

Nouvelles Technologies, Nouveaux Risques dans le monde agricole et industriel.

Unités de méthanisation
SYMPOSIUM 2017 INMA / IMTVL
Tours, 29/09/2017

sebastien.evanno@ineris.fr

Responsable Etude et Recherche Sécurité des Substances et Procédés
Expert Senior Incendie Explosion Direction des Risques Accidentels



Plan de l'intervention

- **Présentation de l'INERIS,**
- **Introduction,**
- **Définition d'unités de méthanisation,**
- **Risques professionnels et environnementaux,**
- **Réglementation applicable,**
- **Mesures de prévention et de protection.**



Présentation de l'INERIS

Notre métier : le risque industriel et l'environnement

Connaître les dangers : **évaluer, réduire, maîtriser les risques**

A toutes les échelles :

Substances : REACH, nanoparticules,
perturbateurs endocriniens

Produits : ATEX, articles pyrotechniques,
batteries => essais et certification



Notre métier : le risque industriel et l'environnement



Procédés et phénomènes dangereux : MTD, sécurité des procédés, incendies, explosion, dispersion, barrières de protection

Installations et sites industriels : étude de dangers, étude d'impact sanitaire, déchets, sécurité minière, canalisation, FOH

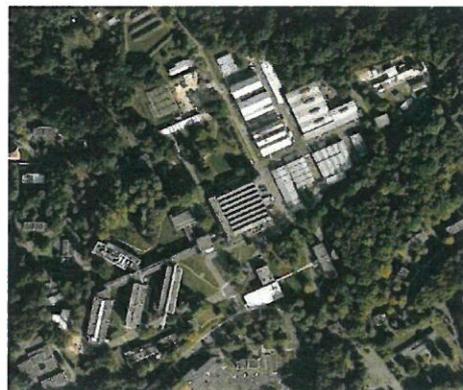


Territoires : PPRT, modélisation de la qualité de l'air, eau, cavités, TMD

L'INERIS : une expertise basée sur l'approche expérimentale, la modélisation et la connaissance du monde industriel

Etablissement Public (EPIC) sous tutelle du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

- **Expérience de longue date** du monde industriel
- **Equipes pluridisciplinaires**
- **550 personnes**, dont **350 ingénieurs** et chercheurs & **50 doctorants**
- Budget d'environ **80 M€**
- **Installations** expérimentales à **grande échelle**
- Site de **40 ha** à Verneuil-en-Halatte (Oise)
2 autres sites : Nancy/après-Mine et Aix-en-Provence/déchets
30 000 m² de laboratoires et halles d'essais
- Plus de **1 000 clients** chaque année en France et à l'international



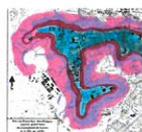
Une synergie entre expertises au service des entreprises, activités de recherche et missions de service public

Accompagner tous les acteurs dans l'évaluation et la maîtrise des risques

Risques Chroniques



Risques Sols et Sous-sol



Risques Accidentels



Certification Produits et Personnes



INERIS

maîtriser le risque pour un développement durable

Nos engagements qualité

Accroître la satisfaction de nos clients,
Améliorer l'efficacité de notre système de management de la qualité

Certification ISO 9001 pour nos activités

Etude et Recherche Certification Conseil Essais et élaboration de produits
Expertise Formation dans les domaines des risques et de l'environnement industriel



Accréditations COFRAC

ISO/CEI 17025 - Essais et étalonnages



ISO/CEI 17043 - Organisations de comparaisons interlaboratoires



ISO/CEI 17065 - Certification de produits et services

Reconnaissance de conformité aux Bonnes Pratiques de Laboratoires BPL

(selon article annexe II à l'Article D523-8 du Code de l'Environnement du 16 octobre 2007)

- Domaine 2 : études de toxicité
- Domaine 4 : études écotoxicologiques sur les organismes aquatiques et terrestres
- Domaine 5 : études portant sur le comportement dans l'eau, le sol et l'air ; bioaccumulation
- Domaine 8 : méthodes de chimie analytiques et cliniques



