'incident et que les mesures préventives les plus efficaces sont le contrôle des entrants et un brassage continu à l'intérieur du méthaniseur. Une panne du brassage peut donc avoir des conséquences importantes.

### **Rupture d'une canalisation de biogaz à l'intérieur d'une enceinte confinée**

A la suite d'une erreur de manipulation, les deux vannes situées aux extrémités d'une canalisation véhiculant du biogaz et située à l'intérieur d'un local technique, sont restées fermées : la canalisation s'est alors fendue et le biogaz s'est répandu à l'intérieur du local technique.

### **Gel des soupapes du méthaniseur**

Il est plusieurs fois arrivé que les soupapes d'un méthaniseur gèlent et ne soient donc plus en état de fonctionner. Il est donc particulièrement important que ces soupapes disposent d'un dispositif antigel.

### **Disposition des soupapes**

Nous avons été surpris de constater que sur plusieurs installations, les soupapes des méthaniseurs débouchaient directement sur des lieux de passage utilisés par les exploitants ou par les visiteurs (sans aucune précaution d'ailleurs). Du biogaz étant susceptible d'être dégagé au niveau de ces soupapes, il nous paraît essentiel de choisir l'emplacement de ces soupapes de façon à éviter la présence de toute personne à proximité de celles-ci.

### **Envol de la membrane souple d'un méthaniseur industriel**

La membrane souple d'un méthaniseur industriel (équipé d'une membrane simple) s'est envolée libérant ainsi le biogaz stocké à l'intérieur. Cet incident n'a pas eu de conséquence. La membrane était fixée par un « boudin » rempli d'air, comprimé à une pression comprise entre 5 et 8 bars. Une violente tempête a provoqué la sortie du boudin de sa gorge et donc l'envol de la membrane

Ce type de fixation de la membrane se rencontre fréquemment dans le cas des méthaniseurs agricoles. Il est donc nécessaire de prendre ce type d'événement en considération. Les causes pouvant être à l'origine d'un tel événement sont nombreuses : mauvais gonflage/dégonflage du boudin rempli d'air (panne d'alimentation du système pneumatique, acte de malveillance du type perçage au couteau du boudin), tempête. Il nous paraît alors nécessaire pour prévenir ce type d'événement que la membrane soit retenue par deux boudins emplis d'air et qu'un dispositif de sécurité soit mis en place (redondance du système par exemple) en cas de panne de l'alimentation en air comprimé du boudin.



## **6. ETUDE DES RISQUES ACCIDENTELS**

### **Tableau d'analyse des risques**

Afin d'identifier les principaux risques liés à l'exploitation des méthaniseurs agricoles ainsi que les principales barrières (techniques et/ou organisationnelles) à mettre en place, une analyse des risques « générique » sur une installation type a été réalisée.

Les différents éléments de l'installation type de méthanisation agricole considérés sont les suivants :

1. Le digesteur, le post digesteur et le réservoir de stockage
2. Les canalisations transportant le biogaz,
3. Les canalisations transportant les substrats,
4. La pré-fosse de pré-mélange,
5. Les éléments de combustion, de production d'électricité et de chaleur,
6. La torchère,
7. La fosse de digestat,

Une analyse des risques ne peut, en principe, porter que sur une installation spécifique en tenant compte du contexte local de celle-ci. Cette analyse des risques n'a donc pas pour but d'être exhaustive.

Elle a été réalisée sur la base des installations visitées et à partir des éléments recueillis au cours de nos visites sur sites. Elle a consisté à réaliser les deux étapes suivantes :

Identifier de façon la plus exhaustive possible les phénomènes dangereux qualifiés d'accidents majeurs,

Lister les barrières (techniques et/ou organisationnelles) de prévention et/ou de protection, mises en place ou à mettre en place, qui agissent sur le scénario d'accident identifié.

Contrairement à ce qui est réalisé au cours d'une analyse de risques classique, nous n'avons pas coté les phénomènes dangereux identifiés que ce soit en terme d'intensité ou de probabilité d'occurrence. Cette cotation dépend en effet de la nature du procédé, des produits, des équipements, des quantités mises en œuvres et des barrières de prévention et de protection mises en place. Il n'est donc pas possible de la réaliser dans le cadre de cette étude générique.

Le but de cette étape de cotation est de sélectionner les phénomènes dangereux pouvant avoir des distances d'effets (tels qu'énoncés dans l'Arrêté du 29 septembre 2005) hors du site. De cette cotation ressortent deux classes de phénomènes dangereux : ceux qui ont des effets estimés internes au site et ceux ayant des distances d'effets estimés hors du site.

Le tableau de cette analyse des risques générique est présenté ci-après.

Les 6 phénomènes dangereux retenus dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- Vapour Cloud Explosion (VCE),
- Dispersion toxique,
- Pollution des sols,
- Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE),
- Surpression interne,
- Feu torche.

Ces phénomènes dangereux sont décrits au cours des paragraphes suivants.

Les valeurs de référence et seuils critiques retenus par l'INERIS pour le calcul des conséquences accidentelles sont donnés en annexe 3.

Particularité de l'installation	Principales causes possibles	Evénement Redouté central	Phénomènes Dangereux	Barrières de sécurité	Remarques
<b>1. Digesteur et post digesteur</b>					
	<p>Entrée d'air à l'intérieur du digesteur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- travaux à l'intérieur du digesteur (opération de curage) alors qu'il reste du biogaz,</li> <li>- entrée d'air par la soupape (dépression à l'intérieur, soupape défaillante, dérèglement débit d'air d'entrée traitement H<sub>2</sub>S...)</li> </ul>	Formation ATEX à l'intérieur du digesteur	<p>VCE (1) dans le digesteur si présence d'un point d'inflammation (effets de surpression et projections des morceaux de béton) provoquant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dispersion H<sub>2</sub>S toxique (2)</li> <li>- rejet substrat à l'extérieur (3) (pollution sols et eaux)</li> </ul>	<p>- Procédure d'intervention rédigée par le constructeur pour le curage</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- S'assurer de l'absence de biogaz avant intervention (ventilation, détection gaz ...)</li> <li>- Limiter au maximum la formation H<sub>2</sub>S dans le biogaz (injection d'air par ex.)</li> <li>- Matériel ATEX</li> <li>- Mesure de O<sub>2</sub> en continu dans les gaz en sortie du post-digesteur avec asservissement à l'injection d'air</li> </ul>	<p>Si digesteur en béton : installer un évent d'explosion convenablement dimensionné</p>
	Mise en dépression du digesteur (pas de production gazeuse ou canalisation d'entrée bouchée) : rupture	Rupture au niveau de l'enveloppe et rejet de biogaz vers l'extérieur	explosion de gaz à l'air libre si présence d'un point d'inflammation (4) (UVCE, effets thermiques) (2), (3)	<p>- Capteur de pression avec asservissements à pression basse</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Soupapes dépression avec plan de maintenance (vérification régulière)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dimensionnement adapté des soupapes</li> <li>- si soupape à garde hydraulique : vérifier la présence d'eau</li> </ul>

Particularité de l'installation	Principales causes possibles	Evénement Redouté central	Phénomènes Dangereux	Barrières de sécurité	Remarques
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bouchage des canalisations en sortie</li> <li>- soupape défaillante (obturation)</li> <li>- arrêt du brassage (formation de croûte à la surface) (surpression en-dessous de la croûte)</li> </ul>	<p>Surpression interne</p> <p>Rejet par la soupape de biogaz vers l'extérieur</p>	<p>éclatement digesteur (projection de morceaux de béton) (5) provoquant (2) et (3)</p> <p>feu torche si présence d'un point d'inflammation (6), (4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soupapes surpression avec plan de maintenance</li> <li>- Capteur de pression avec détection pression haute</li> <li>- Rétention si localisation de l'installation dans zone sensible d'épandage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la soupape est inefficace en cas de formation d'une croûte zonage ATEX à proximité des soupapes</li> </ul>
	<p>Ouverture de la vanne de vidange du digesteur (malveillance, défaillance vanne)</p>	<p>Pollution sols et eaux</p>	<p>(3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redondance et verrouillage vanne</li> <li>- Rétention</li> </ul>	
	<p>Sur-remplissage (bouchage canalisation, débit d'entrée trop important...)</p>	<p>Débordement du digesteur par les soupapes avec possible rupture de la membrane</p>	<p>(2), (3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure de niveau et des débits d'entrée et de sortie du substrat avec asservissement à l'introduction des entrants</li> <li>- Mesure débits d'entrée et de sortie du biogaz avec envoi du biogaz à la torchère</li> <li>- Rétention si localisation de l'installation dans zone sensible d'épandage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- en séchant le digestat peut obstruer les soupapes</li> </ul>
	<p>Enveloppe béton ou liner fuyard</p>	<p>Epandage digestat</p>	<p>(2), (3)</p>	<p>Rétention si localisation de l'installation dans zone sensible d'épandage</p>	
<p>Membrane souple maintenue par des</p>	<p>Dégonflement/crevaison du boudin (tempête,</p>	<p>Sortie du boudin de la gorge et envoi de la</p>	<p>(4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redondance des boudins pour retenir la membrane</li> </ul>	

Particularité de l'installation	Principales causes possibles	Evénement Redouté central	Phénomènes Dangereux	Barrières de sécurité	Remarques
« boudins » gonflés à l'air	panne du système d'alimentation pneumatique du boudin, crevaisson (accident, malveillance...)	membrane provoquant la formation d'une ATEX au-dessus du digesteur		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Boudins compartimentés</li> <li>- Dispositif d'alimentation redondant en cas de panne de l'alimentation en air (ventilation secourue)</li> <li>- Matériel ATEX à proximité</li> <li>- Procédure de remplacement des boudins</li> </ul>	
Simple membrane	Trou dans la membrane (usure, corrosion, agression externe...)	Perte d'étanchéité de la membrane et rejet de biogaz à l'extérieur	(4)		Voir essais du TÜV
Post-digesteur à double membrane	Trou dans la membrane interne (usure, corrosion...)	Perte d'étanchéité de la membrane interne provoquant la formation d'une ATEX dans l'espace inter membranaire	(1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériel ATEX à l'intérieur</li> <li>- Mesure de O<sub>2</sub> en continu dans les gaz en sortie du post-digesteur</li> </ul>	La mesure de O <sub>2</sub> est déjà réalisée pour le suivi du process.
<b>2. Canalisations biogaz</b>					
	Rupture externe, travaux) (agression	Rejet de biogaz à l'extérieur	(2), (4), (6)		
	Equipement de canalisation défaillant (usure, corrosion, ...) provoquant une perte d'étanchéité	Rejet de biogaz à l'extérieur	(2), (4), (6)	- Maintenance préventive	Les canalisations véhiculant du biogaz ne doivent pas passer (autant que possible) à l'intérieur d'emplacements confinés.

3. Canalisation substrat					
Situées à l'extérieur	Rupture externe, travaux), erreur opératoire, perte d'étanchéité...	rejet du substrat susceptible de former du biogaz	(2), (3), (4)	- Rétention si localisation de l'installation dans zone sensible d'épandage  - Ventilation	Plan de circulation, travaux...
Situées dans un espace confiné			(1), (2)		En fonction de la canalisation et du lieu, le biogaz peut contenir plus ou moins de H <sub>2</sub> S d'où la nécessité des 2 types de détection
4. Préfosse / prémélange					
	Mauvais / absence de contrôle des entrants	Incompatibilité chimique entre les produits	(2)	- Contrôle des entrants des réactions possibles  - Identification des réactions possibles	- Pas de modifications des entrants sans vérification au préalable
	Amorçage des réactions de fermentation	Formation d'une ATEX à l'intérieur de la préfosse	(1) provoquant (2), (3)	- Matériel ATEX	Les réactions de fermentation peuvent être amorcées dans cette préfosse/prémélange
	Rupture de l'enveloppe (agression externe ou remplissage sur-canalisation)	Epandage du contenu	(2), (3)	- Rétention - Contrôle du débit d'entrée - Contrôle des débits d'entrée et de sortie	

5. Combustion/production électricité/chaleur					
Intérieur du local de technique de combustion	Agression externe	arrêt de production par destruction d'équipements	Aucun si gaz dirigé vers la torchère	- Détection pression asservissement torchère - Ventilation - Raccords souples anti-vibrations - Détection CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S	Les torchères n'étaient pas toujours installées : dans ce cas le biogaz est rejeté à l'atmosphère.
	Rupture canalisation d'alimentation en biogaz (agression externe, erreur maintenance, vibrations...)	Formation ATEX dans le local	(1), (2)		
6. Torchère					
	Arrêt du brûleur avec continuité d'admission de biogaz	sortie de biogaz imbrûlé	(2)	Détecteur de flamme	
	Extinction de flamme puis rallumage torchère avec gaz résiduel encore présent	retour de flamme en aval du process	propagation de flamme aux équipements amont	Ventilation préalable au rallumage ou arrêt flammes	
7. Fosse de digestat					
	Rupture de l'enveloppe (agression externe ou travaux), suremplissage bouchage canalisations	Epanchage du contenu	(2), (3)	- Rétention - Contrôle des débits d'entrée et de niveau	

## **6.1 EXPLOSIONS D'UNE ATEX ( PHENOMENES DE VCE ET D'UVCE)**

### **6.1.1 GENERALITES SUR LES RISQUES D'EXPLOSION DANS LES INSTALLATIONS**

#### **6.1.1.1 RISQUES DE FORMATION D'UNE ATEX**

Compte tenu de l'existence d'un domaine d'explosivité pour toute atmosphère constituée d'air, de biogaz et éventuellement saturée en vapeur dans les domaines de températures considérée, il est possible d'affirmer qu'il existe un risque de formation d'une ATEX dans chacune des installations mettant en œuvre du biogaz.

Les installations d'un site vont différer par leurs conditions de fonctionnement et par le fait qu'une ATEX est susceptible de s'y former :

en espace entièrement confiné ou partiellement confiné (Vapour Cloud Explosion, VCE).

ou à l'air libre (Unconfined Vapour Cloud Explosion, UVCE).

#### **6.1.1.2 SOURCES D'INFLAMMATION D'UNE ATEX**

##### **6.1.1.2.1 GENERALITES**

Les sources d'inflammation à considérer, qu'elles soient internes ou externes au procédé, sont de deux types :

- continues, comme les surfaces chaudes,
- instantanées, c'est le cas des étincelles électriques, électrostatiques ou mécaniques.

##### **Sources continues :**

Le risque d'inflammation par surface chaude doit être apprécié au regard de la valeur de la TAI (soit 535°C dans le cas du biogaz, cf § 4).

Ce type de source d'inflammation peut provenir de surfaces de moteurs, de pièces en mouvement s'échauffant par friction...

##### **Sources instantanées :**

La valeur de l'énergie minimale d'inflammation (EMI) des produits renseigne sur les types de sources d'inflammation instantanées à considérer.

Les étincelles électrostatiques, ainsi que les étincelles électriques et mécaniques très énergétiques sont susceptibles d'enflammer les atmosphères explosives résultant du mélange du biogaz avec de l'air.

##### **Sources externes au procédé :**

Les sources d'inflammation externes au procédé, comme les flammes nues et les travaux par point chauds de type soudure sont également à même d'être à l'origine d'un incendie ou d'une explosion dans l'installation.

**La foudre ou des actes de malveillance peuvent également être des sources d'inflammation. Les installations devront donc être correctement protégées contre la foudre.**

Il n'est pas exclu par ailleurs que l'hydrogène sulfuré présent dans le biogaz puisse réagir avec des pièces métalliques contenant du fer, pour former du sulfure de fer ; or, ce produit est réputé pour avoir des propriétés pyrophoriques, c'est-à-dire pour s'enflammer spontanément au contact de l'air : un tel phénomène pourrait alors constituer la source d'inflammation d'une ATEX. **Il est donc souhaitable d'éviter l'usage de matériaux subissant la corrosion de la part des produits soufrés, comme par exemple « l'acier au carbone ».**

#### 6.1.1.2.2 RECENSEMENT DES SOURCES D'INFLAMMATION POSSIBLES DES ATEX

Les principales sources d'inflammation peuvent provenir :

- du matériel électrique ou non-électrique non protégé. Celui-ci doit donc être conforme à la réglementation ATEX. Les températures de surface des équipements devront également être vérifiées. Le mélangeur dans le digesteur ne devra être mis en service qu'une fois submergé.
- des travaux générant des étincelles à proximité de l'enceinte : des permis de feu doivent être délivrés avant qu'un tel travail puisse être effectué.
- la foudre, si elle frappe l'enceinte : celle-ci doit être convenablement protégée. La foudre peut également être responsable de l'inflammation de l'ATEX formée à proximité des soupapes de surpression..
- une agression extérieure : éventuellement le tir d'une balle de fusil traversant l'enveloppe du méthanieur ou la projection d'un véhicule contre celle-ci.

#### 6.1.2 EFFETS CONSECUTIFS A L'INFLAMMATION D'UNE ATEX

Les effets de l'explosion d'une ATEX sont de deux natures distinctes :

- Des effets thermiques qui sont liés au fait que, dans la flamme, les gaz de combustion se trouvent portés à plusieurs milliers de degrés Celsius ; du fait de l'expansion des gaz d'explosion, le **volume qu'ils occupent peut être 10 fois supérieur à celui de l'ATEX initiale**. L'effet thermique de l'UVCE est dimensionné par la distance à la LIE. De manière générale, l'effet thermique d'un UVCE sur les structures se limite à des dégâts superficiels (déformation des plastiques, décollement des peintures, ...), et, éventuellement, à une fragilisation possible de certaines structures métalliques légères. En revanche, l'UVCE peut être initiateur d'un incendie, ou être suivi d'un feu torche, dont les effets thermiques sont à redouter.

- Des effets mécaniques qui résultent de l'expansion des gaz d'explosion et dont l'intensité dépend du niveau d'encombrement de l'ATEX : c'est ainsi que, si l'ATEX est contenue dans un confinement (VCE), la pression augmente jusqu'à une dizaine de bars au maximum ou jusqu'à la rupture éventuelle du confinement si la résistance mécanique est inférieure à la pression maximale d'explosion (la projection de débris du confinement qui résulte de sa rupture est une autre forme d'effets mécaniques) ; au contraire, à l'air libre (UVCE), l'expansion des gaz d'explosion se fait aisément et il n'y a pas d'effets de pression importants (quelques centaines de Pa au maximum ) ; enfin, en milieu encombré ou partiellement confiné, une explosion peut produire des ondes aériennes dont l'intensité,

- Pour une distance donnée, dépend du volume de l'ATEX et du niveau d'encombrement,
- Pour un volume d'ATEX et un encombrement donnés, décroît avec la distance au centre de l'ATEX.

Cette onde aérienne peut être suffisamment intense pour produire des effets mécaniques tels que des dégâts aux structures, la projection de débris et des blessures aux personnes.

### **6.1.3 CARACTERISATION DES PRINCIPAUX RISQUES DE FORMATION D'UNE ATEX**

Dans ce chapitre, nous examinons en détail les principales situations susceptibles de conduire à la formation d'une ATEX ainsi que les principales mesures à prendre pour éviter l'occurrence d'un tel événement.

Nous insistons cependant encore une fois sur le fait qu'une analyse de risques spécifique doit être réalisée pour chaque installation.

#### **6.1.3.1 CAS DES CAPACITES DE STOCKAGE (DIGESTEUR, POST-DIGESTEUR, RESERVOIR)**

A l'intérieur des enceintes de stockage, le biogaz est généralement stocké à basse pression, (quelques dizaines de millibars). A l'intérieur, il n'y a pas d'air en fonctionnement normal et donc pas d'ATEX.

Ces enceintes sont aujourd'hui souvent à membrane simple ou double.

##### **✓ Cas d'une enceinte équipée d'une double membrane**

C'est aujourd'hui le cas le plus rencontré.

Le principal risque de formation d'une ATEX provient d'une perte d'étanchéité de la membrane interne provoquant un mélange entre le biogaz stocké et l'air contenu entre les deux membranes. Les ventilateurs assurant la circulation de l'air dans l'espace inter membranaire faciliteront alors le mélange de ces deux gaz.

L'événement majorant pouvant se produire est, à travers un orifice de fuite plus ou moins important et après un temps plus ou moins long, le mélange de la totalité du biogaz stocké avec de l'air en quantité suffisante pour être dans les conditions stœchiométriques.

La perte d'étanchéité simultanée des deux membranes (due à un projectile type balle de fusil par exemple), provoquerait la formation d'une ATEX à l'intérieur de l'enceinte. Celle-ci serait ensuite déchargée vers l'extérieur à en raison de la surpression. Cette surpression étant relativement faible et l'enceinte étant située à l'extérieur, l'ATEX serait diluée par l'air ambiant à proximité de l'orifice de fuite.

✓ Cas d'une enceinte équipée d'une simple membrane

La perte d'étanchéité de la membrane provoquerait une fuite de biogaz vers l'extérieur : comme dans le cas précédent, lors de la rupture des deux membranes, la surpression étant relativement faible et le post-digesteur étant situé à l'extérieur, l'ATEX serait diluée par l'air ambiant à proximité de l'orifice de fuite.

