



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 206801 - 2758429 - v1.0

23/01/2023

Guide de bonnes pratiques sur la prévention du risque d'inflammation d'origine électrostatique en zone ATEX dans les installations de méthanisation

**Guide rédigé en partenariat entre l'Ineris et
le Club Biogaz ATEE**

Programme d'appui à l'Administration IDE 30 :

Opération B3 « Prévention des risques liés aux sources
d'inflammation d'origine électrostatique »

Ministère de la Transition écologique
et de la Cohésion des territoires

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Incendie, Dispersion, Explosion

Rédaction : BOUDALAA Mohamed

Vérification : STOUVENEL MICKAEL; EVANNO SEBASTIEN

Approbation : Document approuvé le 23/01/2023 par PIQUETTE BERNARD

Table des matières

1	Contexte	6
2	Introduction et cadre réglementaire	8
3	Description succincte d'une installation de méthanisation	9
4	Phénoménologie de l'explosion ATEX et de l'électricité statique	10
4.1	Mécanismes de base à l'électrisation.....	10
4.2	Types de décharges électrostatiques.....	11
4.3	Caractéristiques d'inflammabilité de gaz inflammables et pulvérulents combustibles	13
5	Evaluation du risque d'inflammation d'origine électrostatique située en zone ATEX	19
5.1	Retour d'expérience appliqué aux unités de méthanisation	19
5.2	Classement de zones ATEX dans une unité de méthanisation.....	20
5.3	Identification des sources d'inflammation d'origine électrostatique	23
5.4	Démarche normative et expérimentale d'évaluation de l'électricité statique.....	24
5.5	Bonnes pratiques de prévention de l'électricité statique	26

Résumé

Dans le cadre d'un programme d'appui à l'Administration relatif à la maîtrise des risques associés aux substances, produits et procédés, l'Ineris en partenariat avec Club Biogaz ATEE a animé un groupe de travail relatif à la prévention du risque électrostatique des équipements intégrés aux installations de méthanisation ; ceci dans le contexte de la révision en juin 2021 des AMPG Déclaration (Article 2.8), Enregistrement (Article 20), Autorisation (Article 36) de la rubrique IC 2781. Ces textes révisés ont créé la prescription réglementaire suivante : « Les matériaux isolants installés dans un emplacement avec une présence d'une atmosphère explosive (membrane souple, etc.) sont conçus pour être de nature antistatique selon les normes en vigueur ».

Au cours de l'année 2022, l'Ineris a organisé deux journées de travail sur le principe de celles tenues en 2021 (10 et 30 juin 2021) en invitant les participants à échanger sur leurs problématiques électrostatiques / ATEX à travers leur REX incidents et accidents d'une part, et de de leurs bonnes pratiques professionnelles déployées pour limiter ces risques. En effet, les équipements intégrés aux procédés de méthanisation (digesteur, post digesteur, canalisation, etc.) sont des solutions innovantes pour la valorisation des biodéchets mais ces procédés et leurs installations interrogent leurs concepteurs et exploitants quant à la prévention des risques d'inflammation d'origine électrostatique d'atmosphères explosibles air/biogaz.

Sur la base des échanges menés lors de réunions animées par l'Ineris, de la visite et la collecte du REX d'exploitants de sites en 2021 (visite du site SEDE Artois Méthanisation le 12/10/2021) et en 2022 l'Ineris a rédigé en partenariat avec le Club Biogaz ATEE, un guide pédagogique sur la prévention du risque d'inflammation d'origine électrostatique en zone ATEX dans les installations de méthanisation.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 206801 - v1.023/01/2023.

Mots-clés :

AMPG : Arrêté Ministériel de Prescriptions Générales.

APSAD : Assemblée Plénière de Sociétés d'Assurances Dommages.

ATEE : Association Technique Energie Environnement.

ATEX : ATmosphère EXplosive.

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières.

CEI : Commission Electrotechnique Internationale.

CEM : Compatibilité Electromagnétique.

CIVE : Culture Intermédiaire à Vocation Energétique.

DRPCE : Document Relatif à la Protection Contre les Explosions.

EMI : Energie Minimale d'Inflammation.

EN : Norme Européenne.

GT : Groupe de Travail.

IC : Installation Classée.

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement.

INRS : Institut National de la Recherche Scientifique.

Kg : Paramètre de violence d'explosion de gaz ou vapeur inflammable.