GRUPE INTERMINISTÉRIEL DES PRODUITS CHIMIQUES

INERIS

maîtriser le risque pour un développement durable

Introduction

Introduction

3 challenges successifs pour optimiser la sécurité de l'unité sur le terrain :

- **Challenge « Développement du projet de méthanisation » :**
 - Aspects techniques : besoins fonctionnels, performances exigées et sécurité,
 - Aspects administratifs et réglementaires (permis de construire, permis d'autorisation),
 - Aspects financiers et juridiques.
- **Challenge « Construction du projet de méthanisation » :**
 - Aspects techniques (conception et dispositions constructives des unités fonctionnelles adaptés aux divers intrants) et réglementaires (ATEX, ICPE...),
 - Aspect Essais et Contrôle en cours de travaux et à la réception (Constructeur / Exploitant)
 - Aspects délais.
- **Challenge « Mise en exploitation et Pilotage de l'unité de méthanisation » :**
 - Maîtriser les aléas techniques et organisationnels pour optimiser la sécurité, les impacts, la production / valorisation du biogaz et du digestat.
 - Prévenir les risques et acquérir des réflexes de sécurité durables.

Définition d'unités de méthanisation.

Définition

La méthanisation (encore appelée digestion anaérobie) est une technologie basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène (réaction en milieu anaérobie, contrairement au compostage qui est une réaction aérobie).

Cette dégradation aboutit à la production :

- d'un digestat (produit humide riche en matière organique partiellement stabilisée).
- de biogaz, mélange gazeux composé d'environ 50% à 70% de méthane (CH_4), de 20% à 50% de gaz carbonique (CO_2), saturé en eau et quelques autres gaz (NH_3 , N_2 , H_2S).

4 secteurs alimentent la méthanisation en matières organiques :

- agricole,
- industriel,
- déchets ménagers,
- boues urbaines.

Quels déchets ?

Toute la matière organique est susceptible d'être ainsi décomposée (excepté des composés très stables comme la lignine) et de produire du biogaz, avec un **potentiel méthanogène toutefois très variable**. Les déchets méthanisés peuvent être d'origine :

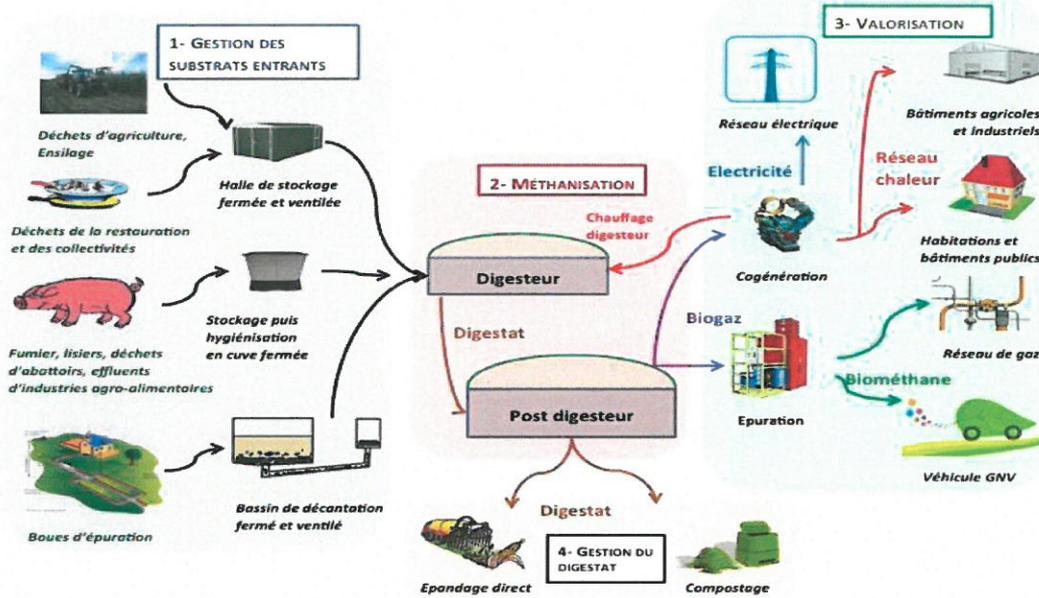
- **agro-industrielle** : abattoirs, caves vinicoles, laiteries, fromageries, ou autres industries agro-alimentaires, industries chimiques et pharmaceutiques, etc ...
- **agricole** : déjections animales, résidus de récolte (pailles, spathes de maïs ...), eaux de salle de traite, etc...
- **municipale** : tontes de gazon, fraction fermentescible des ordures ménagères, boues et graisses de station d'épuration, matières de vidange, etc ...
- **stations d'épuration des eaux usées collectées**.