Un cas particulier pour lequel il faut prendre des précautions est celui où la membrane est soudainement retirée, ce qui peut provoquer un mélange rapide du biogaz stocké et de l'air avec l'éventuel risque de formation d'une ATEX à proximité du post-digesteur si celle-ci n'est pas rapidement diluée par l'air.

**Remarque** : Les résultats de tests aux feux sur un stockage de biogaz réalisés pour le compte d'un concepteur d'installations de biogaz agricoles, la société Agrikomp GmbH, sont présentés en Annexe 4. Le volume du digesteur étudié est de 320 m<sup>3</sup> et le stockage du biogaz est de 100 m<sup>3</sup>. L'épaisseur des membranes souples en EPDM est de 1,2 mm. Le test au feu a été réalisé à l'aide de différentes sources d'énergie.

Les conclusions sont les suivantes, pour ce type de membrane et de réservoir (une seule membrane souple) :

- aucun effet n'a été observé lors des essais d'inflammation ponctuelle par des matériaux incandescents (cigarette, fer rouge) ainsi que par les décharges de clôture électrique,
- la membrane brûle localement lorsqu'elle est soumise de manière continue à des matériaux enflammés. Le biogaz est déchargé vers l'extérieur à travers l'orifice de fuite sans que la source de chaleur ne provoque une explosion car le volume d'ATEX formé est très faible à proximité de l'orifice.

Mesures de prévention :

Pour éviter la propagation d'une explosion d'une installation à l'autre, les canalisations véhiculant du biogaz devront être munies de dispositifs arrête-flammes en amont de chaque brûleur et entre les différentes enceintes (entre les digesteurs et entre le digesteur et le réservoir à gaz).

De plus, il faut également installer dans ces canalisations des vannes de sécurité en amont des parties d'installation destinées à la production, au stockage et au traitement ou à l'exploitation de biogaz.

### 6.1.3.2 CAS DES CANALISATIONS

Deux types d'événements sont à envisager au cours du fonctionnement normal :

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

Le principal risque de formation d'ATEX est lié à des défauts d'étanchéité de brides, vannes ou joints qui provoqueraient une fuite de gaz, déchargé dans l'air ambiant.

En effet, comme toutes les canalisations sont sous pression, un élément fuyard entraîne la décharge du biogaz dans l'air et la formation d'une ATEX à proximité de cet élément.

Par contre, à cause de la surpression à l'intérieur des canalisations, l'air ne peut pas y pénétrer et il n'y a donc pas à craindre de formation d'ATEX à partir d'air qui viendrait de l'extérieur des canalisations.

Les phases transitoires (mise en route, arrêt lors de la maintenance...) doivent être examinées avec précaution et des procédures très strictes doivent être définies et suivies afin qu'une ATEX ne puisse pas se former à l'intérieur des canalisations lors de ces différentes phases.

#### Mesures de prévention

- Lorsque des travaux sont prévus, il est important d'établir des permis de travaux et de contrôler la position des canalisations avant d'effectuer ceux-ci.
- Les canalisations devront être constituées de tronçons soudés dans la mesure du possible.
- Les canalisations véhiculant du biogaz ne devront pas passer à l'intérieur des bâtiments.
- Un limiteur de débit devra être installé en amont du local de combustion. La détection d'une chute de pression devra immédiatement stopper l'alimentation en biogaz. Cette mesure permet de limiter les risques de fuites massives à l'intérieur de ce local.

### 6.1.3.3 CAS DES INSTALLATIONS OU UNE ATEX PEUT SE FORMER EN ESPACE CONFINE OU SEMI-CONFINE : CAS DU LOCAL TECHNIQUE DE COMBUSTION

Ce type d'ATEX peut se présenter dans les locaux où du biogaz est mis en œuvre, ce qui est principalement le cas du local technique de combustion. Elle résulte alors d'un dysfonctionnement quelconque des installations (une fuite notamment), car elle n'est pas censée se former en fonctionnement normal. Le volume de l'ATEX formée peut être très variable selon le délai qui s'écoule entre le moment où le dysfonctionnement se produit et permet la formation de l'ATEX et le moment où,

- soit le dysfonctionnement est constaté et des mesures sont prises pour supprimer l'ATEX avant son inflammation,

- soit l'ATEX est enflammée, après accumulation et avant que le dysfonctionnement soit constaté, ce qui déclenche une explosion à l'intérieur du confinement (Phénomène de VCE).

Une démarche de maîtrise des risques applicable à ce type d'emplacement est décrite dans ce paragraphe.

Elle a pour but de déterminer les mesures de sécurité à mettre en œuvre à l'intérieur de ce local. Le principal événement accidentel susceptible de se produire est une perte de confinement de la canalisation biogaz. Les mesures à mettre en œuvre pour prévenir le risque d'explosion et le risque de toxicité accidentelle, dépendent du type de fuite envisagé (diamètre de la brèche).

#### 6.1.3.3.1 VENTILATION ET DETECTION

Trois types de scénarios peuvent être envisagés en cas de fuite de biogaz. Les moyens de prévention qui doivent être retenus dépendent alors du scénario considéré.

Ces trois types de scénarios sont :

- **fuite de bride ou de joints** : Il correspond à des scénarios « relativement prévisibles », retenus dans le cadre des études permettant de dimensionner des zones à risques d'explosion selon la réglementation ATEX.

Le moyen de prévention le plus approprié pour ce type de fuite est **la ventilation**. Le biogaz déchargé dans le local est ainsi dilué par l'air et sa teneur ne peut alors pas atteindre les seuils de toxicité et d'explosion.

- **scénario de type rupture guillotine** : ce type de scénario majorant est très peu probable. Les conséquences d'un tel événement vont être particulièrement importantes dans un espace confiné tel que le local technique de combustion. Lors de tels scénarios, les quantités de biogaz rejetés seraient rapidement très importantes et provoqueraient une chute de pression dans les canalisations. Le meilleur moyen de prévention pour se prémunir de tels événements est donc la mise en place d'un dispositif détectant les chutes de pression du type **pressostat** en amont de ce local, asservi à la coupure de l'alimentation en biogaz.

La mise en place de détecteurs gaz ne seraient pas pertinents car le temps de réponse serait trop important par rapport à la cinétique du phénomène.

- **scénario de type rupture de piquage** : ce type de scénario se situe entre les deux autres scénarios. Il possède une probabilité d'occurrence non nulle et peut être retenu dans l'un ou l'autre des deux cadres précédents en fonction des résultats de l'analyse des risques. Nous avons considéré dans cette étude que ces scénarios pouvaient correspondre à des orifices de décharge circulaires pouvant atteindre un ou deux centimètres de diamètre.

Dans le cas de ces fuites en volume confiné, une ATEX est susceptible de se former relativement rapidement. De gros volumes d'ATEX sont donc susceptibles de s'accumuler en fonction de la durée de la fuite.

De plus, la chute de pression engendrée par ces fuites n'est pas suffisamment importante pour pouvoir être détectée à l'aide d'un détecteur de chute de pression. Dans ce cas les moyens de prévention qui nous paraissent les plus adaptés sont soit l'usage de **détecteurs de gaz** et l'asservissement de leur signal à la coupure de l'alimentation soit la mise en place **d'un débit de ventilation** suffisant pour que la teneur en biogaz reste inférieure à 25% de la LIE dans le cas d'un tel événement.

✓ Applications Numériques :

Nous avons tout d'abord calculé à l'aide du logiciel PHAST les débits de fuite en biogaz pour chacun des scénarios décrits ci-dessus dans le cas de conditions relativement courantes.

- Pour le risque d'explosion, nous en avons alors déduit le débit de ventilation minimum nécessaire pour que la concentration en gaz à l'intérieur des locaux reste inférieure à 25% de la LIE du biogaz. Cette valeur se calcule alors selon la relation (1) suivante :

$$Q_{\text{ventilation}} \geq Q_{\text{gaz}} \times \frac{400}{LIE} \quad (1)$$

où  $Q_{\text{ventilation}}$  : Débit de ventilation nécessaire

$Q_{\text{gaz}}$  : Débit de fuite du biogaz

- Pour le risque d'intoxication accidentel, nous avons comparé les débits de produits toxiques (valeurs calculées par PHAST) avec les valeurs toxicologiques de référence (SEI – 10 min). Pour cela, nous avons utilisé la composition moyenne du biogaz épuré donné dans la partie descriptive.

Les hypothèses retenues pour les calculs de débits de gaz sont les suivantes :

- Pression de mise en œuvre du biogaz : 50 mbars
- Température : 30°C
- Diamètre de la fuite : 1 mm
- Composition du biogaz : 60% CH<sub>4</sub> / 40% CO<sub>2</sub>
- Coefficient de perte de charge : 0,61
- Diamètre de l'orifice de fuite :
  - Fuite de bride : 1 mm
  - Rupture guillotine : 200 mm
  - Rupture de piquage : 20 mm

Les résultats sont donnés dans le Tableau 8 ci-dessous :

Scénario de fuite	Diamètre de la fuite (mm)	Débit de fuite (Nm <sup>3</sup> /h)
Fuite de bride ou de joint	1	0,16
Rupture de piquage	20	57,2
Rupture guillotine	200	5718

Tableau 8 : Résultats des calculs de débits de gaz par le logiciel PHAST en fonction du diamètre de fuite

✓ Dimensionnement à prévoir pour la ventilation :

Scénario de fuite	Débits minimums de ventilation pour que la teneur en biogaz reste inférieure à 25% de la LIE à l'intérieur d'un local (m <sup>3</sup> /h)	Débits minimums de ventilation pour que la teneur en H <sub>2</sub> S reste inférieure à la SEI – 1 min soit 320 ppm à l'intérieur d'un local (m <sup>3</sup> /h)
	RISQUE D'EXPLOSION	RISQUE TOXIQUE
Fuite de bride ou de joint	6,3	3,2
Rupture de piquage	2287	1144
Rupture guillotine	228 720	114 360

Tableau 9 : Résultats des calculs de débits de ventilation

✓ Conclusions :

- **Scénario de type fuite de bride ou de joint :** Il apparaît que la ventilation naturelle est largement suffisante, y compris dans un local de faible dimension, pour diluer par de l'air le biogaz déchargé lors d'une fuite de bride ou de joint.
- **Scénario de type rupture guillotine :** Le débit de ventilation à imposer est beaucoup trop important : il est alors nécessaire d'installer un système de type pressostat pour couper l'alimentation en biogaz en cas d'une telle fuite.
- **Scénario de type rupture de piquage :** 2 solutions s'offrent à l'exploitant :
  - soit installer un système de ventilation forcé et secouru permettant d'assurer un débit d'air suffisant ( > 2287 m<sup>3</sup>/h ) pour que la teneur en méthane reste inférieure à 25% de la LIE et la teneur en H<sub>2</sub>S reste inférieure au SEI (1 min) dans le cas d'un tel événement.
  - soit installer un détecteur de méthane à l'intérieur du local asservi à la coupure de l'alimentation en biogaz.

Dans le cas d'un fonctionnement normal de la désulfuration (concentration en H<sub>2</sub>S < 100 ppm), le seuil de 25% de la LIE du méthane correspond à 1,7 ppm de H<sub>2</sub>S, valeur inférieure au SEI (320 ppm). **La détection du méthane à l'intérieur du local suffit donc à prévenir des risques de formation d'une ATEX et d'une atmosphère toxique.**

✓ Remarques importantes :

- Dans le cas des fuites de brides ou de joints, nous notons que la ventilation naturelle suffit à rendre l'atmosphère non toxique, en terme de toxicité accidentelle. Néanmoins, au niveau de la toxicité non accidentelle, l'atmosphère du local en présence de H<sub>2</sub>S, même en très faible concentration, ne doit pas devenir une ambiance de travail dite « normale ». Pour cela, nous préconisons une maintenance préventive et le contrôle régulier de l'atmosphère du local à l'aide de détecteurs portatifs de H<sub>2</sub>S. Pour mémoire, nous rappelons aussi que le seuil de détection olfactive est de l'ordre de 0,008 ppm. Des faibles concentrations de H<sub>2</sub>S sont donc susceptibles d'être détectées à l'odorat par les opérateurs. Cependant, cette mesure ne peut pas être considérée comme une barrière de sécurité fiable, notamment du fait de la variabilité des sensibilités olfactives entre les personnes .
- Dans le cas des fuites de type rupture de piquage, les calculs ont été réalisés avec une concentration de H<sub>2</sub>S égale à 100 ppm, ce qui correspond au biogaz correctement épuré. En cas d'un dysfonctionnement du procédé de désulfuration, des teneurs beaucoup plus importantes en H<sub>2</sub>S peuvent être attendues. La détection de méthane peut alors ne plus être adaptée, le seuil de toxicité (SEI) pouvant alors être atteint avant celui du méthane, à 25% de la LIE.

Pour palier ces défauts, il faut avoir une certaine fiabilité (niveau de confiance) et de bonnes connaissances (retour d'expérience) du système de transformation de H<sub>2</sub>S. Dans le cas contraire, une détection permanente de H<sub>2</sub>S est préconisée.

A noter : D'après ses propriétés physico-chimiques, l'H<sub>2</sub>S est un poison et/ou un interférant pour les capteurs de type catalytique, technologie souvent utilisée pour la détection de CH<sub>4</sub>.

Il n'existe pas de norme spécifique aux détecteurs de H<sub>2</sub>S, la seule norme concernant la détection de gaz toxique est la norme NF EN 45544. Cette dernière est uniquement destinée à donner les exigences et performances des appareillages électriques utilisés pour la détection directe des vapeurs et gaz toxiques et le mesurage direct de leur concentration.

- Cas de la Ventilation :
  - Les ouvertures de ventilation doivent être dégagées et ne doivent pas pouvoir être fermées.

- Dans le cas d'une ventilation naturelle, l'arrivée d'air doit se faire au niveau du sol et l'évacuation d'air dans le mur opposé à proximité du plafond.
- Dans le cas d'une ventilation forcée, l'évacuation d'air doit être réalisée par la zone plafond. L'arrivée d'air peut être située indifféremment au niveau du sol ou du plafond.
- Il est nécessaire de contrôler régulièrement (au moins une fois par an) le bon fonctionnement de la ventilation.

#### 6.1.3.3.2 AUTRES MESURES DE SECURITE A METTRE EN ŒUVRE

- Implantation de l'installation de combustion (chaudière ou unité de cogénération) dans un bâtiment annexe, dépourvu de locaux où sont susceptibles de séjourner des personnes,
- Il est nécessaire de pouvoir stopper le moteur manuellement à l'aide d'un dispositif type « coup de poing » situé à l'extérieur du local,
- De même, il est nécessaire de pouvoir couper l'arrivée de gaz manuellement à l'aide d'une vanne située à l'extérieur des installations,
- Utilisation de raccords souples anti-vibrations,
- Détection de chute de pression d'alimentation (dispositif type pressostat) asservi à la coupure en alimentation et à l'arrêt des installations électriques (attention, les dispositifs de sécurité type ventilation doivent continuer à fonctionner).

#### 6.1.3.4 CAS DES INSTALLATIONS OU UNE ATEX PEUT SE FORMER A L'AIR LIBRE

Dans le cas des installations où le biogaz peut être déchargé à l'extérieur (fuites de canalisations, bâches, ...), le débit du biogaz sera relativement faible, car la pression de mise en œuvre est faible (< 0.1 bar abs.). Le biogaz se dispersera dans l'air, au moins par effet de diffusion et aussi sous l'effet de la turbulence due au vent. L'ATEX formée ne peut alors pas s'accumuler et son volume restera très limité.

#### Mesures de prévention

- Pour limiter les dégagements de biogaz dans l'environnement et la formation d'ATEX à proximité des soupapes, l'utilisation d'une torchère est indispensable.

### **6.1.4 CLASSEMENT EN ZONES ATEX**

La réglementation ATEX (cf § 2) impose de classer les emplacements où des ATEX dangereuses sont susceptibles de se former. Elle a pour but d'empêcher l'inflammation des ATEX.

En principe, les zones doivent être identifiées et dimensionnées sur la base d'une évaluation des risques propre à chaque site. Cependant, étant donné le manque de personnel qualifié au sein des exploitations agricoles et l'importance de l'application de cette réglementation pour la prévention du risque majeur sur ce type d'installation, il nous paraît préférable de préconiser un classement des zones à risque d'explosion « générique ».

#### 6.1.4.1 CLASSEMENT EN ZONES PROPOSE PAR LES GUIDES ALLEMAND ET SUISSE (FAT)<sup>11</sup>

La prévention contre les risques d'explosion étant particulièrement importante dans la démarche de maîtrise des risques pour ce type d'installation, ces deux guides ont également jugé utile de proposer un classement en zones ATEX générique pour les différentes installations. Le guide allemand a même particulièrement développé cet aspect.

De plus, un exemple de « document relatif à la protection contre les explosions », dont la réglementation ATEX rend la rédaction obligatoire, est proposé par l'association allemande du biogaz (FVB).

Le guide Suisse (FAT) propose un classement en zones sommaire et ne donne pas d'indication sur le dimensionnement des zones autour du digesteur ou du réservoir de gaz. De plus, il propose une zone 0 à l'intérieur de la cuve de fermentation, ce qui ne correspond pas à la définition (présence d'une ATEX en permanence).

Le document allemand est beaucoup plus complet et propose de nombreux schémas (présentés en Annexe 5). Cependant, ce classement en zones nous paraît particulièrement complexe à mettre en œuvre.

#### 6.1.4.2 PROPOSITION DE CLASSEMENT EN ZONES

De manière générale, des ATEX ne sont susceptibles de se former que lors d'un dysfonctionnement, du type rentrée d'air à l'intérieur des équipements contenant du biogaz ou fuite de biogaz à l'extérieur : des zones 2 sont donc principalement identifiées.

L'INERIS recommande un classement en zones relativement proche de celui proposé par le document Allemand. Il existe cependant plusieurs différences :

- par souci de simplicité, il nous paraît judicieux de n'identifier qu'une seule zone 2 enveloppe de 3 m de rayon autour des enceintes contenant du biogaz plutôt que d'identifier des zones 2 autour de chacun des différents équipements où des pertes d'étanchéité sont les plus probables (trappes de maintenance, hublot...);
- du biogaz n'est rejeté par les soupapes que lors de dysfonctionnements relativement rares : il n'est donc pas nécessaire d'identifier une zone 1 à proximité des soupapes ;
- l'INERIS préconise également d'identifier une zone 2 à l'intérieur d'une préfosse de mélange si elle est confinée. En effet, le processus de méthanisation est susceptible d'être amorcé au cours de ce mélange et du méthane peut donc se former à l'intérieur de cette préfosse contenant de l'air ;

---

<sup>11</sup> Ces documents sont présentés au § 8.1.

- les seuls emplacements où des ATEX sont susceptibles de se former fréquemment sont la tubulure d'admission du moteur thermique ou de la chambre de combustion de la torchère de gaz : le document allemand préconise de les classer en zone 0. Il nous semble cependant peu pertinent d'imposer du matériel protégé dans des zones où il y a en permanence des sources d'inflammation (point chaud ou flamme nue). L'INERIS ne préconise donc pas de classement en zones pour ces emplacements.

A noter que ce classement est indicatif et doit pouvoir être modifié en fonction de la spécificité des installations et des barrières de prévention et/ou de protection mises en place.

Le classement en zones recommandé par l'INERIS comparé à ceux proposés par les guides Suisse et Allemand, est représenté dans le Tableau 10 ci-dessous.

Zones ATEX				
Equipement	Zone	INERIS	Document Allemand	Document Suisse
	Intérieur du digesteur/post-digesteur	2	2	0
Digesteur/post-digesteur	Proximité digesteur/post digesteur	2	2	2
			Autour des trappes de maintenance et de nettoyage, du hublot Zone 1 de 1 m entourée d'une zone 2 de 3 m autour des ouvertures de ventilation (arrivées et évacuations), du mélangeur	
	Intérieur du réservoir	2	2	0
Réservoir de biogaz	Proximité réservoir	2	2	2
			Zone enveloppe de rayon 3 m autour du réservoir	Pas de dimension proposée (« proximité directe du réservoir de biogaz ») Pas de distance indiquée
Locaux à l'intérieur desquels passent des canalisations véhiculant du substrat/digestat	Intérieur des locaux	- (si ventilation)	-	2
Soupapes de surpression	Proximité d'une soupape	2	Zone 1 de 1 m de rayon autour de l'orifice de dégagement de la soupape entourée d'une Zone 2 de 3 m de rayon	-

Equipment	Zone	Zones ATEX		
		INERIS	Document Allemand	Document Suisse
Local de combustion	Intérieur du local	- (si ventilation)	-	2
Préfesse de mélange fermée	Intérieur de la préfosse de mélange	2	-	-
Torchère	Proximité de la torchère	-	2 Zone enveloppe de rayon 3 m autour du brûleur	
Tubulure d'admission du moteur thermique ou de la chambre de combustion de la torchère de gaz	Intérieur	-	0	-

Tableau 10 : Synthèse des classements des zones à risques d'explosion proposés par l'INERIS, le document Allemand et le document Suisse du FAT

## 6.2 FEUX TORCHES

Un feu torche est provoqué par l'inflammation d'une fuite accidentelle de biogaz (par une surface chaude, une étincelle...). Après inflammation du jet, le feu torche s'établit et il en résulte une flamme de diffusion dont l'apparence dépend de la nature du combustible mais aussi de la vitesse du jet de biogaz par rapport à l'air ambiant. Le feu torche sera alimenté tant qu'il restera du biogaz.