LIE : Limite Inférieure d'Explosivité.

mJ : millijoule.

Pex : Pression d'explosion.

REX : Retour d'expérience.

SPAn : Sous-produits animaux.

TAI : Température d'Auto-Inflammation.

1 Contexte

Ce guide pédagogique sur la prévention du risque d'inflammation d'origine électrostatique en zone ATEX dans les installations de méthanisation a été rédigé par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) en partenariat avec le Club Biogaz ATEE, dans le cadre d'un programme d'appui à l'Administration relatif à la maîtrise des risques associés aux substances, produits et procédés.

Ce guide est le produit des travaux du groupe de travail "Prévention du risque électrostatique en méthanisation" organisé par l'Ineris¹ et le Club Biogaz ATEE animé principalement par Sébastien Evanno (Ineris), Mohamed Boudalaa (Ineris) et Marc Schlienger (DG Club Biogaz ATEE) de septembre 2020 à septembre 2022. Vous retrouverez la liste des participants au groupe de travail en fin de guide. Le guide est susceptible d'évoluer, notamment par le retour d'expérience et des apports qui peuvent être adressés à l'adresse suivante : club.biogaz@atee.fr / sebastien.evanno@ineris.fr

Ce guide est un document d'aide réalisé par l'Ineris et le Club Biogaz ATEE et n'a aucune valeur juridique. Il a été établi de bonne foi et représente l'état de la technique et des connaissances à ce jour. Il peut être sujet à des modifications ou amendements de la part de l'Ineris avec l'ATEE en fonction de l'évolution des techniques et connaissances, notamment en fonction de nouvelles réglementations ou normes. Les informations qu'il contient ont un caractère indicatif et ne prétendent pas à l'exhaustivité ou l'exactitude.

Ce guide ne saurait se substituer aux analyses et conseils d'un professionnel (avocat, courtier, etc.). L'Ineris et L'ATEE ne sauraient être tenus responsables de toute décision fondée sur les informations mentionnées dans ce guide.

Remerciements particuliers pour l'accès donné aux interlocuteurs suivants pour leurs autorisations d'accès et de visite détaillée de leurs installations de méthanisation :

- Alice Delaire pour l'unité de la société SEDE à de Graincourt-lès-Havrincourt (62) ;
- Mauritz Quaak pour la société Bioenergie de la Brie à Chaumes-en-Brie (77) ;
- Jean-Sébastien Lhospitalier pour la société Methelec à Ennezat (63).

Liste des participants au groupe de travail "Prévention du risque électrostatique en méthanisation" organisé par l'Ineris et le Club Biogaz ATEE animé principalement par Sébastien Evanno (Ineris), Mohamed Boudalaa (Ineris) et Marc Schlienger (DG Club Biogaz ATEE) de septembre 2020 à septembre 2022 :

Participants	Société
Sébastien Evanno	Ineris
Mohammed Boudalaa	Ineris
Marc Schlienger	Club Biogaz ATEE
Jean-Sébastien Tronc	HOST France
Pierre Sureau	Bureau VERITAS
Marie-Charlotte Chatelain	VALOTECH Energies
Martin Hanrot	SEIMBREIZH
Melanie Bénétiau	GR ENERGIE

¹ Dans le cadre d'un programme d'appui Ineris (IDE 30) qui a pour objectif principal d'éclairer et d'accompagner le Ministère de la Transition Ecologique dans la maîtrise des risques associés aux substances, produits et procédés.

Participants	Société
Erwann Porrot	CER FRANCE
Corentin Herve	BIOGAZ INGENIERIE
Stephane Dutremée	BIOGAZ INGENIERIE
Thomas Béchu	AGRIKOM France
Angeline Lapella	TRYON
Germain Bredin	VEOLIA
Anne-Lise Talbi	ARCAVI
Gauthier Accarier	CVE
Valentin Fougerit	NASKEO
Alice Delaire	SEDE
Amr Chamaa	INNOLAB
Benjamin Greffier	NATURE ENERGY
Jean-Sébastien Lhospitalier	METHELEC
Fabien hallier	CH4PROCESS
Charles-Elie Lefaucheur	DESOTEC
Mauritz Quaak	BIOENERGIE DE LA BRIE

2 Introduction et cadre réglementaire

La réglementation environnementale applicable à la méthanisation est régulièrement adaptée afin de faciliter le développement de la filière tout en maintenant un haut niveau d'exigence de protection de l'environnement.