Un exemple de biogaz : le biogaz agricole

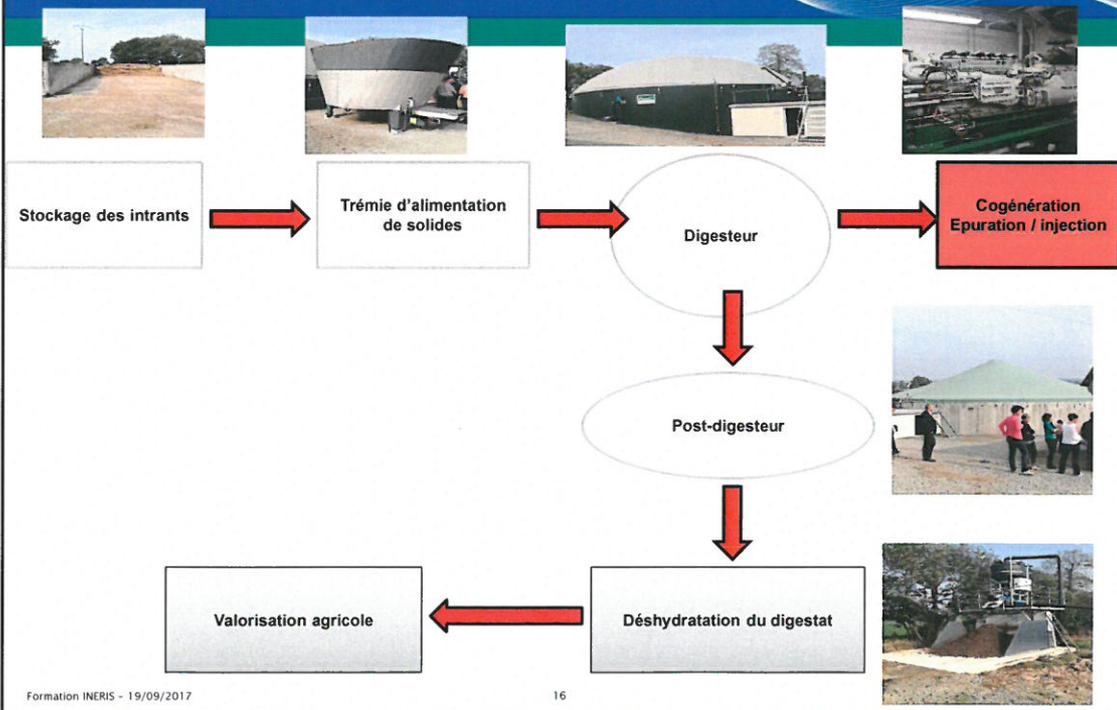
➤ En l'absence d'oxygène, le biogaz est produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales. Sa composition varie en fonction de la nature des substrats entrants et des conditions opératoires. Les teneurs des principaux composants du biogaz agricole sont les suivantes :

- ✓ CH_4 : 50 % à 80 %,
- ✓ CO_2 : 25 % à 45 %,
- ✓ H_2S : < 8 000 ppm (biogaz brut), < 100 ppm (biogaz épuré),
- ✓ NH_3 : < 100 ppm, N_2 : < 2 %,
- ✓ CO : < 1 000 ppm,
- ✓ O_2 : 5 à 12 % d'air et donc < 2 % O_2 ,
- ✓ COV : < 1 % v/v,
- ✓ Eau : saturation (comprise entre 2 et 7 %).