Les feux torches proviennent en général d'une fuite à un raccord ou à une vanne ou de la rupture de canalisations. Ces fuites produisent des dards enflammés pouvant occasionner de graves avaries sur le reste de l'installation et donc conduire à une propagation de l'incendie ou provoquer de nouveaux accidents. Afin de se prémunir de tels événements, il est important de pouvoir prévoir et évaluer les conséquences associées aux feux torche. Pour ce faire, il est notamment nécessaire d'estimer les caractéristiques géométriques de la flamme et de déterminer le flux radiatif émis par la flamme.

Les feux torches, de par leur forte puissance thermique, peuvent entraîner sur des cibles touchées directement ou non par les flammes des effets thermiques dévastateurs. Afin de déterminer ces effets, il faut tenir compte de deux modes de transferts de chaleur : d'une part le rayonnement de la flamme et d'autre part, la convection forcée due à la vitesse de jet si la cible est prise à l'intérieur de la torche.

**Effets du rayonnement thermique sur l'homme :** ce sont essentiellement des brûlures dont les conséquences dépendent de la densité du flux thermique et du temps d'exposition.

Les mesures de prévention contre les feux torches sont identiques à celles proposées dans le paragraphe précédent consacré aux explosions d'ATEX.

## 6.3 ECLATEMENT D'UNE ENCEINTE

Lors de l'augmentation de la pression dans une enceinte, les parois les plus fragiles se rompent lorsque la contrainte ultime (de ruine) est atteinte. La rupture du confinement permet la libération de la pression contenue qui se traduit par la propagation externe d'une onde de pression aérienne (déplacement d'une surpression dans l'air). L'amplitude de l'onde aérienne produite par un éclatement pneumatique doit être fonction de la distance, de la taille du réservoir et de la surpression interne maximale.

Les conséquences de l'éclatement d'un réservoir contenant du biogaz sont :

- l'émission d'une onde de pression,
- la projection de fragments,
- la libération de gaz toxiques à l'extérieur.

La principale mesure de prévention contre ce type de phénomène est la mise en place de soupapes de surpression sur les enceintes contenant du biogaz. Il importe cependant de veiller à ce que ces soupapes soient toujours en état de fonctionner et qu'elles disposent notamment de dispositifs anti-gel.

## 6.4 DISPERSION TOXIQUE ACCIDENTELLE

### 6.4.1 PRINCIPE

Le risque toxique accidentel peut être caractérisé par :

- Une exposition unique (exposition forte)
- Une durée d'exposition : en général de 1-10 minutes à 8 heures
- Une voie principale d'exposition : voie respiratoire (salariés ou population générale)
- Une concentration pouvant engendrer des effets létaux, irréversibles ou réversibles
- Des effets toxiques aigus : atteintes locales et/ou systémiques

Concernant le biogaz, d'après la nature et la quantité des substances les composant, le risque toxique accidentel provient principalement de la présence d'hydrogène sulfuré. Néanmoins, nous incorporons aussi dans cette partie le risque d'anoxie qui peut être présent dans des locaux confinés.

### 6.4.2 SEUILS D'EFFETS TOXIQUES

L'Annexe 6 récapitule les seuils de toxicité pour les principaux composants du biogaz

Le tableau ci-dessous rappelle les seuils de toxicité pour les travailleurs des principaux gaz étudiés :

Substances	Concentration (ppm)	Valeurs toxicologiques retenues
H <sub>2</sub> S	320	SEI – 1 min
CO	1 200	IDLH
CO <sub>2</sub>	40 000	IDLH

Tableau 11 : Rappel des valeurs toxicologiques

### 6.4.3 RECOMMANDATIONS TECHNIQUES<sup>12</sup>

- Ventilation :

La ventilation des locaux est la première mesure à prendre en compte. Elle est à privilégier chaque fois qu'elle est techniquement réalisable. Elle peut être naturelle ou forcée mais doit être correctement dimensionnée. Pour plus de précisions, se reporter au paragraphe 6.1.3.3.1.. Cette partie traite aussi bien du risque toxique que du risque d'explosion.

---

<sup>12</sup> Risques d'intoxication présentés par l'hydrogène sulfuré, INRS.

- Détection :

La détection en H<sub>2</sub>S des locaux confinés n'est pas systématique. Cet aspect est développé au paragraphe 6.1.3.3.1.

- Découplage

Il paraît nécessaire de découpler par deux vannes indépendantes les canalisations véhiculant le biogaz. En effet, il faut pouvoir isoler une capacité si nécessaire.

- Mesure du pH dans les digesteurs

Il convient de souligner que les conditions de dégagement de l'hydrogène sulfuré sont étroitement liées au pH du milieu. Si on maîtrise convenablement le pH, on doit aussi pouvoir maîtriser aussi la formation d'hydrogène sulfuré.

- Entretien des installations

Soumettre les installations véhiculant de l'hydrogène sulfuré à un entretien préventif programmé qui visera avant tout les points faibles de l'installation, notamment les organes pouvant donner lieu à un dégagement d'hydrogène sulfuré à la suite de leur défaillance (joints, vannes automatiques, pompes, compresseurs...).

Le risque de dégagement d'hydrogène sulfuré est particulièrement susceptible de se produire lors de toute intervention dans un espace confiné (cuves, fosses, locaux ...).

Il convient de contrôler en permanence la teneur de l'atmosphère en hydrogène sulfuré pendant toute la durée de l'intervention, à l'aide de détecteurs individuels ou à poste fixe avec seuils d'alarme et d'évacuation inférieurs à la VLCT.

#### **6.4.4 RECOMMANDATIONS ORGANISATIONNELLES**

- Information et formation du personnel

Etant donné les nombreux accidents dus à l'intoxication par l'hydrogène sulfuré lors de sa dispersion accidentelle, il est impératif en premier lieu d'informer de manière approfondie le personnel chargé de la conduite et de l'entretien des installations de méthanisation. La formation devra exposer clairement les propriétés de l'hydrogène sulfuré et les risques qu'il présente, notamment sur :

- le caractère trompeur de sa perception olfactive rapidement annihilée par son action toxique (paralysant nerveux),
- les symptômes avant-coureurs d'une intoxication subaiguë (irritation oculaire et maux de tête) qui, quoique bénins, peuvent servir d'avertissement.

Cette information peut aussi passer par le moyen de notices d'information aux postes de travail et par la signalisation (tuyauteries...).

Il convient de vérifier la bonne compréhension et l'assimilation de la formation ainsi que de renouveler périodiquement les actions de formation précédentes et de les actualiser.

- Mise en place de procédures

Lors des opérations à risques (curage, ouverture de digesteurs, changement d'agitateur, de moteur, changement de canalisation...), il faut mettre en place des procédures prévoyant notamment le contrôle continu de l'atmosphère durant l'intervention.

- Procédures d'accès dans les locaux

Les emplacements confinés (intérieurs des digesteurs et des locaux techniques où transitent des canalisations véhiculant du biogaz) doivent être soumis à des accès restreints. En effet, une fuite pourrait occasionner des concentrations supérieures aux valeurs limites d'exposition professionnelle pour l'hydrogène sulfuré ou créer un risque d'anoxie.

L'atmosphère des locaux doit être contrôlée depuis l'extérieur ; au besoin, il faut mettre en marche forcée la ventilation ou accentuer l'aération naturelle avant d'affecter un nouveau contrôle et de permettre éventuellement l'accès au local.

Ces zones doivent être balisées, avec une signalisation claire de la nature du danger et des règles d'accès. L'accès à la zone ne doit être possible qu'aux personnes autorisées et formées. Les personnes extérieures à l'exploitation devront être accompagnées.

En complément du système de détection à poste fixe, les règles d'accès pourront comporter l'obligation d'équiper chaque intervenant d'un détecteur individuel portatif avec seuils d'alarme et d'évacuation inférieurs à la VLCT, assortie de consignes d'évacuation en cas de déclenchement de cette alarme.

## **6.5 EPANDAGE ACCIDENTEL**

L'épandage accidentel de substrat ou de digestat peut avoir, entre autres, pour conséquence :

- une pollution accidentelle à l'azote,
- une pollution accidentelle microbienne.

pouvant générer des dégradations durables pour le milieu.

### **6.5.1 POLLUTION ACCIDENTELLE PAR L'AZOTE**

Concernant l'azote, l'épandage maîtrisé est un sujet encadré par l'Arrêté du 7 février 2005 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les élevages de bovins, de volailles et/ou de gibier à plumes et de porcs soumis à autorisation au titre du livre V du code de l'environnement, où il est signalé notamment des distances limites d'épandage près des zones sensibles :

*« Les distances limites d'épandage des divers types de déjections animales et des engrais minéraux reprennent les interdictions de la législation sur les installations classées vis à vis :*

- des berges des cours d'eau,
- des lieux de baignade,
- des prélèvements d'eau potable,

- des sites aquacoles et conchylicoles. »

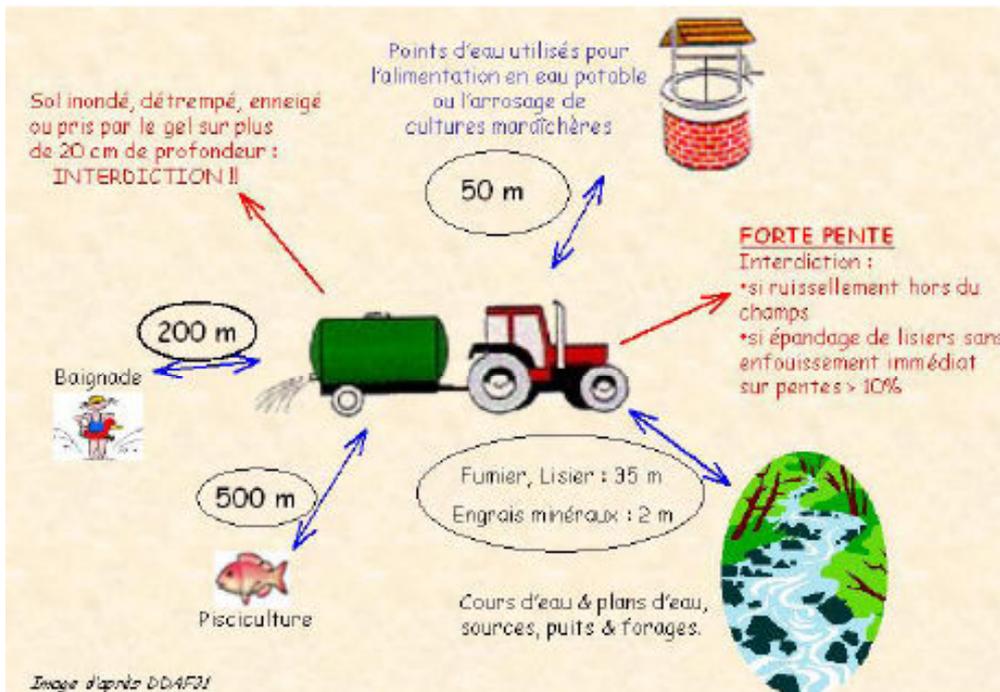


Figure 3 : Illustration des distances d'épandage maîtrisé

L'ensemble des installations doit être conçu pour éviter tout écoulement, même accidentel, vers les points d'eau et fossés des routes.

Dans le cas des méthaniseurs agricoles et de leurs stockages, il convient de vérifier que l'installation respecte ces distances. Dans le cas contraire, afin d'éviter tout épandage accidentel pouvant créer avec quasi-certitude une pollution, il faut munir les méthaniseurs et les stockages d'une rétention.

En cas de déversement accidentel important, il est recommandé de :

- Prévenir les autorités

Afin que les autorités compétentes puissent agir et maîtriser au mieux les conséquences de l'incident, le responsable de l'unité de méthanisation doit déclarer immédiatement l'incident aux autorités. Cette pratique est aussi de rigueur en cas d'épandage accidentel dans des élevages mais peu souvent suivie.

- Stopper et évacuer le produit

Il faut pour cela :

- Isoler la fuite (double vanne entre chacun des éléments constituant l'unité de méthanisation),
- Limiter l'épandage par la mise en place d'une rétention (si nécessaire),
- Evacuer et conditionner les déchets afin d'éviter toute contamination du sol par infiltration.

## 6.5.2 POLLUTION ACCIDENTELLE MICROBIENNE<sup>13</sup>

Plusieurs micro-organismes sont excrétés dans le fumier/lisier des animaux et certains d'entre eux peuvent être pathogènes pour les humains.

Les types de micro-organismes qui sont excrétés dans le fumier/lisier des animaux et qui peuvent être pathogènes pour les humains incluent : *Helicobacter pylori* (Lee et al., 1993), *campylobacter*, *salmonelle*, et *listéria* (Fedorka-Cray 1995; Taiganides 1977). D'autres pathogènes qui ont été étudiés incluent les virus, protozoaires et helminthes (vers). Selon Hurst (1995), approximativement 85 à 90% des virus et 45 à 50% des bactéries sont détruites durant le processus d'entreposage.

Lorsque les micro-organismes sont introduits dans l'environnement soit par un déversement accidentel ou par épandage, leur potentiel de contamination des sources d'eau dépend de leur persistance et de leur transport (Bitton and Harvey, 1992). La disparition ou dégradation d'un pathogène est déterminée par le climat dans lequel il est introduit, le type de sol ou d'aquafère, les propriétés des pores pour les fluides et le type d'organisme.

Les pathogènes soumis au processus de lagunage, à l'épandage au sol et à l'activité des bactéries du sol sont généralement contrôlés. Ce processus est toutefois dépendant de la température, de l'humidité, du pH, de l'ensoleillement, de la compétition entre les autres microorganismes et de la prédation (Bitton and Harvey, 1992).

Sur les aires de stockage et de traitement de lisiers, pouvant être la source d'une contamination par ruissellement, par suintement ou par le vent, il faut envisager la mise en place de rétention.

---

<sup>13</sup> Santé humaine - Extrait de Chapter Summaries from the Environmental Issues Resource Centre, [www. http://www.prairieswine.com/porkinsight/environmental\\_issues/](http://www.prairieswine.com/porkinsight/environmental_issues/)



## **7. ETUDE DES RISQUES SANITAIRES**

### **7.1 RISQUE CHRONIQUE**

Le risque chronique se caractérise par :

- une exposition faible,
- de manière répétée,
- sur des salariés ou sur la population générale,
- avec des atteintes le plus souvent systémiques (cancérogène ou non cancérogène).

Nous traitons dans cette partie de l'exposition au biogaz lors de son émission dans l'air mais également de l'exposition aux produits de combustion de celui-ci.

Il est tout d'abord important de noter que ces aspects n'ont quasiment pas été étudiés à ce jour et qu'il s'agit donc plus ici de faire un point sur les connaissances actuelles dans ce domaine que de réaliser une évaluation des risques, pour laquelle nous ne disposons pas des données suffisantes.

#### **7.1.1 RISQUES LIES AUX EMISSIONS DE BIOGAZ DANS L'AIR**

Une étude bibliographique a été réalisée par l'AFSSET sur les risques chroniques de l'hydrogène sulfuré. Une des seules études<sup>14</sup> réalisées dans ce domaine a notamment porté sur la population riveraine d'une STEP. Elle s'est penchée sur la corrélation entre les niveaux d'hydrogène sulfuré et les visites hospitalières d'urgence pour asthme ou maladies respiratoires. Les résultats montrent une association chez les enfants de moins de 18 ans entre visite hospitalière d'urgence pour asthme et pics de concentration d'hydrogène sulfuré (> 30 ppb pendant 30 min) les jours précédents la visite. Par contre, elle montre également qu'il n'y a pas d'association entre maladies digestives et concentration d'hydrogène sulfuré les jours précédents la visite.

Pour sa part, l'INERIS a réalisé une étude sur la réhabilitation et le réaménagement d'un site de stockage en phase de post-exploitation d'une décharge. La construction sur le lieu même d'un site de stockage présentant un potentiel résiduel d'émission est encore relativement marginale en France.

Dans le but d'évaluer les risques liés à ce scénario de zone de loisirs, un scénario d'exposition semi-générique aux émanations gazeuses a été élaboré en vue de tester des hypothèses concernant des concentrations moyennes raisonnablement majorantes de composés organiques non méthaniques du biogaz susceptibles de générer des risques chroniques pour la voie inhalation.

---

<sup>14</sup> Campagna D, Kathman S, Inserra S G, Pierson R, Phifer B L, Middleton D C, Zarus G M, White M C. « Ambient hydrogen sulfide, total reduced sulfur, and hospital visits for respiratory diseases in north east Nebraska », 1998-2000. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 2004; 14:180-187.

Cette étude a été réalisée à partir de la sélection de 6 composés : le chlorure de vinyle et le 1,2 dichloroéthane (représentant les composés chlorés), le benzène (représentant des composés aromatiques), l'hydrogène sulfuré (représentant des composés soufrés), ainsi que le formaldéhyde et l'acétaldéhyde (représentants des aldéhydes).

L'évaluation des risques sanitaires a été conduite en considérant un scénario type dans le but de fournir une estimation majorante pour la voie « inhalation » sur le site même de la décharge. Celle-ci démontre que dans le cas du scénario étudié, une production résiduelle inférieure à 50 m<sup>3</sup>/h de biogaz générée sur une surface de 1 ha ne conduit pas à des risques inacceptables pour les effets à seuil et sans seuil des 6 composés étudiés. Il demeure néanmoins que des nuisances olfactives pourront être ressenties dans le cas de la persistance de teneur moyenne de composés malodorants dans le biogaz (50 ppmv pour l'hydrogène sulfuré).

Actuellement plusieurs études devant être achevées sous peu sont en cours :

- Une étude bibliographique de l'INERIS sur l'hydrogène sulfuré, à la demande du MEDAD, prévue pour février 2008. Le contenu de cette étude sera sous la forme d'une « Fiche de données toxicologique et environnementale ». L'étude donnera des indicateurs quant aux seuils et effets liés à une exposition chronique à l'hydrogène sulfuré.
- Un groupe de travail piloté par l'AFSSET, auquel participe également l'INERIS, mène actuellement une « *Evaluation des risques sanitaires liés à l'injection de biogaz dans le réseau de distribution de gaz naturel* », qui doit être achevée au début de l'année 2008. Cette étude porte sur les composés chimiques et biologiques mais se limite à l'exposition au biogaz en aval et ne concerne que l'exposition domestiques et non professionnelle.

A ce jour, les biogaz étudiés proviennent de la méthanisation d'ordures ménagères mais il est également prévu d'examiner les biogaz issus de la méthanisation des boues et des substances provenant de l'activité agricole.

Une des premières constatation de cette étude est qu'il n'existe actuellement pas de résultats de mesures sur lesquelles l'étude pourrait se structurer : une campagne de mesures est donc prévue sur un site industriel pour y remédier.

Il est cependant à craindre, du fait des différences de nature et de composition entre les biogaz et de durée d'exposition que les résultats obtenus au cours de cette étude ne soient pas directement exploitables au cas des méthaniseurs agricoles.

### **7.1.2 RISQUES LIES AUX PRODUITS DE COMBUSTION DU BIOGAZ**

Une étude réalisée en 2002 par l'INERIS<sup>15</sup> avait pour principal objectif de déterminer les émissions de divers polluants liées à la combustion de biogaz de diverses origines en moteurs, chaudières ou torchères.

---

<sup>15</sup> Poulleau, Caractéristiques des biogaz avec mesures sur sites, Octobre 2002, INERIS

Le projet comportait trois étapes :

- une étude bibliographique portant sur la caractérisation chimique des biogaz,
- une première campagne de mesures sur sites de production de biogaz,
- une seconde campagne de mesures sur un site de valorisation et destruction de biogaz.

Le but poursuivi était le suivant : Estimer les teneurs en polluants susceptibles d'être rejetés dans l'atmosphère lors de la valorisation du biogaz et de sa destruction par combustion à partir de sa composition élémentaire. Les teneurs en polluants étaient ensuite comparées aux valeurs réglementaires.