Les unités de méthanisation sont des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) visées par la rubrique 2781² et, à ce titre, soumises aux régimes de la déclaration avec contrôle périodique, de l'enregistrement (« autorisation simplifiée ») ou de l'autorisation selon la capacité de production et la nature des intrants utilisés. Une liste fermée d'intrants permet un classement en 2781-1 tandis que certains sous-produits animaux (SPAN) de catégorie 2, les déchets alimentaires et les boues de station d'épuration notamment, conduisent à un classement en 2781-2.

Le classement définit le choix des régimes administratifs possibles et des exigences de prévention et de protection des impacts sur l'environnement à mettre en œuvre depuis la conception jusqu'à la fin de vie d'une installation.

Plusieurs dispositions nouvelles sont introduites récemment dans les obligations réglementaires des exploitants d'unités de méthanisation depuis la révision en juin 2021 des arrêtés ministériels de prescriptions générales (AMPG) des installations de méthanisation (ICPE 2781).

Ces textes présentent un double objectif. D'une part, renforcer et harmoniser les prescriptions portant sur la gestion des risques de pollution, ainsi que sur la gestion des risques d'incendie et d'explosion.

D'autre part, intégrer les prescriptions relatives aux meilleures techniques disponibles (MTD) pour le traitement des déchets applicables aux installations soumises à autorisation.

La révision en juin 2021 a concerné, en particulier, des dispositions relatives à la prévention des risques électrostatiques associés aux équipements intégrés aux unités de méthanisation.

Par exemple, l'article 20 du régime, dit de l'enregistrement, est modifié en conséquence (cf. les articles des AMPG 2781 traitant des mêmes dispositions pour les régimes de la déclaration et de l'autorisation.

Article 20 : Matériels utilisables en atmosphères explosives.

*Dans les parties de l'installation mentionnées à l'article 11 présentant un risque d'incendie ou d'explosion, les équipements électriques, mécaniques, hydrauliques et pneumatiques sont conformes aux dispositions du décret n° 2015-799 du 1^{er} juillet 2015 relatif aux produits et équipements à risques susvisé. Ils sont réduits à ce qui est strictement nécessaire aux besoins de l'exploitation et sont entièrement constitués de matériels utilisables dans les atmosphères explosives. Les matériaux utilisés pour l'éclairage naturel ne produisent pas, lors d'un incendie, de gouttes enflammées. **Les matériaux isolants installés dans un emplacement avec une présence d'une atmosphère explosive (membrane souple, etc.) sont conçus pour être de nature antistatique selon les normes en vigueur.***

L'exploitant assure ou fait effectuer la vérification périodique et la maintenance des matériels de sécurité et de lutte contre l'incendie mis en place (exutoires, systèmes de détection et d'extinction, portes coupe-feu, colonne sèche par exemple, alarmes, détecteurs de gaz, injection d'air dans le biogaz ...) et organise les tests et vérifications de maintenance visés à l'article 22.

Ainsi, il s'agit, pour les installations de méthanisation, de s'assurer que dans les zones où une atmosphère explosive peut se développer, les matériaux rentrant dans la composition des équipements employés soient de nature antistatique.

² https://aida.ineris.fr/consultation_document/10757

3 Description succincte d'une installation de méthanisation

Les installations de méthanisation produisent du biogaz (mélange principalement de méthane et de gaz carbonique) qui est un gaz inflammable à prendre en compte dans la détermination des zones à risques d'explosion³ (zones ATEX). Dans ses obligations et à l'ouverture du site, l'exploitant doit disposer, conformément à la réglementation ATEX 1999/92/CE⁴, du document relatif à la protection contre les explosions (DRPCE). Ce document présente de manière exhaustive les zones ATEX accompagnées de l'évaluation des risques correspondants et les mesures de protection à mettre en place. Ce zonage sera réalisé en accord avec les dispositions constructives des constructeurs.

Figure 1 : Schéma de description du fonctionnement d'une installation de méthanisation
(Source : Ineris)



³ Suivant les définitions de la Directive ATEX 1999/92/CE du Parlement Européen et du Conseil.

⁴ Décret n°2008-244 du 07/03/2008 codifié aux articles R4216-31 et R4227-42 à R4227-54 du Code du Travail transposant en droit français la Directive Européenne 1999/92/CE du 16/12/99 concernant 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 explosibles.