Schéma de principe d'unité de méthanisation



Unité de méthanisation agricole



Stockage des intrants (solides, liquides, graisses...)

Silos plats de stockage intrants solides



Cuve de stockage intrants liquides



Cuve béton pour le stockage liquide / semi-liquide et solide



Préparation et prémélange des intrants

Mélange des substrats solides et liquides



Cuve d'hygiénisation en second plan et fosse de réception des matières à hygiéniser



Prémélange des substrats / préparation de la recette :



Digestion et post digestion



Vue d'ensemble : digesteur (G), cuve intrants solides (milieu), cuve intrants liquides (D)



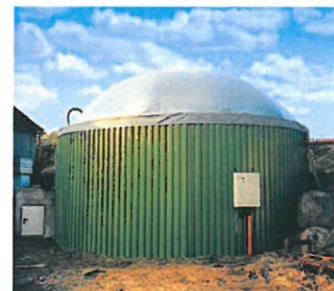
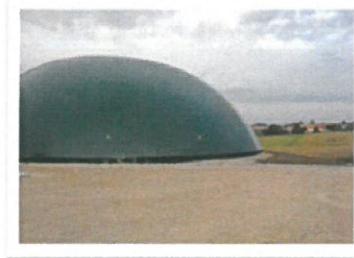
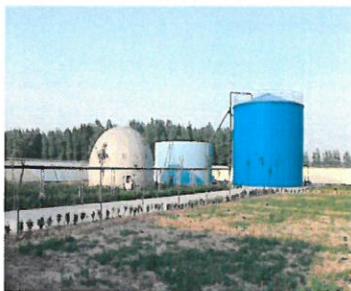
Digesteur (à droite la cuve recevant les déchets solides)

Digesteur à gauche, post-digesteur à droite



Vue d'ensemble : digesteur, post digesteur, stockage digestat brut

Stockage du biogaz gazomètre à double membrane)



Condensation et traitement du biogaz brut

Puits de condensat du biogaz brut



Traitement du biogaz brut avant valorisation



Réseau biogaz brut et dispositifs de sécurité

Réseau de canalisation de biogaz brut (attention il faudra supprimer sur le dessin la torchère)



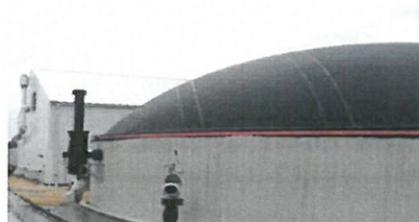
Soupape de sécurité avec canalisation de rejet



Torchère fixe du biogaz



Digesteur avec sa soupape de sécurité



Valorisation énergétique (électricité, chaleur, injection biométhane dans le réseau GrdF)

Epuration biogaz



de gauche à droite : poste d'injection, local d'épuration, local chaudières ; au premier plan à droite, torchère de sécurité

Cogénération biogaz

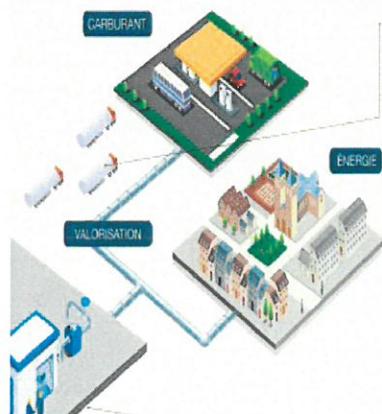


Local de cogénération avec circuit d'évacuation des fumées

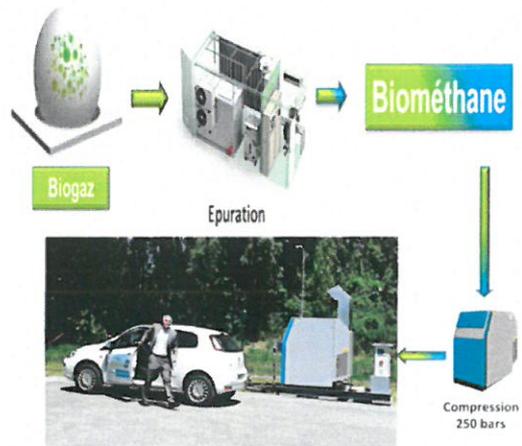


Valorisation énergétique (électricité, chaleur, injection biométhane dans le réseau GrdF)