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

- « La caractérisation de 6 biogaz par des mesures sur sites, plus encore que la bibliographie, laissent prévoir des teneurs non négligeables en HCl, HF et SO<sub>2</sub> dans les effluents issus de la valorisation des biogaz par combustion, ce que confirment les résultats de mesure. Les valeurs de concentrations en HCl, HF, SO<sub>2</sub> attendues calculées à partir de la composition de 6 biogaz s'avèrent remarquablement en concordance avec les mesures réalisées sur les rejets d'une chaudière, d'un moteur et d'une torchère brûlant le même biogaz d'un Centre d'Enfouissement Technique. Une mesure systématique de ces types de composés se justifie pleinement sur les sites valorisant le biogaz par combustion ou en torchère. Il conviendra également de mesurer les teneurs en CO pour s'assurer de la combustion satisfaisante du biogaz.
- En revanche, les concentrations en poussières, HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et PCDD/PCDF restent très faibles et leur mesure ne s'impose pas. Pour ce qui est des métaux lourds et du mercure, les concentrations mesurées sont faibles à l'exception du plomb et bien en deçà des valeurs recommandées. Il n'est donc pas nécessaire de prévoir des mesures sur l'ensemble des installations.
- Il est difficile de conclure de façon définitive sur le comparatif des rejets respectifs d'une chaudière, d'un moteur et d'une torchère brûlant le même biogaz, ces installations étant de taille différente et de conception relativement ancienne (la combustion sur la chaudière et la torchère testées pourrait être notablement améliorée avec des installations plus récentes où le temps de séjour des gaz à haute température est plus élevé). Cependant il apparaît que les rejets en NO<sub>x</sub> pour les moteurs sont considérablement plus élevés que sur les deux autres installations qui rejettent des niveaux conséquents en COVT. Nous avons constaté que la chaudière générait les plus fortes concentrations en HCl, HF et SO<sub>2</sub>, ce qui résulte sans doute davantage d'une variation de composition du biogaz que d'un effet du type d'installation. »

### **7.1.3 CONCLUSION**

L'exposition chronique aux divers composés du biogaz n'a donc pas encore été étudiée dans le cas des différents biogaz. De plus, la composition chimique des biogaz est beaucoup trop variée pour être analysée de manière générale. En ce qui concerne les exploitations agricoles, des campagnes de prélèvements et d'analyses quasiment au cas par cas doivent donc être réalisées.

Néanmoins, pour les produits connus tel que l' $H_2S$ , il faut veiller à ne pas dépasser les valeurs limites d'exposition : les concentrations dans l'atmosphère des lieux de travail seront maintenues aussi faibles que possible et en deçà des valeurs limites fixées par le ministère du Travail.

## **7.2 NUISANCES OLFACTIVES**

Le traitement des déchets agricoles par méthanisation est de nature à atténuer fortement les nuisances olfactives. Cependant, ce point doit être abordé dans le cadre de cette étude.

De nombreux composés chimiques susceptibles d'être contenus dans le biogaz brut comportent en effet un caractère odorant marqué. Ces composés appartiennent à plusieurs familles chimiques : dérivés soufrés tels que hydrogène sulfuré, mercaptans, terpènes, amines et ammoniac, aldéhydes et cétones, alcools et esters... La nuisance olfactive constitue une gêne pour l'individu. De même que pour le bruit, la gêne peut induire des comportements de stress, d'agressivité, de fatigue.

La comparaison entre les concentrations dans l'environnement et le seuil olfactif de quelques substances<sup>16</sup> peut permettre d'évaluer l'impact de cette nuisance sur les habitants à proximité du site. Cependant, de nombreux facteurs peuvent modifier l'intensité olfactive : l'état de vigilance, l'accoutumance, la température atmosphérique... Ainsi les seuils de détection peuvent être très variables d'un individu à l'autre. D'autre part, le mélange des substances modifie considérablement les types d'odeurs et les seuils olfactifs. Ces effets ne sont pas quantifiables (Il en est de même pour l'intensité d'une odeur). En l'état actuel des connaissances, l'impact des odeurs ne peut être pris en compte dans l'évaluation quantitative des risques sanitaires.

### **7.2.1 REGLEMENTATION DANS LE DOMAINE DES ODEURS**

A titre d'information, nous citons ci-dessous différents textes réglementaires plus spécifiques à la problématique « odeur ».

---

<sup>16</sup> Voir les seuils en Annexe 3

L'arrêté du **12 février 2003**, spécifique au traitement des cadavres et sous-produits d'origine animale précise dans le chapitre 1 relatif aux dispositions générales que :

« L'installation doit être implantée :

- à au moins 200 m des habitations occupées par des tiers ou des locaux habituellement occupés par des tiers, des stades ou des terrains de camping agréés (à l'exception des terrains de camping à la ferme) ainsi que des zones destinées à l'habitation par des documents d'urbanisme opposables aux tiers. [...] ».

Il est important de noter que les arrêtés spécifiques aux « écurages » constituent les bases réglementaires dans le domaine des odeurs.

L'arrêté du **7 février 2005** concernant les élevages, impose une distance d'implantation minimale de 100 m entre les bâtiments et les habitations des tiers.

L'arrêté du **7 janvier 2002**, concernant la rubrique 2170, relative aux unités de compostage, préconise dans son annexe 2, le respect d'une distance d'implantation, « au moins cent mètres de tout immeuble habité ou occupé par des tiers, des stades ou des terrains de camping agréés, des établissements recevant du public, ainsi que des zones destinées à l'habitation par des documents d'urbanisme opposables aux tiers. Cette distance pourra être augmentée en tant que de besoin, en fonction des caractéristiques locales, en vertu d'un arrêté de prescriptions spéciales pris selon la procédure prévue à l'article 30 du décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 ».

#### **Remarque :**

On admet que la distance de 100 m est la distance minimale à respecter pour limiter l'impact des émissions diffuses d'odeurs, valeur obtenue par retour d'expérience notamment dans le domaine des élevages.

La distance des 200 m tient compte du domaine d'incertitude de modèles de dispersion couramment employés.

Ces différents textes incitent à la mise en œuvre de précautions particulières afin de limiter l'impact des émissions sur de courtes distances, si nécessaire.

### **7.2.2 CONSTAT LORS DE LA VISITE DES INSTALLATIONS**

Lors de nos visites des différents sites (six sur 2 voyages), nous n'avons à aucun moment été incommodés par les odeurs provenant des installations de méthanisation. Les seules odeurs désagréables que nous avons perçues provenaient des installations d'élevage. Il faut noter que le post-digesteur de chacune des installations était systématiquement muni d'un système d'introduction d'air pour transformer H<sub>2</sub>S en soufre.

Les fosses de digestat étaient à ciel ouvert sans toutefois dégager d'odeur particulière. Après questionnement des différents exploitants et ingénieurs, il semblerait que le digestat provenant d'une installation pourvue uniquement d'un seul digesteur (et donc sans post-digesteur) serait plus (mal)odorant. Nous n'avons cependant pas visité de telle installation.

Bien entendu, les composés dégagés vont être très variables en fonction des entrants. Ce constat demanderait à être confirmé par des mesures sur plusieurs sites pour vérifier que les concentrations des composés soient bien inférieures aux seuils de détection olfactifs, donnés en Annexe 7.

### **7.2.3 PREVENTION DES RISQUES DE NUISANCES OLFACTIVES**

Pour prévenir toute nuisance olfactive, il importe tout d'abord de limiter les émissions. Il serait donc intéressant d'accéder à une bonne connaissance des émissions de ces installations (teneurs, variabilités) en établissant le lien avec le fonctionnement du site, notamment des différentes phases d'exploitation.

L'étanchéité des circuits de substrat et de biogaz garantit l'absence d'émission de composés odorants. Nous avons vu précédemment que toute émission de biogaz intempestive vers l'extérieur devait être prévenue pour éviter la formation d'une ATEX : toutes ces mesures permettent donc également de lutter contre les nuisances olfactives.

Les dysfonctionnements provoquant l'arrêt du moteur et l'envoi du biogaz à la torchère peuvent être à l'origine de l'émission vers l'atmosphère de composés malodorants. Il importe donc de limiter les délais d'intervention au maximum lors de ces dysfonctionnements.

## **7.3 RISQUE BIOLOGIQUE**

L'INERIS a proposé une méthode d'analyse des risques biologiques à l'attention du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement<sup>17</sup>. Un extrait de cette méthode est donné en annexe n°8.

Parmi les données nécessaires pour l'application de cette méthode d'analyse des risques biologiques (épidémiologie, pathogénicité, écologie microbienne, microbiologie prédictive et microbiologie analytique), les seules données actuellement disponibles sont les compositions en bioparticules des biogaz. Elles sont issues d'une étude réalisée par Moletta<sup>18</sup>.

Son étude a consisté à analyser les biogaz issus de 5 sources différentes :

- Digesteur traitant des biodéchets (déchets de jardin et de cuisine),
- Digesteur traitant des déchets agricoles (déchets verts et lisiers),
- Digesteur traitant des effluents de déminéralisation de lactosérum,
- Centre d'enfouissement technique,
- Digesteur traitant des biodéchets (Déchets de jardin et de cuisine).

Les principales conclusions issues de cette étude sont :

- qu'il existe une flore microbienne au sein du biogaz,
- que cette flore microbienne du biogaz semble dépendre à la fois de la flore du contenu du digesteur et de la flore des déchets apportés.

---

<sup>17</sup> « Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque », INERIS, Bonnard, 2001

<sup>18</sup> Etude de la microbiologie du biogaz, Moletta, ENSAM-INRA

D'après cette étude, la quantité de bactéries dans le biogaz varie peu. La quantité de bactéries totales est de  $10^7$  bactéries/m<sup>3</sup>. La quantité de bactéries dans le contenu d'un digesteur est d'environ  $10^{18}$  bactéries par m<sup>3</sup>. La proportion de bactéries transférées du contenu du digesteur au biogaz est de 1 bactérie pour  $10^{12}$ . Il est évalué à 1/100, le nombre maximal de bactéries cultivables des biogaz.

Cette étude montre que le biogaz n'est pas une image de la flore du bioréacteur correspondant. En effet, la flore du biogaz est apparemment plus simple que la flore du bioréacteur, aussi bien au niveau des eucaryotes que des bactéries. Il est connu que les communautés microbiennes sont différentes d'un bioréacteur à l'autre. L'analyse des communautés microbiennes des 6 biogaz montre une variabilité importante entre les biogaz, aussi bien au niveau des bactéries que des eucaryotes.

L'analyse révèle une très grande diversité d'« espèces » : 208 « espèces » différentes ont été identifiées parmi les 6 échantillons de biogaz analysés. Parmi ces espèces, certaines sont totalement inconnues. De plus, seulement 14 % des bactéries du biogaz sont retrouvées majoritairement dans un écosystème de digestion anaérobie. Parmi elles, on retrouve des bactéries sulfato-réductrices pouvant potentiellement conduire à des problèmes de bio-corrosion des réseaux. Néanmoins on ne sait pas, à ce jour si d'autres espèces pourraient engendrer des phénomènes de biocorrosion. La majorité des bactéries transportées par le biogaz sont des espèces minoritaires dans les bioréacteurs comme par exemple les espèces aérobies.

L'application de la méthode d'évaluation des risques microbiologiques proposée par l'INERIS n'est aujourd'hui pas réalisable, notamment à cause de :

- la multiplicité des germes auxquels les populations peuvent être exposées,
- l'absence de bases de données consultables sur :
  - l'infectiosité et la virulence des germes,
  - le devenir de ces germes dans l'environnement (résistance, recroissance en fonction des facteurs environnementaux),
- la variabilité de la réponse d'un individu à un autre (statut immunitaire),
- la variabilité des sources de pollution,
- la multiplicité et la complexité des voies d'exposition possibles.

L'évaluation des risques biologiques provenant de l'exploitation des installations de méthanisation agricoles nécessiterait donc la conduite de nombreuses études pour déterminer les paramètres précités.



## **8. REGLES DE SECURITE**

### **8.1 REGLES DE SECURITE EN VIGUEUR DANS D'AUTRES PAYS**

Dans les pays Européens où des installations de méthanisation agricole sont exploitées, divers documents préconisant des règles de sécurité ont été rédigés. Certains portent sur la mise en œuvre du biogaz et d'autres portent spécifiquement sur la mise en œuvre des installations de méthanisation agricole.

Les documents examinés dans le cadre de cette étude sont cités ci-dessous :

- « *La sécurité des installations de biogaz* ». CNA (Caisse Nationale Suisse d'Assurance Accidents). Référence 66055.f. Suisse.
- « *Règle de sécurité pour les installations de biogaz agricoles* ». FAT (Station de recherches en économie et technologie agricoles). Rapport N°530.1999. Suisse.
- « *Règles de sécurité applicables aux unités de biogaz agricoles* ». Union allemande des fédérations professionnelles agricoles. Bureau principal pour la sécurité et la protection de la santé. Document de travail 69.2002. Allemagne.
- « *Document relatif à la protection contre les explosions dans les installations de méthanisation agricoles* ». FVB (Association Allemande du Biogaz).2005. Allemagne.
- « *Vade mecum technique et administratif relatif à la biométhanisation de biomasse humide en Région wallone. Extraits des pages se rapportant à la sécurité* ». Bureau d'études IRCO Sprl – Facilitateur en biométhanisation. 2006. Belgique.

De manière générale, ces documents ont été réalisés par et/ou avec des professionnels du secteur : ils comportent donc un certain nombre de recommandations et de bonnes pratiques à mettre en œuvre .

Tous ces documents traitent en détail du risque d'explosion et proposent un classement en zones ATEX.. L'Association Allemande du biogaz (FVB) propose même un exemplaire type du document relatif à la protection contre les explosions dont la rédaction est rendue obligatoire par la directive ATEX 1999/92/CE.

Les règles de sécurité préconisées par les 3 principaux documents (les 2 documents Suisses et le document Allemand) sont listées dans le tableau ci-dessous.

Il faut noter que le document Belge reprend mot pour mot le document réalisé par le FAT Suisse.

Document Suisse du CNA	Document Suisse du FAT	Document allemand
<b>Espaces coupe-feu :</b> -	Les locaux dans lesquels sont placées des installations de biogaz doivent être conçus comme des espaces coupe-feu.	-
<b>Protéger les installations de biogaz contre tout accès non autorisé :</b> Mise en place d'un grillage <b>Ventilation</b> naturelle ou forcée suffisante pour prévenir les risques d'explosion dans les locaux confinés. - <b>l'aération naturelle</b> est suffisante lorsque les locaux sont situés au ras du sol et « sont pourvus d'au moins 2 orifices inobturables, placés face à face et conduisant directement à l'air libre ; l'un d'entre eux se situera directement sous le plafond et l'autre au-dessus du sol. Chaque orifice d'aération doit mesurer au moins 20 cm <sup>2</sup> par m <sup>2</sup> de surface du sol. » - « <b>la ventilation artificielle</b> des locaux est jugée suffisante lorsque le débit de ventilation est réglé de telle sorte que le renouvellement d'air s'opère 3 à 5 fois par heure. ». « Une ventilation artificielle intermittente, réglée par une minuterie, devra fonctionner pendant au moins 10 minutes par heure. De plus, elle devra obligatoirement se mettre en route au plus tard lorsqu'une personne pénètre dans le local ». - « Aucun système de ventilation et aucune mesure de prévention des explosions ne sont requis dans les zones où passent des conduites de gaz soudées et résistant à la corrosion ».	- Aérer naturellement les locaux qui peuvent contenir du biogaz. Même dimensionnement des orifices que le document du CNA. - Les locaux en sous-sol doivent être pourvus d'un système d'aération forcée	- Les locaux dans lesquels sont implantés les réservoirs de gaz doivent être équipés d'un système de ventilation efficace (ventilation transversale). L'arrivée et l'évacuation d'air doivent avoir respectivement les sections de passage minimales suivantes : 700 cm <sup>2</sup> pour un réservoir jusqu'à 100 m <sup>3</sup> de gaz et 1000 cm <sup>2</sup> pour un réservoir jusqu'à 200 m <sup>3</sup> de gaz et 2000 cm <sup>2</sup> pour un réservoir de plus de 200 m <sup>3</sup> . - Local technique de combustion : il doit être doté d'ouvertures de ventilation (ouverture et sortie) non fermables, permettant une ventilation transversale. Dans le cas d'une ventilation forcée, on veillera à ce que l'évacuation d'air se fasse par la zone du plafond. Dans le cas d'une ventilation naturelle, l'arrivée d'air se situera au niveau du sol, l'évacuation d'air dans le mur opposé, à proximité du plafond. Remarque : la section de passage libre « A » de l'ouverture de ventilation (arrivée ou évacuation) se calcule à partir de l'équation suivante : $A = 10 P + 175$ avec A : section de passage libre en cm <sup>2</sup> et P : puissance électrique maximale indiquée par le générateur (kW). - Lorsque sont utilisés des moteurs dans

Document Suisse du CNA	Document Suisse du FAT	Document allemand
		<p>le local technique de combustion dans lesquels le mélange gaz/air est comprimé par un turbocompresseur, il est nécessaire de prendre l'une des précautions suivantes en fonction de l'installation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Surveillance de l'air ambiant dans le local et arrêt automatique du groupe et des installations électriques, ou,</li> <li>✓ Surveillance de l'air ambiant dans le local et arrêt automatique du groupe et mise en marche simultanée d'un système de ventilation forcée, dimensionné de manière analogue au point suivant, de façon à ce qu'aucun mélange explosible ne puisse se former, ou,</li> <li>✓ Ventilation forcée du local, selon un renouvellement d'air minimal, permettant une dilution suffisante des volumes maximums de gaz possibles. Le renouvellement d'air minimal est de 35 m<sup>3</sup>/h d'air par kW de puissance électrique installée. La concentration maximale en gaz s'élève dans ce cas au maximum à environ 1,5% en vol. soit environ 25% de la LIE.</li> </ul>

Document Suisse du CNA	Document Suisse du FAT	Document allemand
<b>Installations électriques</b>  -	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les mélangeurs ou pompes à moteur submersibles doivent répondre à un niveau de protection minimal de IP 68 (étanchéité à l'eau sous pression jusqu'à 100 m) et ne peuvent fonctionner qu'en immersion.</li> <li>- A l'intérieur des digesteurs fonctionnant en service discontinu, les exigences minimales requises sont celles de la zone 1.</li> </ul>
<b>Détection de gaz</b> « L'installation de détecteurs de gaz représente une mesure supplémentaire efficace dès lors que les conditions prévues dans le feuillet d'information « Principe de prévention des explosions » (form. 2153) sont respectées. »	-	-
<b>Conduites d'alimentation de substrat</b>  -	Les conduites d'alimentation (arrivée du substrat) et d'évacuation (sortie du substrat) des cuves de fermentation doivent être pourvues d'un siphon ou enfouies suffisamment profond pour garantir que le biogaz ne puisse en aucun cas s'en échapper.	-
<b>Surpression/dépression : dispositifs de sécurité</b> sur les digesteurs et les réservoirs de stockage pour empêcher tout dépassement de la pression interne au-delà des seuils haut et bas. Ces dispositifs doivent être conçus et disposés de manière que leur bon fonctionnement ne soit entravé ni par la mousse ni par le gel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dispositif de sécurité sur le digesteur et sur le réservoir de gaz pour empêcher d'avoir une sur- ou une sous-pression trop importante.</li> <li>- Il est précisé que dans le cas des obturateurs liquides, ils doivent être placés de telle manière que, en cas de sous- ou de surpression, le liquide obturant ne déborde pas et qu'il reflue automatiquement après utilisation.</li> <li>- Ils doivent être protégés du gel.</li> <li>- Les conduites d'évacuation doivent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dispositifs de sécurité opérationnels en permanence, capables d'empêcher que s'opère une variation non admissible de la pression interne.</li> <li>- Les fermetures d'arrivées de fluide doivent être réalisées sous forme de fermetures de sécurité et être installées de manière que le fluide tampon ne s'échappe pas en cas de surpression ou de dépression et se retire automatiquement lorsque la surpression ou la dépression baissent.</li> </ul>