4 Phénoménologie de l'explosion ATEX et de l'électricité statique

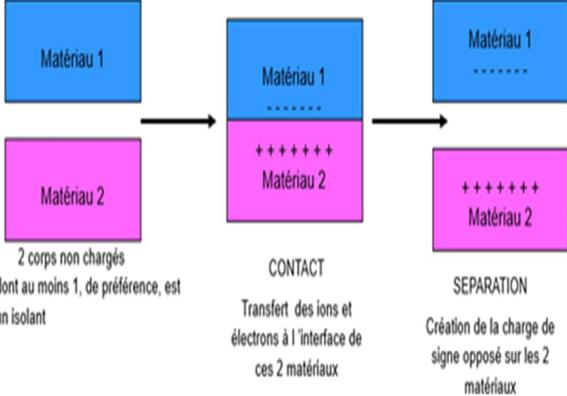
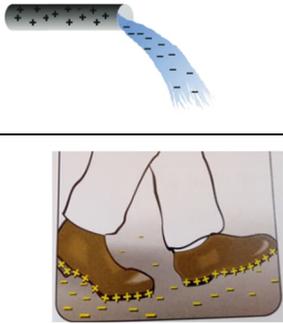
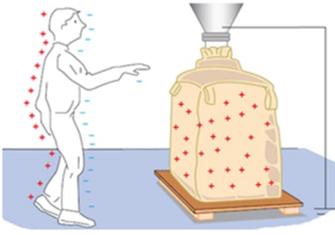
4.1 Mécanismes de base à l'électrification

L'électricité statique est un phénomène présent au quotidien. Qui n'a jamais ressenti une petite décharge électrique en s'approchant d'un véhicule, en touchant la poignée de porte d'un bureau, ou encore en serrant la main d'un collègue ?

Le phénomène est tellement familier que tout le monde vit avec au quotidien et sans appréhension particulière. Pourtant, cet incident anodin peut entraîner des conséquences en situations industrielles bien plus graves comme la mort d'homme et/ou des dégâts matériels.

Le tableau 1 présente une synthèse des mécanismes de base et de contrôle du phénomène électrostatique, illustrée par les situations matérialisant la problématique tout en révélant la présence de cette double couche de charge.

Tableau 1 : Descriptif des mécanismes de base à la génération de charge électrostatique

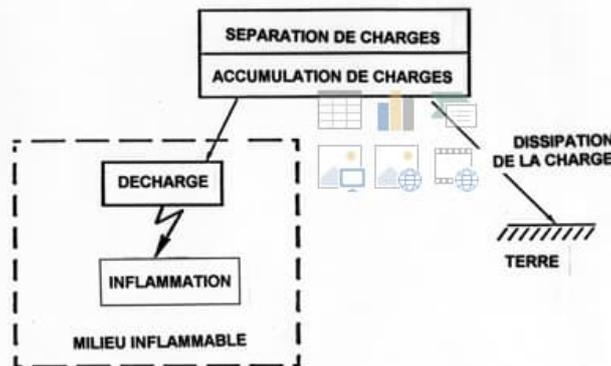
Etapes principales	Descriptif des paramètres d'influence	Situations courantes
Contact et séparation «Triboélectricité »	 <p>2 corps non chargés dont au moins 1, de préférence, est un isolant</p> <p>CONTACT Transfert des ions et électrons à l'interface de ces 2 matériaux</p> <p>SEPARATION Création de la charge de signe opposé sur les 2 matériaux</p>	
La dynamique de contact	Elle implique une pression, une force entre les surfaces et en conséquence accroît l'intensité du phénomène (potentiel, quantité de charge, énergie stockée)	
Par influence	Tout corps conducteur isolé est susceptible d'acquérir des charges par transfert à proximité de matériel ou équipement siège du phénomène	

La Figure 2 synthétise les étapes nécessaires à la compréhension du déroulement du phénomène électrostatique pour bien maîtriser ses risques et le déclenchement de décharges capables d'apporter une source d'inflammation active en présence d'une zone ATEX.

Comme on peut le constater, ce risque implique la mise en place d'un processus de génération et d'accumulation de charges électrostatiques, qui est, soit dissipée rapidement (via la prise à la terre), ou qui atteint un niveau tel que la décharge électrostatique s'amorce dans le milieu inflammable.