Valorisation énergétique (utilisation carburant GNV)



En fonction de l'usage :
unité de liquéfaction
qui permet de transporter
le biométhane
par voie routière



Valorisation du digestat solide

Séparateur de phase



Stockage phase solide



Séparateur de phase

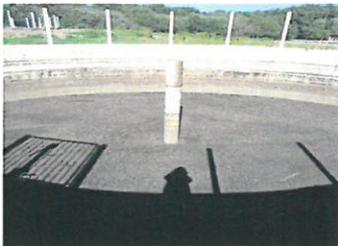


Sécheur à bandes du digestat solide



Valorisation du digestat liquide

Stockage phase liquide (en fosse)



Epandage / compostage >> usage agricole.



Risques professionnels et environnementaux

Risque Chimique : Le Biogaz

En l'absence d'oxygène, le biogaz est produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales. Sa composition varie en fonction de la nature des substrats entrants et des conditions opératoires. Les teneurs des principaux composants du biogaz agricole sont les suivantes :

- CH₄ : 50 % à 80 %, CO₂ : 25 % à 45 %,
- H₂S : < 20 000 ppm (biogaz brut), < 100 ppm (biogaz épuré),
- NH₃ : < 100 ppm, N₂ : < 2 % vol/vol,
- CO : < 1 00 ppm,
- O₂ : < 2 % O₂,
- COV : < 1 % vol/vol,
- Eau : saturation (compris entre 2 et 7 %).
- NH₃ : < 100 ppm

Le CH₄ est un gaz à effet de serre dont le potentiel de réchauffement global sur un siècle est 23 fois plus important que celui du CO₂.

Phénomènes accidentels associés au biogaz

- **Explosion** d'une ATEX (CH_4 , O_2 de l'air, Source d'inflammation, domaine d'explosivité, confinement),
 - Domaine d'explosivité du CH_4 dans l'air : 5 % - 15 %,
 - Domaine d'explosivité du biogaz (50 % CH_4 / 50 % CO_2) dans l'air saturé de vapeur d'eau : 10 % - 24 % (soit entre 5 % et 12 % CH_4),
 - TAI : 535°C.
- Directives ATEX 1999/92/CE et 2014/34/UE (exigences en matière de sécurité face au risque d'explosion).
- **Incendie** lié à la présence de gaz et de matériaux combustibles.
- **Surpression ou dépression** interne dans des stockages de gaz (dysfonctionnement de soupape).
- **Intoxication** lié à l' H_2S qui présente un risque de toxicité aiguë dans les milieux confinés et semi confinés (gaz plus dense que l'air). Ne pas oublier les émissions NH_3 (post digesteur, compostage, jus de digestat).

Phénomènes accidentels associés au biogaz

- **Anoxie** : elle correspond à une diminution du taux d'oxygène de l'air. Celle-ci peut être provoquée par un dégagement important de gaz inertes dans l'atmosphère se substituant à l'oxygène de l'air. La teneur minimale réglementaire à respecter en oxygène dans un lieu de travail est de 19 %. Dans le cas du biogaz, les principaux gaz, en quantité suffisante, ayant un pouvoir anoxiant sont le méthane (CH_4) et le dioxyde de carbone (CO_2).
- **Pollution des sols** : le déversement accidentel de substrat ou de digestat peut avoir, entre autres, pour conséquence une pollution accidentelle à l'azote et/ou microbienne, pouvant générer des dégradations durables pour le milieu.
- **Nuisances olfactives** : H_2S , NH_3 , COV contenus dans le biogaz.