Document Suisse du CNA	Document Suisse du FAT	Document allemand
	<p>déboucher à l'extérieur au-dessus du niveau du toit.</p> <p>- Il est précisé que le système doit être protégé efficacement contre la dépression (arrivée d'oxygène) : les pompes et les souffleries à gaz, ou les compresseurs, doivent par exemple être équipés de pressostats de pression minimale. Des dispositifs de sécurité permettent de garantir les pressions de fonctionnement nécessaire au récepteur.</p>	
<p><b>Surveillance du niveau de remplissage</b> : prendre des mesures adéquates pour éviter tout risque de sur- ou de sous-remplissage</p>	<p><b>Idem à CNA</b></p>	<p>Il faut s'assurer que les niveaux de remplissage ne soient pas dépassés, en veillant à ce que les substrats digérés puissent rejoindre le stock de lisier par l'intermédiaire d'une colonne ascendante (trop plein) hors gel.</p>
<p><b>Distances de sécurité (voir § 8.3)</b> : Respecter des distances suffisantes entre les digesteurs ou les réservoirs de stockage et les bâtiments, installations, terrains, routes, lignes électriques et voies ferrées avoisinantes. Ces distances de sécurité sont données dans le Tableau 14. Elles peuvent être réduites grâce à l'installation d'écrans de protection (type murs). Elles sont comprises entre 1 et 15 m.</p>	<p>Pour les <b>digesteurs</b>, les distances de sécurité sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aucune distance minimale nécessaire pour les cuves souterraines en béton, acier ou en plastique,</li> <li>- 5 m pour les cuves en plastique ou en bois situées à la surface.</li> </ul> <p>Pour les <b>réservoirs de gaz</b> : entre 5 et 20 m suivant le matériau, le mode de construction, le risque d'incendie des objets autour...</p>	<p>Distances de sécurité par rapport aux installations voisines recensées dans le Tableau 15 pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- cuves de gaz fixes non enterrées</li> <li>- cuves de gaz enterrées et couvertes de terre</li> <li>- ballons, coussins ainsi que réservoirs en bâche souple situés au-dessus de cuves à lisier ou de digesteurs.</li> </ul> <p>Elles sont comprises entre 3 m et 20 m.</p> <p>Dans l'enceinte de l'unité de biogaz, des distances de sécurité d'au minimum 6 m doivent être prévues entre les réservoirs de gaz et les locaux d'implantation de moteurs à combustion ou d'installations et de distribution électrique.</p>
<p><b>Locaux abritant des installations de gaz</b> : installer les appareils</p>	<p>-</p>	<p>-</p>

Document Suisse du CNA	Document Suisse du FAT	Document allemand
<p>destinés au traitement du gaz et les autres équipements pouvant présenter des fuites dans un local particulier.</p>		
<p><b>Conduites de gaz :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- de préférence non enterrées.</li> <li>- Si elles sont enterrées ou posées dans des canaux : utiliser des conduites soudées, assurer une ventilation suffisante du local ou du canal et éviter la présence de sources d'inflammation, traitement anticorrosion des conduites de gaz placées sous terre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les zones équipées de conduites de gaz inoxydables, soudées sur toute la longueur, n'ont pas besoin de mesures spéciales en matière d'aération ou de protection contre les explosions.</li> <li>- Mêmes préconisations que CNA pour les canalisations enterrées.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">-</p>
<p><b>Vannes de sécurité :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Organes d'obturation :</b> Dans les conduites de biogaz, il faut installer des vannes en amont des parties d'installation destinées à la production, au stockage et au traitement ou à l'exploitation de biogaz.</li> <li>- <b>Dispositif de sécurité contre le retour de flamme :</b> installer dans les conduites de biogaz, en amont de chaque brûleur et entre les parties d'installation (entre les digesteurs et entre le digesteur et le réservoir à gaz) des dispositifs d'arrête-flamme.</li> <li>- <b>Sécurité en cas d'extinction de la flamme :</b> les systèmes de combustion (brûleurs et torche) doivent être munis d'une sécurité interrompant immédiatement l'alimentation en gaz si la flamme venait à s'éteindre pour une raison quelconque.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Entre le digesteur et le réservoir de gaz:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vanne d'arrêt,</li> <li>- dispositif anti-retour de flamme,</li> <li>- séparateur (purgeur automatique de l'eau de condensation).</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Entre le réservoir de gaz et l'équipement de combustion :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- interrupteur de sous-pression,</li> <li>- vanne d'arrêt,</li> <li>- dispositif anti-retour de flamme.</li> </ul> </li> </ul>	<p style="text-align: center;">-</p>

Document Suisse du CNA	Document Suisse du FAT	Document allemand
<p><b>Torchères à gaz :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les installations de biogaz doivent être munies d'une torche à gaz ou d'un système d'exploitation supplémentaire conçu de façon à pouvoir brûler, si nécessaire, toute la production de gaz.</li> <li>- Préconise des distances de sécurité pour déterminer l'emplacement de la torche (entre 5 et 15 m en fonction des installations).</li> </ul>	<p><b>En cas de pannes des dispositifs de valorisation du gaz :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le biogaz doit être évacué au-dessus du niveau du toit,</li> <li>- si l'interruption dure plus de 2 jours, il est recommandé de régler ou de réduire l'alimentation du réacteur dans la mesure où l'installation le permet. Si après ces mesures, le débit en gaz est supérieur à 20m<sup>3</sup>/h, il faut prévoir un autre consommateur de gaz (brûleur, torche...)</li> </ul>	<p>-</p>
<p><b>Maintenance :</b></p> <p>Prendre des mesures particulières si travaux de soudage ou de meulage, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- demander l'autorisation pour exécuter des travaux produisant des étincelles</li> <li>- contrôler l'étanchéité de l'installation,</li> <li>- prouver l'absence de gaz,</li> <li>- purger l'installation au moyen de gaz inerte,</li> <li>- mettre en place des systèmes d'extinction appropriés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le constructeur doit fournir un mode d'emploi et un guide de maintenance précis</li> <li>- Les dispositifs de sécurité doivent être contrôlés périodiquement,.</li> <li>- Lorsque le digesteur est ouvert pour évacuer les boues ou pour des réparations, il doit être ventilé à fond avant que quiconque y pénètre</li> </ul>	<p>Ventilation suffisante à assurer lorsqu'une visite des cuves est nécessaire, aux fins de maintenance ou de réparations.</p>
<p><b>Signalisation :</b> Risques d'explosion, d'incendie et interdiction de fumer doivent être signalés par des panneaux bien visibles</p>	<p><b>Idem</b></p>	<p>Les risques liés aux gaz doivent être signalés à proximité immédiate des installations de remplissage</p>
<p>-</p>	<p><b>Cuve de stockage du digestat :</b> Le risque de fermentation secondaire ne doit pas être négligé. Les réservoirs fermés doivent être suffisamment aérés.</p>	<p>-</p>

Document Suisse du CNA	Document Suisse du FAT	Document allemand
	<p><b>Traitement du gaz :</b></p> <p><b>Désulfuration par apport d'air dans les réservoirs de gaz des digesteurs :</b> le débit ne doit pas dépasser 4 à 6 % du volume de biogaz produit durant la même période. La conduite d'arrivée dans le réservoir à gaz doit être équipée d'un clapet anti-retour qui empêche le gaz de refluer.</p>	<p><b>Désulfuration avec particules ferreuses ou charbon actif :</b> risque de montée en température lors de la régénération : il faut respecter les instructions de sécurité des fabricants.</p> <p><b>Désulfuration par apport d'air dans les digesteurs :</b> la pompe de dosage d'air doit être réglée de manière à injecter un flux volumique d'air correspondant à 12% du volume de biogaz produit pendant le même laps de temps. Le dosage de l'air doit être dimensionné de façon à ce que même en cas de mauvais fonctionnement du système, le système de régulation de volume ne puisse acheminer des quantités d'air sensiblement plus élevées.</p>
	<p><b>Protection contre la foudre :</b> les digesteurs et les réservoirs construits en surface doivent être équipés d'un dispositif de protection contre la foudre conformément aux directives de l'ASE (Association des entreprises électriques suisses)</p>	-
		<p><b>Dispositifs de protection contre les risques les aux gaz aux ouvertures de remplissage :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- en cas d'implantation dans un bâtiment, les gaz de fermentation doivent impérativement être évacués. Le dispositif d'évacuation des gaz doit impérativement être en marche pendant le remplissage.</li> </ul>

Tableau 12 : comparaison des règles de sécurité préconisées par les 2 documents Suisses et le document Allemand

## 8.2 MESURES SUPPLEMENTAIRES PROPOSEES PAR LE « DOCUMENT RELATIF A LA PROTECTION CONTRE LES EXPLOSIONS » DU FVB

Ce document allemand reprend le classement en zones ATEX proposé par l'Union Allemande des fédérations professionnelles agricoles. Il propose quelques mesures supplémentaires, notamment en ce qui concerne les phases d'arrêt et/ou de démarrage des installations.

Les principales mesures sont données dans le Tableau 13 ci-dessous :

Equipement	Recommandation	Remarques
<b>Digesteur</b>		
<b>Fonctionnement normal</b>	- Maintenir les équipements fermés entre eux et ne les ouvrir que lorsque la concentration en méthane est supérieure à 45%	
	- Alimenter le digesteur en substrat le plus rapidement possible	
	- Ne mettre le mélangeur en route que lorsqu'il y a le niveau optimal de produit. Il doit être IP68 et ne doit fonctionner que lorsqu'il est entièrement immergé dans le substrat.	- l'Indice de protection 68 (IP 68) correspond à une étanchéité à l'eau sous pression jusqu'à 100 m.
	- Evaluer l'étanchéité du digesteur et des canalisations de biogaz avant la première utilisation.	
	- Le gaz émis au démarrage doit être évacué dans l'air par la soupape de surpression.	- Au début du processus de méthanisation, seul du CO <sub>2</sub> se forme. Comme il est plus lourd que l'air, il s'accumule au fond et l'air sort par les soupapes. - Le méthane n'est alors formé que dans un deuxième temps.
	La mise en route et l'arrêt des installations doivent suivre les consignes du fabricant	
<b>Mise à l'arrêt des installations</b>	- Fermer les canalisations de gaz - Aérer le stockage de gaz (si nécessaire mettre une ventilation forcée) - Continuer à mesurer la concentration en gaz - Les pompes et l'agitateur doivent être arrêtés et les mises en route intempestives évitées	
<b>Torchère</b>	- mettre un arrête flamme	

Equipement	Recommandation	Remarques
<b>Travaux de réparation et d'entretien</b>	Rédiger des permis de feu avec des consignes, par exemple pour :	
	- Entretien et mise en route du mélangeur	
	- Réparation des stockages de gaz - Entretien et travaux de nettoyage des canalisations de gaz	
<b>Installation complète</b>	- Se soucier d'une bonne ventilation	
	- Evaluer le bon fonctionnement des soupapes et des séparateurs de condensats	
	- Formation et information du personnel	
	- Prévention des sources d'inflammation	
	- Interdiction de pénétrer dans les installations pour les personnes sans autorisation	
	- Signalisation des zones ATEX	

Tableau 13 : Mesures supplémentaires proposées par le FVB

### 8.3 DISTANCES DE SECURITE

Afin d'éviter les risques d'effets dominos entre installations voisines (propagation d'un incendie, surpressions...) et/ou pour éviter les conséquences d'un accident sur les bâtiments situés à proximité, les documents analysés proposent des distances de sécurité relatives à l'implantation de bâtiments à proximité des installations. Ces distances sont résumées dans le Tableau 12 et sont détaillées dans ce paragraphe.

#### 8.3.1 DOCUMENT DU CNA (DOCUMENT SUISSE)

Ce document préconise les distances de sécurité à respecter vis-à-vis des bâtiments voisins.

Installations environnantes	Distance pour les réservoirs (m)	
	< 100 m <sup>3</sup>	> 100 m <sup>3</sup>
Bâtiments et installations ne faisant pas partie de l'entreprise, à charge thermique élevée <sup>19</sup>	10	20
Bâtiments et installations ne faisant pas partie de l'entreprise, à charge thermique élevée	5	15

<sup>19</sup> La charge thermique varie en fonction du type de bâtiment, des matériaux de construction employés et de l'utilisation qui est faite du bâtiment, c'est à dire de l'inflammabilité du matériau de construction du bâtiment et de l'inflammabilité des substances transformées et stockées à l'intérieur du bâtiment.

Installations environnantes	Distance pour les réservoirs (m)	
	< 100 m <sup>3</sup>	> 100 m <sup>3</sup>
Bâtiments et installations de l'entreprise à charge thermique élevée	5	10
Bâtiments et installations de l'entreprise sans grande charge thermique	1	5
Voies publiques (jusqu'en bordure de route)	5	5
Lignes de transport de courant haute tension	10	10
Voies ferrées (principales)	15	15

*Tableau 14 : Distances de sécurité proposées par le FAT (document Suisse)*

### 8.3.2 DOCUMENT DU FAT (DOCUMENT SUISSE)

Ce document préconise également des distances de sécurité vis-à-vis des bâtiments voisins.

Pour les **digesteurs**, les distances de sécurité sont les suivantes :

- aucune distance minimale nécessaire pour les cuves souterraines en béton, acier ou en plastique,
- 5 m pour les cuves en plastique ou en bois situées à la surface.

Pour les réservoirs de gaz : entre 5 et 20 m suivant le matériau, le mode de construction, le risque d'incendie des objets implantés autour.

Ce document précise que les distances doivent être définies au plus tôt et au cas par cas avec la police cantonale du feu et en fonction des conditions locales.

### 8.3.3 DOCUMENT DU L'UNION ALLEMANDE DES FEDERATIONS PROFESSIONNELLES AGRICOLES (DOCUMENT ALLEMAND)

Ce document préconise également des distances de sécurité à respecter vis-à-vis des bâtiments voisins. De plus, dans le périmètre défini par ces zones, un certain nombre de mesures contribuant à la prévention des risques doivent être respectées :

- interdiction de stocker des substances inflammables dans des quantités supérieures à 200 kg sans mesure de protection supplémentaire,
- interdiction d'utiliser des machines ou de mener des activités sans mesure de protection supplémentaire, susceptibles d'entraîner des risques pour les réservoirs de gaz (soudage, découpage...)
- interdiction des feux, sources d'éclairage ou d'allumage à flamme nue et les cigarettes sont interdits.

### Cuves de gaz fixes non enterrées

Volume de gaz en m <sup>3</sup> par cuve	Jusqu'à 300 m <sup>3</sup>	De plus de 300 m <sup>3</sup> à 1500 m <sup>3</sup>	De plus de 1500 m <sup>3</sup> à 5000 m <sup>3</sup>	Plus de 5000 m <sup>3</sup>	Choix du matériau des murs extérieurs
Distance de sécurité [a] en m	3	3	6	10	Non inflammable , matériau de construction de classe A, ignifuge (F30), étanche aux nappes de gaz
Distance de sécurité [a] en m	3	6	10	15	Non inflammable, matériau de construction de classe A, étanche aux nappes de gaz
Distance de sécurité [a] en m	6	10	15	20	Autres matériaux de construction de classe B

### Cuves de gaz enterrées et couvertes de terre

Distances de sécurité autour de la robinetterie et des ouvertures

Volume de gaz en m <sup>3</sup> par cuve	Jusqu'à 300 m <sup>3</sup>	De plus de 300 m <sup>3</sup> à 1500 m <sup>3</sup>	De plus de 1500 m <sup>3</sup> à 5000 m <sup>3</sup>	Plus de 5000 m <sup>3</sup>
Distance de sécurité [a] en m	3	6	10	15

### Ballons, coussins ainsi que réservoirs en bâche souple situés au-dessus de cuves à lisier ou de digesteurs

Volume de gaz en m <sup>3</sup> par cuve	Jusqu'à 300 m <sup>3</sup>	De plus de 300 m <sup>3</sup> à 1500 m <sup>3</sup>	De plus de 1500 m <sup>3</sup> à 5000 m <sup>3</sup>	Plus de 5000 m <sup>3</sup>
Distance de sécurité [a] en m	4,5	10	15	20

Tableau 15 : Distances de sécurité proposées par le l'Union Allemande des fédérations professionnelles agricoles (document Allemand)

Ce document précise qu'il est possible de réduire ces distances de sécurité en prévoyant, une couverture de terre suffisante, un mur de protection suffisamment dimensionné ou un dispositif de protection anti-incendie.

### 8.3.4 POSITION DE L'INERIS SUR LES DISTANCES DE SECURITE

On peut constater dans les tableaux ci-dessus que les distances de sécurité préconisées par ces documents sont très différentes les unes des autres. La finalité de ces distances de sécurité n'est également pas la même.

Dans le cas du document Allemand, un certain nombre de mesures visant à la prévention des risques d'incendie ou d'explosion doivent être respectées dans le périmètre de ces distances tandis que pour les documents suisses, ces distances servent principalement à fixer les limites minimales à respecter pour l'implantation des installations par rapport aux bâtiments voisins.

Il paraît nécessaire de fixer des distances de sécurité permettant de limiter les effets dominos possibles en cas d'accident. Ces distances de sécurité doivent être cohérentes avec la réglementation Française et devront donc être fixées sur la base de calculs de conséquences d'événements accidentels.

Pour information, l'INERIS rappelle que, conformément à l'arrêté du 29 septembre 2005 (PGIC), les seuils d'effet considérés pour estimer les effets dominos sont de 200 mbar pour la surpression et 8 kW/m<sup>2</sup> ou 1800 (kW/m<sup>2</sup>)<sup>4/3</sup>.s pour les flux thermiques.

A l'heure actuelle, l'INERIS ne s'estime pas en mesure de proposer de telles distances de sécurité et considère qu'elles devraient être fixées en concertation avec des fédérations professionnelles. L'INERIS est bien entendu prêt à participer à des groupes de travail sur le sujet.

#### 8.4 SYNTHÈSE DES RÈGLES DE SÉCURITÉ PRÉCONISÉES PAR L'INERIS

A partir des enseignements tirés des différentes parties de cette étude (Retour d'Expériences, Analyse des Risques, Règles de sécurité en vigueur dans les autres pays Européens), l'INERIS propose un certain nombre de mesures techniques et organisationnelles à mettre en place pour exploiter les installations avec une maîtrise suffisante des risques.

Ces mesures sont résumées dans le Tableau 16 ci-dessous :

Installations	Recommandation
<p align="center"><b>Mesures générales de sécurité</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formation et information du personnel sur les différents risques liés à la mise en œuvre des installations</li> <li>- Interdiction de pénétrer dans les installations pour les personnes sans autorisation (protéger contre tout accès non autorisé).</li> <li>- Elaboration d'un plan de maintenance préventive des canalisations, des soupapes, du mélangeur, des détecteurs et de tout autre équipement important pour la sécurité.</li> <li>- Evaluation de l'étanchéité du digesteur et des canalisations de biogaz avant la première utilisation.</li> <li>- Vérification des Distances de sécurité pour l'implantation des bâtiments (à définir, cf § 8.3).</li> <li>- Vérification que les distances d'implantation du digesteur sont au delà des limites d'épandage près des zones sensibles (cf § 6.6) sinon installation d'une rétention pour les capacités.</li> <li>- Interdiction de l'usage de matériaux subissant la corrosion de la part des produits soufrés.</li> <li>- Découplage des réseaux de biogaz et de substrat : installer des vannes en amont et en aval de chaque capacité afin de pouvoir isoler celles-ci.</li> <li>- Vérifier que les distances de sécurité soient respectées.</li> <li>- Utilisation d'une torchère pour limiter les dégagements de biogaz dans l'atmosphère.</li> </ul>
<p align="center"><b>Prévention des explosions d'ATEX pour l'ensemble du site</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réalisation d'un classement en zones (Cf Tableau 10),</li> <li>- Signalisation des zones ATEX,</li> <li>- Usage de canalisations soudées,</li> <li>- Usage d'une ventilation naturelle ou forcée de tous les espaces confinés susceptibles de contenir du biogaz,</li> <li>- Usage de détecteurs de méthane dans les zones confinées,</li> <li>- Interdiction aux canalisations non soudées véhiculant du biogaz de passer à l'intérieur des bâtiments,</li> <li>- Mise en place de procédures relatives aux autorisations de travail (permis de feu et intervention des entreprises extérieures notamment),</li> <li>- Usage de limiteur de débit en amont du local de combustion,</li> </ul>

Installations	Recommandation
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prévention des sources d'inflammation, <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interdiction de fumer,</li> <li>▪ Mise en place de matériel certifiés ATEX dans les zones identifiées,</li> <li>▪ Mise à la terre des équipements et vérification de la continuité électrique,</li> <li>▪ Protection des installations contre la foudre,</li> </ul> </li> <li>- Limitation de la circulation des personnes à l'intérieur des zones ATEX,</li> <li>- Formation du personnel aux risques d'explosion,</li> <li>- Mise en place de vannes de sécurité dans les canalisations en amont des parties d'installations destinées à la production, au stockage et au traitement du biogaz,</li> <li>- Usage des dispositifs Arrête-flammes en amont de chaque brûleur, entre les différentes enceintes et en amont de la torchère.</li> </ul>
<p><b>Digesteur/Post digesteur/réservoir de gaz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en place de dispositifs de sécurité contre les surpressions et les dépressions, opérationnels en permanence, capables d'empêcher toute variation inopinée et trop élevée de la pression interne.</li> <li>- Si les capacités de stockage du biogaz sont entièrement en béton : mise en place d'un évent d'explosion correctement dimensionné</li> <li>- Mise en place d'un dispositif permettant de limiter le plus possible la formation du H<sub>2</sub>S (tel que injection d'air)</li> <li>- Mesure de la pression du biogaz à l'intérieur des capacités avec alarme et asservissements sur seuils de niveau de pression haute et basse</li> <li>- Mesure de niveau et des débits d'entrée et de sortie du substrat avec asservissement à l'introduction des entrants</li> <li>- Mesure des débits d'entrée et de sortie du biogaz avec possibilité d'envoi du biogaz à la torchère</li> <li>- Redondance et verrouillage de la vanne de vidange des digesteurs/post-digesteur</li> <li>- Mise en place de mélangeurs ou de pompes à moteur submersibles ayant un niveau de protection minimal de IP 68 (étanchéité à l'eau sous pression jusqu'à 100 m) et ne pouvant fonctionner qu'en immersion.</li> <li>- Mise en place d'une rétention si localisation de l'installation dans zone sensible d'épandage</li> <li>- Mise en place de conduites d'alimentation et d'évacuation du substrat des digesteurs/post-digesteurs équipées d'un siphon ou enfouies suffisamment profond pour garantir que le biogaz ne puisse en aucun cas s'en échapper.</li> <li>- Mesure du pH à l'intérieur du digesteur afin de contrôler la formation de H<sub>2</sub>S</li> <li>- Mesure de O<sub>2</sub> en continu dans les gaz en sortie du post-digesteur avec asservissement à l'injection d'air</li> </ul>
<p><i>Digesteur/post-digesteur à membrane souple maintenue par des « boudins » gonflés à l'air</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redondance et compartimentage des boudins pour maintenir la membrane</li> <li>- Dispositif d'alimentation redondant en cas de panne de l'alimentation en air (ventilation secourue)</li> <li>- Procédure de remplacement des boudins</li> </ul> <p><u>Mise en marche</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Au démarrage : maintenir les équipements fermés, sans communication entre eux et découpler que lorsque la concentration en méthane devient supérieure à 45%.</li> <li>- Alimenter le digesteur en substrat le plus rapidement possible</li> </ul>
<p>Réf. : DRA-07-884</p>	<p>4-10586B</p> <p style="text-align: right;">Page 84 sur 91</p>

Installations	Recommandation
	<p><u>Maintenance/Mise à l'arrêt</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rédaction d'une procédure d'intervention par le constructeur pour la réalisation des interventions de travaux/maintenance (curages)</li> <li>- Mise en place d'une ventilation naturelle ou forcée de l'intérieur de l'équipement</li> <li>- Mise en place d'une détection gaz (CH<sub>4</sub> et H<sub>2</sub>S) avant et pendant intervention</li> <li>- Rédaction de permis de travaux avant les interventions (permis de feux notamment)</li> </ul>
<b>Fosse de prémélange</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôles des entrants (cf § 5.1.2)</li> <li>- Identification des réactions chimiques possibles entre les différents produits</li> <li>- Mesure des débits d'entrée et de sortie</li> </ul>
<b>Locaux confinés (cas du Local technique de combustion)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implantation de l'installation de combustion (chaudière ou unité de cogénération) dans un bâtiment annexe, dépourvu de locaux où sont susceptibles de séjourner des personnes,</li> <li>- Il est nécessaire de pouvoir stopper le moteur manuellement à l'aide d'un dispositif type « coup de poing » situé à l'extérieur du local,</li> <li>- De même, il est nécessaire de pouvoir couper l'arrivée de gaz manuellement à l'aide d'une vanne située à l'extérieur des installations,</li> <li>- Utilisation de raccords souples anti-vibrations,</li> <li>- Détection de chute de pression d'alimentation (dispositif type pressostat) asservi à la coupure en alimentation et à l'arrêt des installations électriques (attention, les dispositifs de sécurité type ventilation doivent continuer à fonctionner),</li> <li>- Ventilation correctement dimensionnée et détection de méthane (cf § 6.1.3.3).</li> </ul>
<b>Fosse de digestat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle du débit d'entrée et du niveau haut avec asservissement à l'alimentation en digestat</li> </ul>
<b>Torchère</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en place d'un détecteur de flamme</li> <li>- Ventilation préalable au rallumage de la flamme</li> </ul>

Tableau 16 : Synthèse des règles de sécurité préconisées par l'INERIS



## **9. CONCLUSION**

Le Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables (MEDAD) a sollicité l'INERIS afin d'étudier l'ensemble des risques liés au procédé de méthanisation agricole. Le principal objectif de cette étude était de définir les règles de sécurité à mettre en place pour assurer une maîtrise des risques suffisante lors de l'exploitation de ces installations.

Pour mener à bien cette étude, nous nous sommes appuyés sur les informations recueillies au cours des étapes suivantes :

- Retour d'expérience de la mise en œuvre et du stockage du biogaz disponibles dans les bases de données ouvertes
- Retour d'expérience de l'exploitation des installations de méthanisation agricoles sur la base de témoignages de professionnels et d'exploitants de différents pays Européens,
- Analyse sommaire des risques portant sur une installation type définie sur la base des installations actuellement existantes dans d'autres pays Européens.
- Recommandations et règles de sécurité préconisées au sein d'autres pays Européens,
- Retour d'expérience de l'exploitation des analyses d'accidents.

Il ressort de cette étude que les principaux risques accidentels à craindre lors de la mise en œuvre du biogaz proviennent de :

- son explosivité lorsqu'il est mélangé avec de l'air, due à une teneur en méthane (CH<sub>4</sub>) supérieure à plus de 50% en volume,
- la présence d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) qui le rend toxique en cas de dispersion accidentelle, notamment avant traitement.

Les principales situations à risques sont notamment susceptibles de se présenter lors des phases d'intervention à l'intérieur du digesteur (travaux, maintenance ...). Il est alors particulièrement important que les installations soient conçues pour des interventions de ce type et que les personnes qui les réalisent soient bien conscientes des risques encourus et de la démarche à suivre.

La faible pression de mise en œuvre du biogaz est cependant de nature à limiter les conséquences accidentelles d'une éventuelle explosion sur l'environnement. De plus, comme le montre une accidentologie relativement peu fournie, ces risques peuvent être bien maîtrisés à condition de respecter un certain nombre de règles de sécurité.

La définition des règles de sécurité doit toutefois tenir compte des spécificités de ces installations : la conduite du procédé de méthanisation ne représente qu'un aspect du travail de l'exploitant, qui doit assumer de nombreuses autres tâches touchant à des domaines bien différents. Les exploitants ignorent donc bien souvent les risques liés à la mise en œuvre du biogaz et ne sont pas sensibilisés aux risques d'explosion ou toxiques. Enfin, ces installations sont susceptibles d'être fortement automatisées et donc de pouvoir fonctionner en absence de tout personnel pendant de longues périodes.

Pour toutes ces raisons, nous considérons qu'il est important d'axer la démarche de maîtrise des risques sur une sécurisation du procédé en amont, dès la conception des installations, accompagnée de la mise en place de barrières techniques. Le contrôle régulier de ces barrières représenterait alors une garantie de leur bon fonctionnement sur le long terme.

La formation des exploitants aux risques liés à la mise en œuvre du biogaz représente également une des principales actions à mettre en place afin que les mesures de sécurité soient convenablement comprises et suivies.

En ce qui concerne les risques sanitaires ou les nuisances liées aux odeurs, il n'est actuellement pas possible de les évaluer correctement en l'état actuel des connaissances. A l'avenir, il est donc souhaitable que des études soient menées en ce sens.

Pour le futur, il serait souhaitable que des groupes de travail incluant notamment les professionnels du secteur puissent recommander les bonnes pratiques à mettre en œuvre pour ce type d'installation, par exemple en ce qui concerne les choix des matériaux, conditions d'exploitation des méthaniseurs ...

## 10. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nb de pages
1	Teneurs en méthane dans le biogaz en fonction des substrats et composition d'un biogaz issu d'élevage porcin (prélèvement sur site)	4
2	Description des accidents mentionnés dans ce chapitre et provenant de la base de données ARIA du BARPI	2
3	Valeurs de référence et seuils critiques retenus par l'INERIS pour le calcul des conséquences accidentelles	2
4	Tests au feu d'une membrane EPDM de stockage de biogaz	11
5	Classement en zones ATEX proposé par l'union allemande des fédérations professionnelles agricoles	8
6	Seuils de toxicité pour les principaux composants du biogaz	5
7	Seuil de détection olfactive des principaux composés organiques malodorants	1
8	Méthode d'évaluation du risque microbiologique	2



## Liste des tableaux et figures

Tableau 1 : Teneurs des principaux constituants du biogaz.....	22
Tableau 2 : Limites d'inflammabilité relatives à quatre compositions différentes.....	23
Tableau 3 : Pression d'explosion en fonction du temps d'une atmosphère air-CH <sub>4</sub> à 10% dans une sphère de 2 m <sup>3</sup> . .....	24
Tableau 4 : Caractéristiques d'explosion du biogaz saturé en eau.....	25
Tableau 5 : Teneurs de H <sub>2</sub> S en fonction des matières entrantes (valeurs indicatives)..	26
Tableau 6 : Tableau récapitulatif des effets de l'hydrogène sulfuré sur l'homme .....	26
Tableau 7 : Troubles liés à l'anoxie .....	27
Tableau 8 : Résultats des calculs de débits de gaz par le logiciel PHAST en fonction du diamètre de fuite.....	49
Tableau 9 : Résultats des calculs de débits de ventilation .....	49
Tableau 10 : Synthèse des classements des zones à risques d'explosion proposés par l'INERIS, le document Allemand et le document Suisse du FAT.....	55
Tableau 11 : Rappel des valeurs toxicologiques .....	57
Tableau 12 : comparaison des règles de sécurité préconisées par les 2 documents Suisses et le document Allemand .....	78
Tableau 13 : Mesures supplémentaires proposées par le FVB .....	80
Tableau 14 : Distances de sécurité proposées par le FAT (document Suisse) .....	81
Tableau 15 : Distances de sécurité proposées par le l'Union Allemande des fédérations professionnelles agricoles (document Allemand) .....	82
Tableau 16 : Synthèse des règles de sécurité préconisées par l'INERIS.....	85
Tableau 17 : Donnée en lien avec la production de méthane en fonction des substrats .....	95
Figure 1 : Représentation simplifiée des étapes de biodégradation anaérobie de la matière organique .....	1
Figure 2 : Schéma simplifié d'un bioréacteur semi-continu .....	17
Figure 3 : Illustration des distances d'épandage maîtrisée.....	60



## **ANNEXE 1**

Teneurs en méthane dans le biogaz en fonction des substrats et composition d'un biogaz issu d'élevage porcin (prélèvement sur site)



Substrats	Teneur en méthane (%)	Potentiel méthanogène Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / t msv	Production Nm <sup>3</sup> biogaz / t pb
<i>Effluents d'élevage</i>			
Lisier porcelets	73	260	17
Lisier truies gestation	70	250	12
Lisier porcs charcutier	67	330	13
Lisier bovins	67	298	29
Lisier palmipèdes gavage	59	400	17
<i>Résidus fermentescibles</i>			
Résidus fines aliments	59	381	531
Semences traitées déclassées	51	320	530
Fines et spathes	64	180	230
Pailles de maïs	75	173	199
Rafles d'automne	55	240	327
Rafles de printemps	59	220	373
Déchets silo séchage maïs	58	370	489
Ensilage maïs humide	63	461	294
Déchets verts (tontes)	62	387	86
Effluents entreprises conserveries	79	656	270
Terres de blanchissement	74	763	403

*Tableau 17 : Donnée en lien avec la production de méthane en fonction des substrats*  
Source : Etude AGRICE septembre 2001 – Bio-NRJ 2006

**Site : La fromagerie est associée à un élevage de 4000 porcs pour la production d'un biogaz dont la valorisation sert à réchauffer les installations de l'usine de fabrication de fromages (deux chaudières peuvent être alternativement utilisées à cet effet) et à maintenir le digesteur en température.**

L'installation de méthanisation comporte un digesteur de capacité 550 m<sup>3</sup> qui produit quotidiennement une centaine de m<sup>3</sup> de gaz.

Prélèvements : canalisation située en amont des chaudières

- Mesures de H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub> :

Constituants majeurs du biogaz	Teneur
H <sub>2</sub> O (%)	13.7
H <sub>2</sub> (%)	<0.002
CO <sub>2</sub> (%)	24.7
CH <sub>4</sub> (%)	64.6
CO (ppm)	28
N <sub>2</sub> (%)	5.63
S équivt H <sub>2</sub> S (ppm)	1510

- Mesure des composés C2 à C5 et autres constituants

Les analyses en chromatographie FID montrent que nous n'avons pas de composés C2 à C5. En revanche, l'analyse semi-quantitative faite en couplage CG/SM fait apparaître la présence des composés suivants : toluène, paraffinique, paraffine, oléfine C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>, DOP.

- Mesure des teneurs en COV, halogénés et soufrés des biogaz :

Substances	Méthodes d'analyse	Teneur (mg/m3)
Benzène	CG/FID col apolaire	<0.17
Toluène	CG/FID col apolaire	<0.21
Ethylbenzene	CG/FID col apolaire	<0.24
Xylenes	CG/FID col apolaire	<0.23
dichlorobenzène	CG/FID col apolaire	<0.33
dichlorométhane	CG/ECD col apolaire	<0.08
dichloroéthylène	CG/ECD col apolaire	<0.006
trichloroéthylène	CG/ECD col apolaire	35.2
tétrachloroéthylène	CG/ECD col apolaire	14.8
fréons	CG/ECD col apolaire	9.8
Cl <sup>-</sup>	combustion four et CEI	25.0
F <sup>-</sup>	combustion four et CEI	22.5
S	combustion four et CEI	2000

- Mesures des HAP :

Substances	Blanc du site	Teneur (µg/m3)
<b>Naphtalène</b>	<b>0.0346</b>	<b>1.220</b>
<b>Acénaphtylène</b>	<b>0.059</b>	<b>1.118</b>
Acénaphène	<0.0234	<0.0254
Fluorène	<0.0117	<b>0.0142</b>
Phénanthrène	<b>0.029</b>	<b>0.1520</b>
Anthracène	<b>0.050</b>	<b>0.142</b>
Fluoranthène	<b>0.051</b>	<b>0.0417</b>
Pyrène	<0.0585	<0.0635
Benzo-a-Anthracène	<0.007	<0.0076
Chrysène	<0.0047	<b>0.0341</b>
Benzo-b-Fluoranthène	<0.012	<0.0127
Benzo-k-Fluoranthène	<0.0005	<0.0005
Benzo-a-Pyrène	<0.0047	<0.0051
Dibenzo-a,h-Anthracène	<0.007	<0.0076
Benzo-g,h,i,Perylène	<0.014	<0.0153
Indéno-1,2,3,c,d-Perylène	<0.0468	<0.0508

- Mesures des métaux lourds :

Substances	Blanc du site	Teneur ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Cd	<0.2	<0.3
Tl	<0.2	<0.3
As	<2.2	<2.8
Se	<2.2	<2.8
Sb	<2.2	<2.6
Cu	0.7	1.3
Co	<0.2	<0.3
Cr	<3.4	8.1
Sn	<0.2	<0.3
Mn	0.9	2.2

**Source** : INERIS, Poulleau, Caractérisation des BIOGAZ pour le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2002

## **ANNEXE 2**

Description des accidents mentionnés dans ce chapitre et provenant de la base de données ARIA du BARPI

## **N°31654 - 23/03/2006 - FRANCE - 63 - CLERMONT-FERRAND**

### *90.0B - Enlèvement et traitement des ordures ménagères*

Une déflagration se produit dans le poste électrique de la centrale de valorisation des biogaz d'un centre d'enfouissement technique de classe 2. Les dommages matériels sont importants : détérioration de l'ensemble des cellules électriques contenues dans le poste, fissurations de l'enveloppe en béton du local, porte d'accès soufflée, centre de stockage privé d'électricité. Un premier groupe électrogène est mis en place afin d'alimenter ponts-bascules, matériel informatique et éclairages, le second est destiné au fonctionnement de la torchère. Des experts sont diligentés afin de déterminer les causes de cette explosion.

## **N°31000 - 08/11/2005 - ALLEMAGNE - 00 - RHADEREISTEDT**

### *90.0E - Traitements des autres déchets solides*

Dans un site de production de biogaz par valorisation de déchets organiques, une émanation de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) tue 3 employés et un conducteur de camion venu décharger des déchets issus d'un abattoir. Une personne sérieusement intoxiquée est hospitalisée. La concentration extrêmement élevée en H<sub>2</sub>S dans le hall complique l'intervention des pompiers dont une dizaine souffrira d'intoxication plus ou moins légère. Une longue aération (plus de 24 h) sera nécessaire avant d'autoriser l'accès au bâtiment. Arrivé le soir, le camion en provenance des Pays-Bas stationne devant l'établissement jusqu'au lendemain matin. Le drame se produit alors que le chargement du camion est déchargé à l'intérieur d'un hall fermé pour limiter les nuisances olfactives, dans une fosse de 100 m<sup>3</sup> équipée de 2 agitateurs et dont

le couvercle ne peut être fermé en raison de la défaillance du moteur électrique qui l'actionne. Les matières déchargées, déchets liquides chargés en sulfures, de pH proche de 8,5 et d'une température de 60 °C, sont des boyaux et des viscères de porc ; elles avaient été chargées 24 h plus tôt et étaient analogues aux déchets habituellement livrés 1 à 2 fois par semaine par l'établissement d'origine. La réaction entre ces substances et les matières déjà présentes dans la fosse (déchets animaux ou de laiteries, de pH peu élevé d'après les analyses effectuées après l'accident) serait à l'origine d'un fort dégagement d'H<sub>2</sub>S. La température du milieu et le fonctionnement de l'agitation auraient favorisé la dispersion du gaz toxique dans le hall de déchargement. Par ailleurs, le dispositif d'extraction situé en fond de fosse qui rejette l'air vicié à l'extérieur via un biofiltre se serait montré insuffisant. Une enquête est effectuée.

## **N°29407 - 10/03/2005 - FRANCE - 28 - LEVES**

### *90.0A - Collecte et traitement des eaux usées*

Dans une station d'épuration, une fuite de biogaz se produit sur un digesteur de boue fissuré à plusieurs endroits. Le méthane s'infiltré dans la double paroi et s'échappe légèrement vers l'extérieur. Un périmètre de sécurité est mis en place, 20 riverains sont évacués et 2 stations services proches sont fermées. Le gazomètre de la station d'épuration étant plein, le digesteur est arrêté et 2 torchères situées à une dizaine de mètres de l'installation sont mises en service pour brûler l'excès de biogaz. Les

employés de la station colmatent la fuite. La situation redevient normale 8 h après le déclenchement de l'alerte.

#### **N°9065 - 07/01/1999 - FRANCE - 73 - LA ROCHETTE**

##### *21.1C - Fabrication de papier et de carton*

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.).

#### **N°11345 - 12/03/1997 - ITALIE - 00 - PESCHIERA**

##### *90.0A - Collecte et traitement des eaux usées*

Dans une station d'épuration communale des eaux usées, une explosion se produit au cours de travaux de réparation dans un silo en béton de fermentation et de production de biogaz. Des résidus gazeux et des opérations de soudage seraient à l'origine du sinistre. Deux ouvriers sont projetés à l'extérieur et sont tués, un troisième tombe au fond de l'édifice et est sérieusement blessé. Le toit du silo est soufflé.



## **ANNEXE 3**

Valeurs de référence et seuils critiques  
retenus par l'INERIS pour le calcul des  
conséquences accidentelles



Valeurs de référence et seuils critiques retenus par l'INERIS
---

Rappelons, que les valeurs de référence de seuils d'effets thermiques et de surpression à employer pour déterminer les distances d'effets sont issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 pour les installations classées et qu'elles sont les suivantes :

Effets thermiques :

*Pour les effets sur les structures :*

- 5 kW/m<sup>2</sup>, seuil des destructions de vitres significatives ;
- 8 kW/m<sup>2</sup>, seuil des effets 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.

*Pour les effets sur l'homme :*

- 3 kW/m<sup>2</sup> ou 600 ([kW/m<sup>2</sup>]<sup>4/3</sup>).s, seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;
- 5 kW/m<sup>2</sup> ou 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 ;
- 8 kW/m<sup>2</sup> ou 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.

Effets de surpression :

*Pour les effets sur les structures :*

- 20 hPa ou mbar, seuil des destructions de vitres significatives ;
- 50 hPa ou mbar seuil des dégâts légers sur les structures ;
- 140 hPa ou mbar seuil des dégâts graves sur les structures ;
- 200 hPa ou mbar seuil des effets domino ;
- 300 hPa ou mbar seuil des dégâts très graves sur les structures ;

*Pour les effets sur l'homme :*

- 20 hPa ou mbar, seuil des effets délimitant des effets indirects par bris de vitre sur l'homme ;
- 50 hPa ou mbar, seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine » ;
- 140 hPa ou mbar, seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine » ;

- 200 hPa ou mbar, seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine » ;

Pour calculer les distances en deçà desquelles l'effet léthal et des effets irréversibles sur l'homme pourraient être observés, l' INERIS a retenu les seuils critiques reportés dans le tableau suivant en fonction du type de phénomène considéré.