Principaux risques chroniques liées aux émissions

- Exposition des opérateurs
 - interventions dans des espaces confinés
 - fuites des équipements
 - manipulations de produits chimiques
 - opérations particulières
- Nuisances au voisinage (olfactive, bruit, etc.)
- Pollution atmosphérique

Attention au risque sanitaire associés au risque biologique inhérents aux déchets contenant des sous produits animaux

Méthane (CH₄)

- Indicateur du bon déroulement de la méthanisation (teneur habituelle comprise entre 50 et 75%)
- Un bon Indice de méthane favorise le déroulement de la combustion et augmente la durée de vie du moteur (favorable : teneur en méthane, CO₂, défavorable : H₂, Hydrocarbures)
- Risque d'asphyxie par manque d'oxygène
- Risque d'inflammation et d'explosion (en cas de fuite)
- Gaz à effet de serre

Hydrogène sulfuré ou sulfure d'hydrogène (H₂S)

- Exposition professionnelle (locaux confinés)
- Nuisances olfactives
- Pollution atmosphérique (formation de SO₂)
- Corrosion / durée de vie des moteurs
- Inflammable (fuite des équipements)

Nuisances olfactives (H₂S)

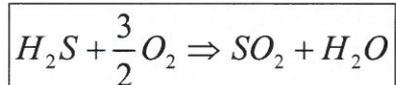
- Odeur caractéristique d'œuf pourri (seuil de perception olfactive : < 1 ppm)
- Fonctionnement normal
 - aérations et fuites des équipements
 - alimentation de la fosse et divers stockages (digestat)
- Opérations annexes
 - maintenance des équipements (mise à l'air)
 - nettoyage
- Incidents ou accidents (écoulements, ouverture de soupape, etc.)

Toxicité / Exposition des opérateurs (H₂S)

- Valeurs limites d'exposition professionnelle
 - 10 ppm sur 15 mn, 5 ppm sur 8 heures
- Seuil de toxicité
 - 100 ppm : odorat perturbé
 - 500 ppm : perte de l'équilibre et effet léthal au-delà de 20 mn
 - haute toxicité sur la faune
- Locaux confinés, fuites des équipements, prises d'échantillons, etc.
- Opérations annexes (maintenance, nettoyage, etc.)
- Incidents ou accidents (intervention dans des espaces confinés)

Formation de dioxyde de soufre (SO₂)

- Oxydation de l'hydrogène sulfuré lors de la combustion



- Gaz responsable des pluies acides et de l'acidification des milieux
- 260 ppm d'H₂S dans le biogaz se transforme lors de la combustion en moteur (teneur de référence à 5% d'O₂) approximativement en 100 mg/m³ de SO₂ (VLE des AMs du 08/12/2011)

Corrosion / durée de vie du moteur (H₂S)

- Seuil de garantie des moteurs : 200 à 500 ppm (selon les constructeurs)
- Acidification des huiles moteurs nécessitant des vidanges fréquentes (surcoût d'exploitation)
- Formation d'acide sulfurique en présence d'eau (biogaz saturé en eau)
 - éviter la présence d'eau stagnante dans les conduites
 - condensation de la vapeur d'eau : la teneur en eau augmente avec la température

NB : l'élimination de la vapeur d'eau permet en outre d'augmenter le rendement du moteur

Ammoniac (NH₃)

- Valeur limite d'exposition professionnelle :
 - 7 mg/m³ sur 8 heures, 14 mg/m³ sur 15 minutes
- Seuil de toxicité
 - 100 ppm : irritations nez, gorge, voies respiratoires
 - 2400 ppm : irritations fortes, peut être fatal après 30 mn
- Teneurs habituelles dans le biogaz : faibles à plus de 100 ppm (74 mg/m³)
- Accélérateur de la combustion pouvant entraîner des contraintes thermiques (surchauffe)
- Nuisances olfactives (seuil olfactif : environ 30 mg/m³)
- Formation d'oxydes d'azote (NO_x) lors de la combustion

Réglementation applicable

Accidentologie méthanisation (Base ARIA du BARPI)

Au 05/07/12, **32 cas ont été répertoriés en France**. Le BARPI présente aussi **20 cas étrangers, dont 14 en Allemagne et 6 cas en Australie, Autriche, Inde, Italie, Suisse et aux Etats Unis**.