Phénomènes	Seuils en deçà desquels l'effet léthal pourrait être observé	Seuils en deçà desquels des effets irréversibles pourraient être observés
Explosion de gaz à l'air libre	140 mbar pour les effets de pression ou distance à la limite inférieure d'inflammabilité pour les effets thermiques	50 mbar pour les effets de pression
Explosion de gaz confinée	140 mbar pour les effets de pression ou distance de projection des débris	50 mbar pour les effets de pression
Feu de type torche	flux de 5 kW/m <sup>2</sup> pour les effets thermiques	flux de 3 kW/m <sup>2</sup> pour les effets thermiques

Seuils critiques retenus pour la détermination des distances d'effet

Il est à noter que les explosions de gaz confinées considérés dans cette étude sont susceptibles de conduire à l'éclatement de réservoirs tels que la sphère ou le gazomètre. Or, pour ce type de phénomène, il est recommandé dans /1/ de retenir 170 mbar (au lieu de 140 mbar) comme seuil critique pour l'apparition de l'effet léthal. Le seuil retenu par l'INERIS dans cette étude est donc a priori conservatoire.

Enfin, dans le cas des explosions de gaz en milieu confiné, l'expérience montre que la projection de fragments peut contribuer de manière significative à l'étendue des dégâts. Toutefois, dans ce cas, des conséquences pour l'homme ne sont susceptibles d'être observées que localement, aux points d'impact des fragments. Ainsi, les rayons de projection calculés délimitent des surfaces où potentiellement des chutes de débris pourraient être observées mais ces surfaces ne seraient pas totalement couvertes de fragments.

Dans le cas des explosions en espace libre, les projections de débris sont généralement plus rares et de moindre portée. D'où finalement, pour certains scénarios d'explosion de gaz, les distances de projection de fragments types ont été fournies.

## **ANNEXE 4**

**TESTS AU FEU D'UNE MEMBRANE EPDM DE  
STOCKAGE DE BIOGAZ**



## **ANNEXE 5**

**CLASSEMENT EN ZONES ATEX PROPOSE PAR  
L'UNION ALLEMANDE DES FEDERATIONS  
PROFESIONNELLES AGRICOLES**



### Répartition des zones

Les zones à risques d'explosion sont des zones dans lesquelles des atmosphères explosibles dangereuses peuvent se former en raison des conditions locales et des conditions de service.

Les zones à risques d'explosion sont donc réparties en zones numérotées de 0 à 2, en fonction de la probabilité de formation d'une atmosphère explosible dangereuse (voir Annexe 9).

Les zones à risque d'explosion sont réparties comme suit :

Zone 0 Elle comprend les zones dans lesquelles une atmosphère explosible dangereuse, constituée d'un mélange d'air et de gaz, de vapeurs ou de brouillards, est présente en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment.

### Remarque

L'adverbe "fréquemment" est à prendre ici au sens de "prépondérant en temps".

### Explications

*Dans des conditions normales d'utilisation, les unités de biogaz ne comportent pas de Zone 0. Les digesteurs ne contiennent pas non plus de mélange explosible. La tubulure d'admission du moteur thermique ou de la chambre de combustion de la torchère de gaz, tout au plus, contiennent en permanence un mélange inflammable au sens de la disposition. Cette zone est isolée du reste du système de gaz par un dispositif pare-flamme.*

Zone 1 Elle comprend les zones dans lesquelles se forme **occasionnellement** une atmosphère explosible composée de gaz, de vapeurs ou de brouillards.

### Explications

*Un mélange inflammable se forme occasionnellement dans les unités de biogaz autour de l'embouchure de conduites de décharge de dispositifs de sécurité contre les surpressions de gaz et de torchères de gaz. En cas d'excédent de gaz, ici, du gaz est rejeté dans l'air (voir à ce propos le point 3.4).*

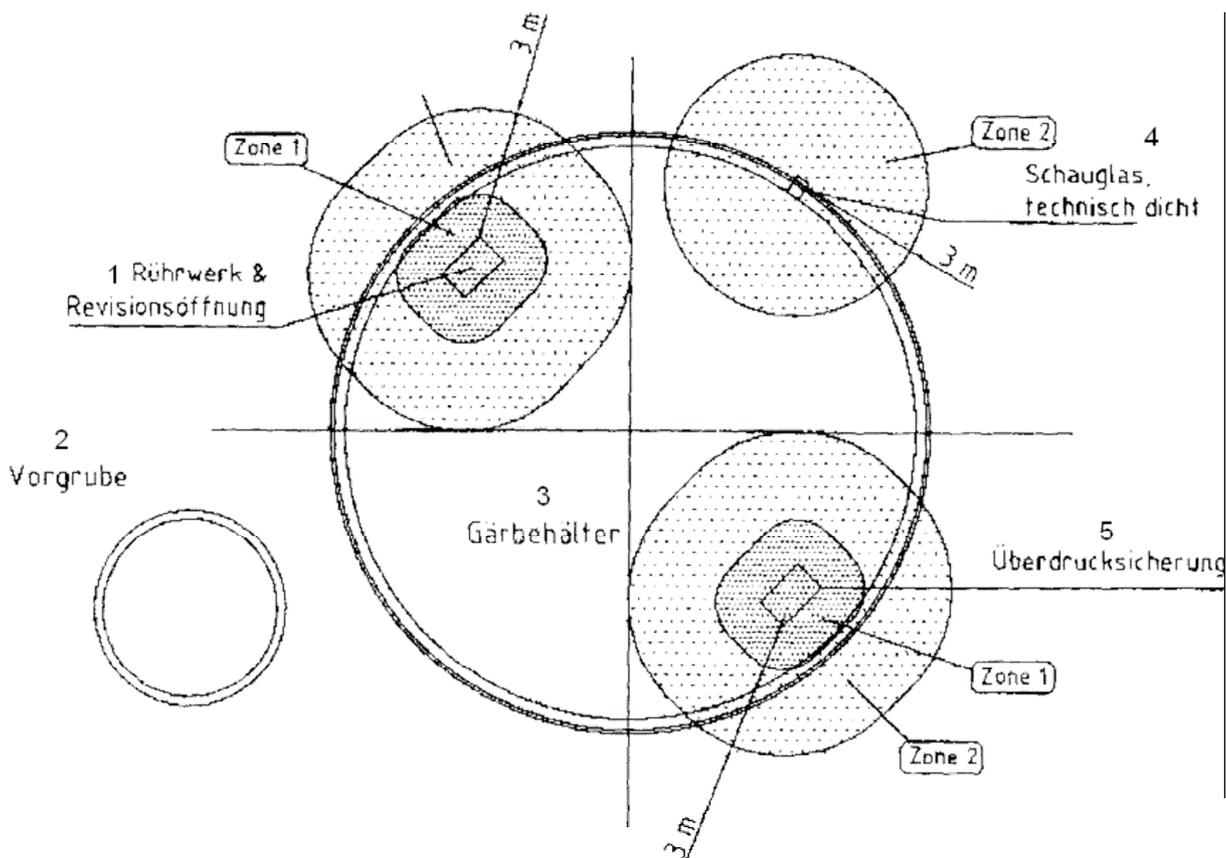
Zone 2 Elle comprend les zones dans lesquelles ne se forme normalement pas d'atmosphère explosible composée de gaz, de vapeurs ou de brouillards ; cette atmosphère, si elle se forme, est néanmoins très rare et ne subsiste que pendant une très courte période.

### Explications

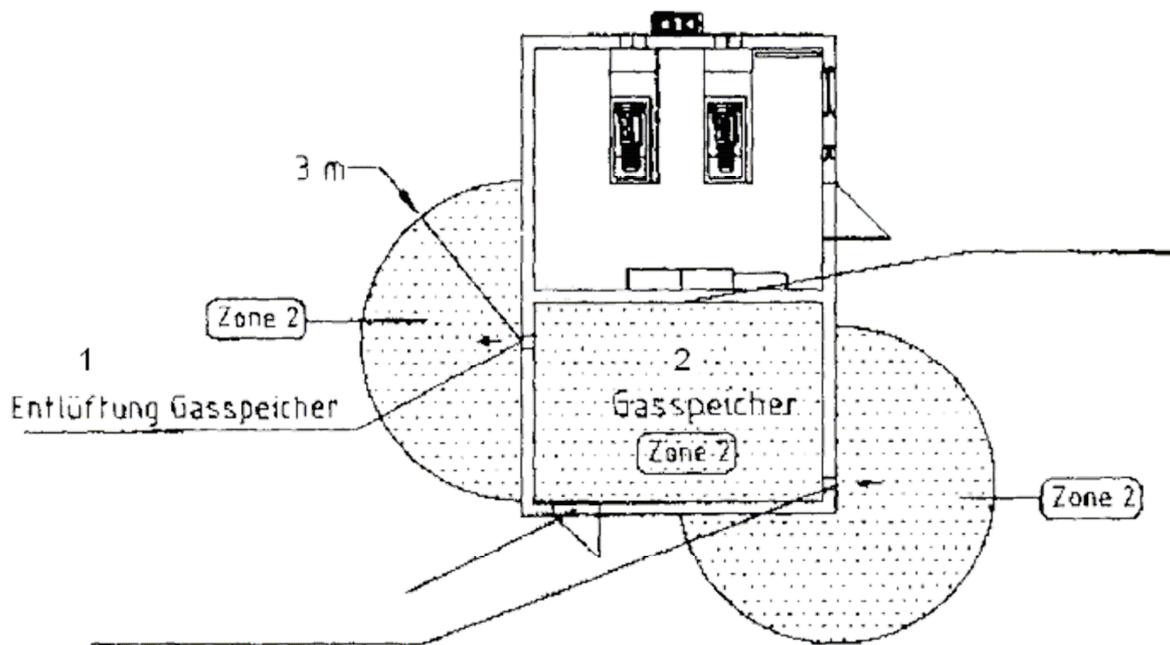
Des mélanges de gaz inflammables peuvent se former, rarement, généralement en cas d'incident et pendant des opérations de maintenance.

Dans la zone du digesteur, ceci concerne les trappes de maintenance et de nettoyage et l'intérieur d'un fermenteur travaillant en continu. Pour ce qui est du stockage du gaz, ceci concerne la réserve de gaz et l'environnement des ouvertures de ventilation (arrivées et évacuations) (voir schéma).

Exemples de zones à risques d'explosion

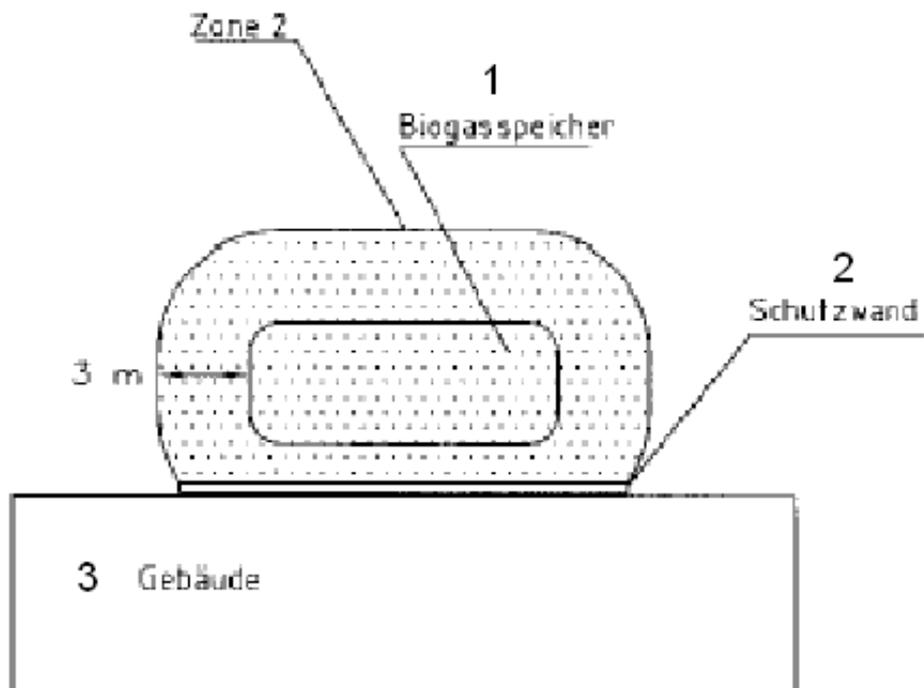


- 1 Agitateur et ouverture de visite
- 2 Pré-fosse
- 3 Digesteur
- 4 Hublot de contrôle techniquement étanche
- 5 Sécurité contre les surpressions



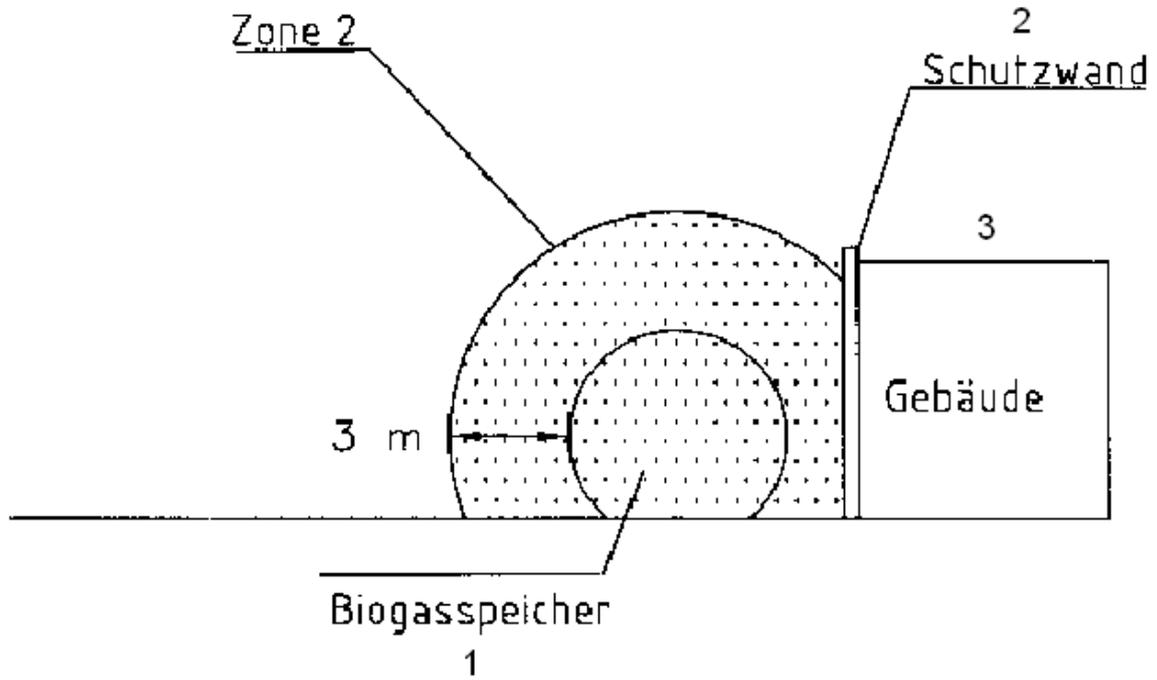
1 Évacuation d'air réservoir de gaz  
2 Réservoir de gaz

Réservoir de biogaz, en bache souple, implanté en extérieur  
Vue de dessus



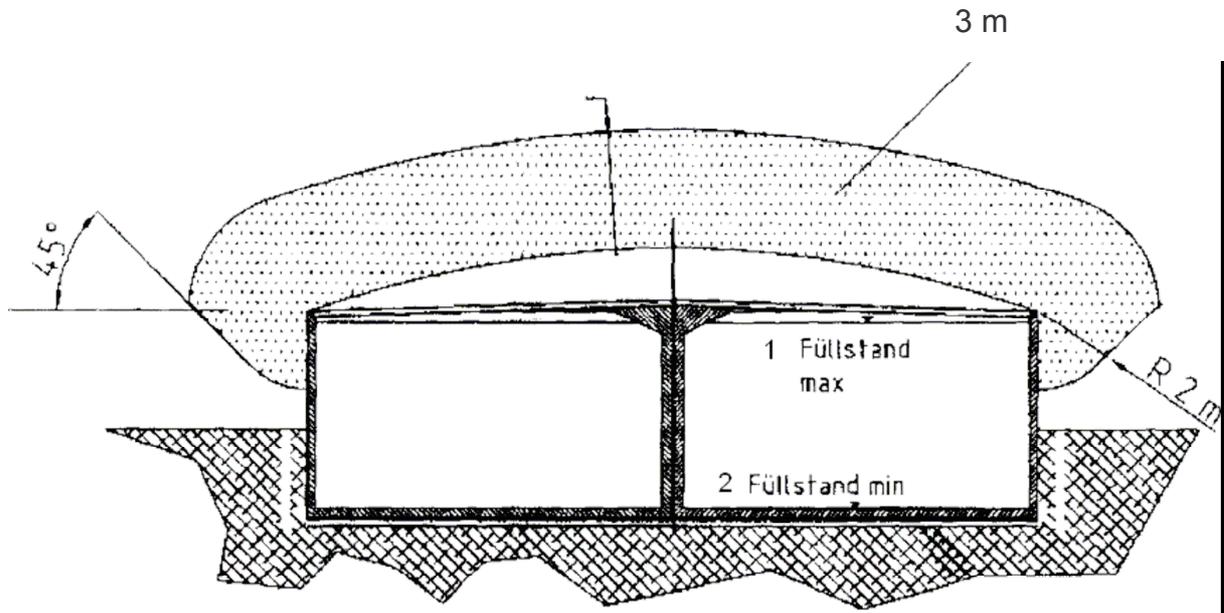
1 Réservoir de biogaz  
2 Mur de protection

3 Bâtiment  
Vue en élévation latérale



1 Réservoir de biogaz  
2 Mur de protection  
3 Bâtiment

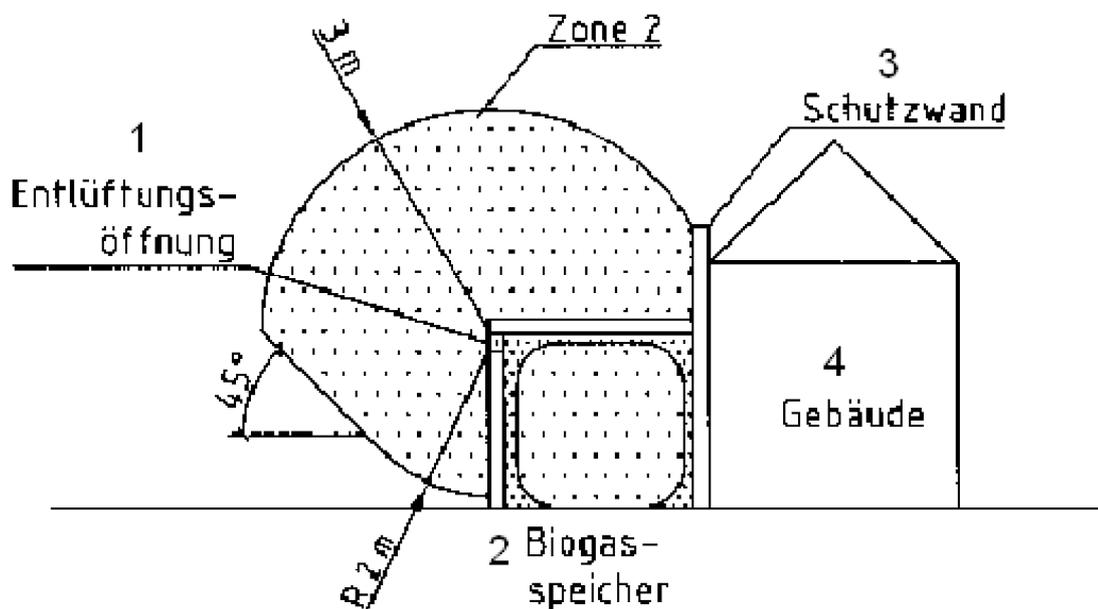
Exemple de zone de protection anti-explosion  
 Digesteur avec dôme en bache souple



1 Niveau de remplissage maxi

2 Niveau de remplissage mini

Réservoir de gaz en bache souple encapsulé



Vue en élévation latérale

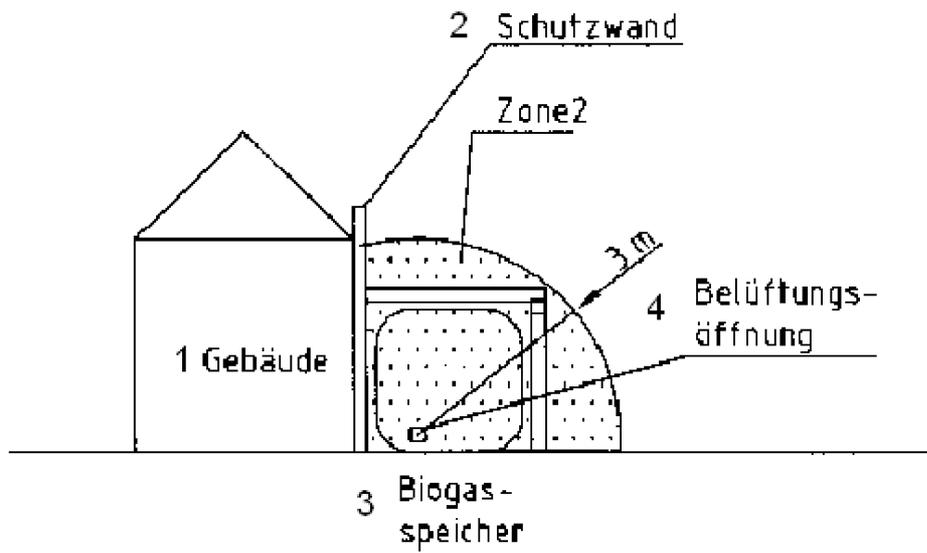
1 Ouverture d'évacuation d'air

2 Réservoir de biogaz

3 Mur de protection

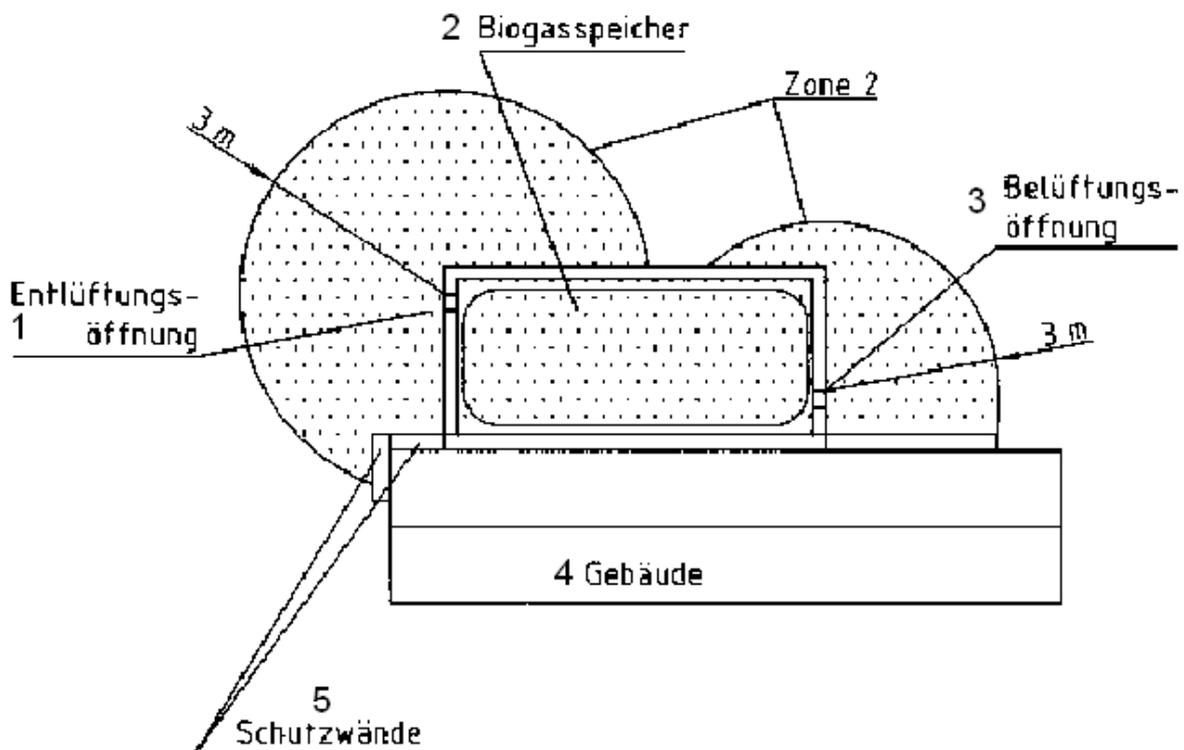
4 Bâtiment

**Vue en élévation latérale**



- 1 Bâtiment
- 2 Mur de protection
- 3 Réservoir de biogaz
- 4 Entrée d'air

**Vue de dessus**



- 1 Sortie d'air
- 2 Réservoir de biogaz
- 3 Entrée d'air
- 4 Bâtiment

## 5 Murs de protection

### 3.3 Exigences requises sur les dispositifs situés dans les zones à risques d'explosion

Pour le choix des équipements électriques, se reporter à la directive VDE 0 165 Section 1.

#### 3.3.1 Exigences requises en Zone 0

Dans la Zone 0 ne peuvent être utilisés que des équipements autorisés pour la Zone 0 et marqués en conséquence.

#### Remarque

Les certificats de conformité pour la Zone 1 ne suffisent pas.

A partir du 30.06.2003 ne peuvent être utilisés que des appareils et dispositifs de protection du groupe II Catégorie 1 conformément à l'annexe 1 de la Directive 94/9/CE.

#### 3.3.2 Exigences requises en Zone 1

Dans la Zone 1 ne peuvent être utilisés que des équipements autorisés pour la Zone 1 et marqués en conséquence.

A partir du 30.06.2003 ne peuvent être utilisés que des appareils et dispositifs de protection du groupe II Catégorie 1 ou 2 conformément à l'annexe 1 de la Directive 94/9/CE.

#### 3.3.3 Exigences requises in Zone 2

Dans la Zone 2 ne peuvent être utilisés que des équipements autorisés pour la Zone 0, 1 ou 2 et marqués en conséquence.

A partir du 30.06.2003 ne peuvent être utilisés que des appareils et dispositifs de protection du groupe II Catégorie 1, 2 ou 3 conformément à l'annexe 1 de la Directive 94/9/CE (voir p ex. prEN 13 463, EN 13 478).

### 3.4 Dimensionnement de la Zone 1

Le périmètre de 1 m autour de parties d'unité, d'équipements, de liaisons, de hublots de contrôle, de passages, ouvertures de maintenance sur réservoir de gaz et la partie du digesteur exposée au gaz, dans la mesure où des sorties de biogaz sont possibles pour des raisons inhérentes au service, ainsi qu'autour de l'embouchure de conduites de décharge de gaz, est considéré comme appartenant à la Zone 1 (voir BGR 104 point E 1.3.2.3, Annexes 9 et 10).

La distance de 1 m s'applique dans le cas d'une ventilation libre. Dans les locaux fermés, il convient de respecter une distance de 4,5 m.

### 3.5 Dimensionnement de la Zone 2

Parties d'unité exposées au gaz

Le périmètre de 3 m autour de parties d'unité, d'équipements, de liaisons, de passages, d'ouvertures de maintenance considérées comme techniquement étanches ainsi qu'autour de disques de rupture est considéré comme appartenant à la Zone 2. La distance de 3 m s'applique à la ventilation libre. Les locaux fermés sont considérés comme appartenant complètement à la Zone 2 (voir BGR 104 point E 1.3.2.2, Annexes 9 et 10).

Le périmètre de 1 m à 3 m autour de parties d'unité, d'équipements, de liaisons, de hublots de contrôle, de passages, d'ouvertures de maintenance sur le réservoir de gaz et sur la partie du digesteur exposée au gaz, dans la mesure où des sorties de biogaz sont possibles pour des raisons inhérentes au service, ainsi qu'autour de l'embouchure de conduites de décharge de gaz, est considéré comme appartenant à la Zone 2.

Réserve de gaz

Lorsque le réservoir de biogaz en bâche souple plastique est entreposé en extérieur, ou dans un local entièrement ventilé, la Zone 2 s'étend sur un périmètre de 3 m vers le haut et sur les côtés, sur un périmètre de 2 m vers le bas avec une pente de 45°. Dans le cas d'un réservoir de biogaz en bâche souple installé dans un local étanche aux nappes de gaz et donc dans une grande mesure étanche aux gaz, la Zone 2 s'étend à l'intérieur du local du réservoir de gaz ainsi qu'au périmètre de 3 m autour des ouvertures de ventilation (arrivées et évacuations) vers le haut et sur les côtés, et de 2 m vers le bas avec une pente de 45°.

Les locaux peuvent être rendus étanches aux nappes de gaz p. ex. avec

- des murs maçonnés et crépis
- des murs bétonnés
- des murs revêtus de plaques non inflammables et enduites
- des conteneurs normalisés avec parois métalliques

#### Remarque

Les parties d'unité techniquement et durablement étanches conformément à la BGR 104 point E 1.3.2.2 n'entrent dans aucune zone (voir Annexes 9 et 10).

## **ANNEXE 6**

Seuils de toxicité pour les principaux  
composants du biogaz

Dans le cadre de la prévention des risques liés à des émissions accidentelles dans l'atmosphère de substances chimiques dangereuses, les gestionnaires de risques souhaitent disposer des seuils de toxicité aiguë qui seront le plus souvent associés à des scénarios d'accidents pour des études de dangers ou pour l'élaboration de plans d'urgence.

Dans ce contexte, l'INERIS considère différents seuils en matière de toxicité accidentelle :

- Les Seuils des Effets Létaux Significatifs (SELS) : concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle on peut observer des effets létaux significatifs au sein de la population exposée.
- Les Seuils des Premiers Effets Létaux (SPEL) : concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle on peut observer les premiers effets létaux au sein de la population exposée.
- Les Seuils des Effets Irréversibles (SEI) : concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle on peut observer des effets irréversibles au sein de la population exposée.
- Les Seuils des Effets Réversibles (SER) : concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle on peut observer des effets réversibles au sein de la population exposée.

Deux autres types de valeurs élaborés par l'INRS ou par l'Union Européenne pour les travailleurs sont également prise en compte:

- valeurs limites d'exposition à court terme (VLCT – anciennement VLE) : ce sont des valeurs mesurées sur une durée maximale de 15 minutes. Leur respect prévient les risques d'effets toxiques immédiats ou à court terme.
- valeurs limites de moyenne d'exposition (VME) : mesurées ou estimées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures, elles sont destinées à protéger les travailleurs des effets à moyen ou long terme. La VME peut être dépassée sur de courtes périodes, à condition de ne pas dépasser la VLCT (si elle existe).

En ce qui concerne l'aspect chronique, il sera rappelé le type de Valeur Toxicologique de Référence (VTR) disponible dans la base de données ITER (International Toxicity Estimates for Risk - <http://www.tera.org/ITER>) pour les différentes substances présentées dans ce rapport :

- Concentration de Référence (RfC) : il s'agit de la concentration, définie par US-EPA, d'un produit A qui, si on l'inhale toute la journée et durant une partie de sa vie, n'entraîne pas d'effets adverses.
- Minimum Risk Level (MRL) : sa signification est équivalente aux RfC mais sa VTR définie par l' Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

## Hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S)

Les seuils suivants ont été déterminés par l'INERIS<sup>20</sup>:

- Seuils des Premiers Effets Létaux (S.P.E.L.) :

Temps (min)	Concentration	
	mg/m <sup>3</sup>	ppm
1	2 129	1 521
10	963	688
20	759	542
30	661	472
60	521	372

Valeurs des seuils d'effets létaux pour H<sub>2</sub>S

- Seuils d'effets irréversibles (S.E.I.) :

Temps (min)	Concentration	
	mg/m <sup>3</sup>	ppm
1	448	320
10	210	150
20	161	115
30	140	100
60	112	80

Valeurs des seuils d'effets irréversibles pour H<sub>2</sub>S

Les autres seuils référencés sont :

Pour le travailleur (valeurs établies par l'INRS)

- VLCT : 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>),
- VME : 5 ppm (7 mg/m<sup>3</sup>).

Pour une exposition chronique (population)

- Pour l'inhalation, l'US-EPA a développé une concentration de référence (RfC) de 2.10<sup>-3</sup> mg/m<sup>3</sup><sub>inhalé</sub>.

---

<sup>20</sup> Toxicité aiguë de l'hydrogène sulfuré, INERIS, 2000, Sylvie TISSOT - Annick PICHARD

## Monoxyde de carbone (CO)

Les seuils suivants ont été déterminés par l'INERIS<sup>21</sup>:

- Seuils des Premiers Effets létaux (S.P.E.L.) :

Temps (min)	Concentration (ppm)
10	7 000
20	5 000
30	4 200
60	3 200
120	2 300

Valeurs des seuils d'effets létaux pour CO

- Seuils d'effets irréversibles (S.E.I.) :

Temps (min)	Concentration (ppm)
10	2 600
20	1 800
30	1 500
60	800
120	400

Valeurs des seuils d'effets irréversibles pour CO

Les autres seuils référencés sont :

Pour le travailleur (valeur établie par l'INRS)

- VME : 50 ppm (55 mg/m<sup>3</sup>).

---

<sup>21</sup> Données toxicologiques déterminées par l'INERIS

## Ammoniac (NH<sub>3</sub>)

Les seuils suivants ont été déterminés par l'INERIS<sup>22</sup>:

- Seuils des Premiers Effets létaux (S.P.E.L.) :

Temps (min)	Concentration	
	mg/m <sup>3</sup>	ppm
1	17 708	25 300
10	5 740	8 200
20	4 083	5 833
30	3 337	4 767
60	2 380	3 400

Valeurs des seuils d'effets létaux pour NH<sub>3</sub>

- Seuils d'effets irréversibles (S.E.I.) :

Temps (min)	Concentration	
	mg/m <sup>3</sup>	ppm
1	1 050	1 500
10	606	866
20	428	612
30	350	500
60	248	354

Valeurs des seuils d'effets irréversibles pour NH<sub>3</sub>

Les autres seuils référencés sont :

Pour le travailleur (valeurs établies par l'Union Européenne)

- VLCT (anciennement la VLE) : 50 ppm (36 mg/m<sup>3</sup>),
- VME : 20 ppm (18 mg/m<sup>3</sup>),

Pour une exposition chronique (population)

Pour l'inhalation, l'EPA a développé une concentration de référence (RfC) de 0,1 mg/m<sup>3</sup><sub>inhalé</sub> et l'ATSDR une MRL (Minimum Risk Level) de 0,2 mg/m<sup>3</sup><sub>inhalé</sub>

---

<sup>22</sup> Ammoniac, Émissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère, INERIS, 2003

## **Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)**

La valeur limite d'exposition professionnelle dans l'union européenne est de 5 000 ppm pendant 8 heures.

Il existe une valeur établie par le NIOSH : l'IDLH. Il s'agit d'une concentration maximale dans l'air jusqu'à laquelle un travailleur peut s'échapper sans risquer de mourir ou de ressentir des effets irréversibles sur la santé à la suite d'irritation respiratoire ou oculaire sévère et d'autres effets délétères (désorientation ou incoordination). Cette valeur est de 40 000 ppm pour 30 minutes d'exposition.

## ANNEXE 7

### SEUIL DE DETECTION OLFACTIVE DES PRINCIPAUX COMPOSES ORGANIQUES MALODORANTS

- **Seuil olfactif** : concentration à laquelle 50 % d'une population de référence détecte l'odeur
- **VME : valeur moyenne d'exposition** : valeur réglementaire indiquée par le Ministère du Travail, correspondant à la concentration maximale admissible au poste de travail pendant 8 heures

	<b>Composés</b>	<b>Formule</b>	<b>Caractéristique de l'odeur</b>	<b>Seuil olfactif (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>VME (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>VLCT (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
Soufrés	Hydrogène sulfuré	$\text{H}_2\text{S}$	Œuf pourri	1 à 5	7 000	14 000
	Méthylmercaptan	$\text{CH}_3\text{SH}$	Choux, ail	4 à 50	1 000	-
	Ethylmercaptan	$\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$	Choux	0,3 à 3	1 000	-
	Diméthylsulfure	$(\text{CH}_3)_2\text{SH}$	Légumes en décomposition	3 à 30	-	-
	Diméthyldisulfure	$(\text{CH}_3)_2\text{-S}_2$	Putride	# 50	-	-
	Azotés	Ammoniac	$\text{NH}_3$	Piquant, irritant	5 000	18 000
Méthylamine		$\text{CH}_3\text{NH}_2$	Poisson en décomposition	30 à 300	-	12 000
Diméthylamine		$\text{C}_2\text{H}_6\text{NH}$	Poisson avarié	40 à 100	-	18 000
Triméthylamine		$\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$	Poisson avarié	# 0,5	-	25 000
Propylamine		$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$		# 20	-	-
Butylamine		$\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$		# 500	-	15 000
Aniline		$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$		50 à 1000	10 000	-
Aldéhydes		Formaldéhyde	$\text{HCHO}$	Acre	65 à 1200	700
	Acétaldéhyde	$\text{CH}_3\text{CHO}$	Fruit, pomme	50 à 300	180 000	-
	Propionaldéhyde	$\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$	Rance	# 20	-	-
	Butyraldéhyde	$\text{C}_3\text{H}_7\text{CHO}$	Pomme	20 à 50	-	-
	Valéraldéhyde	$\text{C}_4\text{H}_9\text{CHO}$		20 à 70	175 000	-
Acides gras volatils	Acide acétique	$\text{CH}_3\text{COOH}$	Vinaigre	# 900	-	25 000
	Acide propionique	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$		# 80	30 000	-
	Acide butyrique	$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	Beurre rance	4 à 50	-	-
	Acide Valérique	$\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$	Transpiration	# 5	-	-

## **ANNEXE 8**

Méthode d'évaluation  
du risque microbiologique

D'après l'étude sur « le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque », réalisée à l'INERIS par Bonnard en 2001, la réalisation d'une évaluation de risque microbiologique pourrait présenter trois niveaux.

- Le premier niveau d'information consisterait à présenter de manière générique les effets (voire les risques, si la littérature existante apporte des éléments de quantification en terme de fréquence des pathologies) associés à l'activité. Il s'agit là d'une étude non spécifique à un site, mais relative à un type d'activités, ayant pour but de rechercher, d'analyser et de synthétiser les données disponibles sur les effets relevés pour ce type d'activités, sur les agents en cause, sur les facteurs favorisant l'exposition et sur l'incidence des effets observés.
- Un deuxième niveau d'information pourrait être obtenu par la comparaison de l'installation étudiée à d'autres installations ayant fait l'objet d'analyses antérieures sur les effets et les risques observés. Il peut s'agir d'une comparaison de process pour savoir si les étapes du process, les sources d'exposition sur le site étudié vont dans le sens d'une plus forte ou d'une plus faible exposition par rapport aux cas décrits précédemment.
- Enfin, dans un troisième temps, une approche reposant sur des hypothèses d'exposition et de modélisation pourrait être tentée. A partir du schéma conceptuel d'exposition (défini en fonction du process et en fonction des agents dangereux sélectionnés et de leur devenir dans l'environnement), un essai de quantification de l'exposition, voire du risque pourrait dans certains cas être réalisé. Cette approche repose nécessairement sur un grand nombre d'hypothèses concernant à la fois la source d'exposition (niveau de contamination, occurrence des pathogènes), le devenir dans l'environnement de l'agent (croissance, décroissance, taux d'abattement, facteur de bioconcentration dans un milieu,...), son caractère infectieux et pathogène (caractère viable, relations dose-effet, virulence, sensibilité de l'hôte). Même si la démarche ne pouvait pas être menée jusqu'au bout, la comparaison du niveau d'exposition estimé permettrait une comparaison aux données de la littérature et une discussion du risque, en fonction des hypothèses testées.

A notre connaissance, ce type d'estimation aboutissant à une quantification du niveau de risque a été réalisé dans quelques cas (exemple : Etude de Haas en 1996).

Les données à récoltées pour l'évaluation des risques concernent les disciplines suivantes :

- l'épidémiologie,
- la pathogénicité,
- l'écologie microbienne,
- la microbiologie prédictive,
- la microbiologie analytique.

La sélection des agents à prendre en compte dans l'évaluation des risques passe en effet par un travail qui doit se baser sur les facteurs de pathogénicité, l'écologie

microbienne, la connaissance du mode de transmission des microorganismes, l'épidémiologie et l'étude des cas.

Ce n'est qu'après avoir récolté l'ensemble des informations décrites ci-dessus que l'on peut chercher à évaluer le risque lié à un site spécifique. Or la diversité et la quantité des informations à collecter est peu compatible avec le temps et les moyens disponibles pour constituer le volet sanitaire d'une installation spécifique. L'évaluation du risque microbiologique lié à un projet particulier passe donc par une évaluation du risque lié au type d'activité, les caractéristiques d'un site particulier ne permettant que de moduler ou de préciser les éléments de l'évaluation des risques.

Sur un site donné, il s'agira alors d'identifier les spécificités en terme :

- d'environnement (exemple perméabilité de l'aquifère),
- d'aménagement (exemple présence d'une rivière),
- de process,
- et de populations,

pour préciser les modes et les voies d'exposition et en tenir compte dans l'estimation des doses d'exposition, si les connaissances disponibles le permettent (par exemple : la modulation de la valeur d'un coefficient de partage d'une particule virale dans le sol, en fonction du type de sol).

Dans l'état des connaissances actuelles, les niveaux de risque calculés dans les évaluations de risque peuvent rarement être considérés comme reflétant un niveau de risque réel. Néanmoins, ce type d'approche majorante peut s'avérer être un élément utile de discussion.

Dans tous les cas et quel que soit le niveau d'approche qui pourrait être mené, l'évaluation du risque devrait conduire à la définition de recommandations pour limiter les expositions et donc le risque, et la proposition d'un système de surveillance sur le long terme, pour éviter des dérives et des risques croissants au cours du temps.