Activités concernées : Collecte, traitement & élimination déchets (35 %), Culture & production animale (27 %), Collecte & traitement eaux usées (23 %), Industrie alimentaire (4 %), Industrie papier & carton (8 %), Industrie chimique (2 %), Production & distribution électricité (2 %).

Typologie : Rejet matières dangereuses / polluantes (64 %, rejet de digestat, fuite biogaz et H₂S), incendie (33 %, zone de stockage, local de cogénération), explosion (31 %, digesteur, local compression, gazomètre) et chute / projection d'équipements (8 %),

Circonstances (32 cas) : Période d'activité réduite (13 cas), travaux (7 cas), construction (2 cas).

Causes (41 cas) : Facteur Humain et Organisationnel (30 cas), défaillance matérielle (20 cas), événement initiateur externe (6 cas, dont naturel 3 cas), malveillance (4 cas).

Conséquences (49 cas) : Morts (3 cas, opérateurs du site, 4 intoxiqués, 5 tués par explosion), blessés (6 cas), eaux superficielles (11 cas, avec atteinte faune sauvage 3 cas), pollution atmosphérique (8 cas), sols (5 cas) et nappes (1 cas), dommages matériels internes (30 cas dont aussi externes 2 cas).

- Des **dangers** certes, attestés par le **retour d'expérience**, mais des **conséquences pour les populations et l'environnement limitées**. Possibilité de **maîtriser les risques** par une démarche rigoureuse de **prévention** en respect de la réglementation ICPE (arrêtés méthanisation, DAE) et de la réglementation ATEX (DRPCE).
- 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 et humaines de sécurité**,
- **Contrôler régulièrement la fiabilité de ces barrières de sécurité (techniques et organisationnelles) pour garantir leur bon fonctionnement sur le long terme (entretien et maintenance)**,
- Situation à risque lors des **phases d'intervention** dans des digesteurs, dans des locaux contenant des canalisations de biogaz (travaux par points chauds, maintenance ...), et les **phases transitoires** (démarrage d'installation, mise à l'arrêt),
- **Formation** des exploitants aux risques liés à la mise en œuvre du biogaz afin que les **mesures de sécurité soient convenablement comprises et appliquées**.

Installations de méthanisation et réglementation en France

Agrément sanitaire : Dans le cas de la méthanisation de sous-produits animaux, un agrément sanitaire délivré par l'autorité compétente (DDPP) est nécessaire conformément au Règlement CE n° 1774/2002 du Parlement Européen et du Conseil du 3 Octobre 2002 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux non destinés à la consommation humaine, remplacé par le 1069/2009 à compter du 04 mars 2011.

ICPE :

Rubrique ICPE n°2780 « Installation de compostage de déchets »

Rubrique ICPE n°2781 « Méthanisation des déchets non dangereux ou matière végétale ».

Rubrique ICPE n° 2782 « Autres traitements biologiques de déchets non dangereux »

Rubrique ICPE n°2910 « Installation de combustion ».

Rubrique ICPE n°4310 « Gaz inflammables catégorie 1 et 2 ».

...

ATEX : Directive ATEX 2014/34/UE appelée « Directive ATEX Matériel ».

Directive ATEX 1999/9/CE du 16 décembre 1999 « Directive ATEX sécurité des travailleurs ».

Installations de méthanisation et réglementation en France

Machines :

Directive 2006/42/CE « conception machine » du 17 mai 2006.

Directive 2006/104/CE « utilisation machine » du 16 septembre 2009 concerne les prescriptions minimales de santé et de sécurité pour l'utilisation par les travailleurs d'équipements de travail.

Equipements de Protection Individuelle (EPI) :

Directive 89/686/CE du 21 décembre 1989 appelée « Directive EPI ».

Instruments de mesure (détecteur multi gaz) :

Directive 2004/22/CE du 31 mars 2004.

Mesures de prévention et de protection.

Quelques règles importantes...

- Une évaluation spécifique des risques pour la santé et la sécurité doit être effectuée pour chaque installation.
- Les matériaux de construction doivent être choisis en fonction des conditions de fonctionnement (chimiques, UV, thermiques, pression, résistant au feu et étanches aux gaz).
- La détection et l'alarme d'incendie doivent être installées dans des zones dangereuses ainsi que des équipements appropriés pour faire face à une urgence incendie.
- Les zones ATEX doivent être définies et étiquetées. L'équipement, électrique et non électrique, doit être adapté à la zone ATEX.
- Les capteurs de gaz fixes doivent être installés dans des zones dangereuses et une attention particulière devrait être accordée lorsque le sulfure d'hydrogène pourrait être présent.

Quelques règles importantes...

- La ventilation doit être adaptée à la zone dangereuse (naturelle ou mécanique).
- Évitez les pipelines de biogaz bruts dans des espaces confinés, sinon la ventilation devrait être suffisamment efficace pour éviter l'accumulation de H₂S, CO₂ et CH₄ en cas de fuite.
- Tout équipement de stockage de biogaz (digesteur, post-digesteur, stockage supplémentaire de gaz, ...) doit être équipé de vannes de sécurité et relié à l'évasement.
- Les équipements soumis à une déclaration de conformité de l'UE (équipement ATEX, machines, ...) doivent être identifiés.
- Avant le démarrage de l'installation de biogaz, toute l'installation doit être vérifiée.
- Avant le démarrage de l'installation de biogaz, toutes les procédures d'intervention et de maintenance doivent être établies ainsi que le démarrage et l'arrêt de tout l'équipement et un plan d'urgence

Quelques règles importantes...

- Les opérateurs doivent être formés ainsi que tout le personnel de l'entreprise externe intervenant sur l'usine de biogaz.
- L'inspection visuelle quotidienne de l'installation doit être organisée.
- La qualité des matières premières doit être contrôlée pour éviter les incidents ou les accidents tout au long du processus de biogaz.
- Il est nécessaire de contrôler tous les jours le système de désulfuration par injection d'air (débit d'air et efficacité).
- Le plan de maintenance des installations, y compris les contrôles et les inspections d'experts externes, doit être établi et effectué conformément aux recommandations du fabricant.
- Une attention particulière doit être accordée à la maintenance de l'équipement certifié ATEX (électrique et non électrique): il sera effectué par du personnel qualifié pour s'assurer que le matériau conserve ses caractéristiques ATEX.

Quelques règles importantes...

- Les opérateurs doivent être équipés de détecteurs de gaz portables adaptés aux risques potentiels d'intervention.
- Les opérateurs doivent être équipés d'un équipement de protection individuel adapté à chaque opération.
- L'émission de composants odorants (H_2S , NH_3 , acides gras volatils, COV, ...) se produit principalement lors de l'approvisionnement et du stockage des matières premières.
- Pour éviter les émissions d'odeurs, la livraison et le stockage des intrants et du digestat peuvent être réalisés à l'intérieur d'un bâtiment confiné avec une légère sous-pression pour éviter toute odeur à l'extérieur. Dans le bâtiment, un système de ventilation spécifique doit être mis en place avec un traitement de l'air tel qu'un biofiltre ou un système de nettoyage d'air chimique afin d'éliminer les composants odorants.

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Etudes disponibles sur le site ineris.fr :

- Retour d'expérience relatif aux procédés de méthanisation et à leurs exploitations réalisée en 2012 pour le MEDDE (INERIS DRA-12-117442-01013A).
- Etude des risques liés à l'exploitation des méthaniseurs réalisée en 2010 pour le MEDAD (INERIS DRA-07-88414-10586B).
- Règles de sécurité des installations de méthanisation agricole réalisées pour le MAAP (2010).