Pour plus de détail, le lecteur intéressé pourra se référer à l'article réf. SE5120 « Electricité statique : source d'incendie et d'explosion » de la revue des Techniques de l'Ingénieur⁵.

Figure 2 : Phénoménologie associée au risque électrostatique



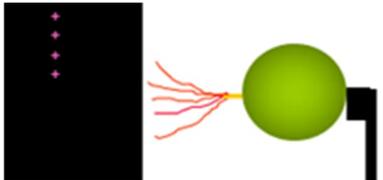
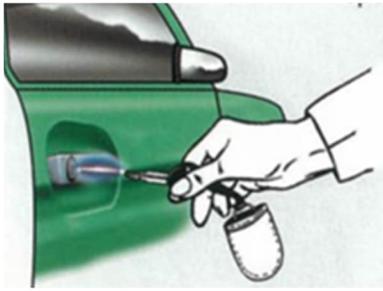
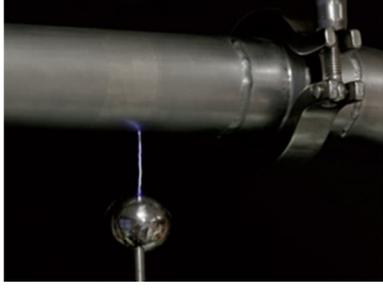
4.2 Types de décharges électrostatiques

Nous rappelons que toute génération de charge électrostatique peut, si les conditions (cf. figure 2) le permettent, aboutir à l'étape de leur accumulation pour franchir le seuil critique d'amorçage de la décharge dans ses divers types (cf. Tableau 2 ci-après).

Le Tableau 2 présente les différents types de décharge et les hiérarchise selon l'ordre de grandeur de l'énergie pouvant être libérée lors de la décharge par étincelle électrostatique (de la plus faible à la plus élevée).

⁵ [Électricité statique : source d'incendie et d'explosion : Mesures de prévention à mettre en place | Techniques de l'Ingénieur \(techniques-ingenieur.fr\)](#) (auteurs Ineris : Mohamed Boudalaa, Yannick Ollier, Mai 2020).

Tableau 2 : Descriptif des différents types de décharge électrostatique

Type de décharge	Configuration matérielle propice à l'observation	Ordre de grandeur de l'énergie libérée lors de la décharge	Forme de la décharge
Aigrette	Présence d'un matériau isolant (exemple : plastique)	Le millijoule (mJ)	
Capacitive	Présence de deux conducteurs dont l'un représente la capacité électrique isolée et chargée et l'autre celle de prise de terre (exemple : corps humain s'approchant du véhicule)	La dizaine de mJ	
	Présence d'un conducteur pur relié à la terre et d'un (métal) isolé (exemple : personne en charge de maintenance sur l'installation avec outil, s'approchant d'une tuyauterie métallique)	La centaine de mJ	
Glissante de surface	Présence d'un isolant de faible épaisseur plaqué contre un conducteur (exemple : peinture sur une canalisation métallique)	Le millier de mJ	

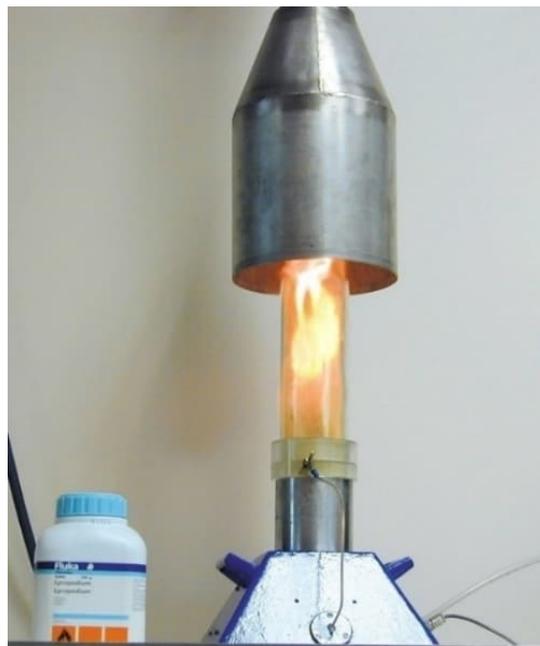
Les quatre types de décharge décrits dans ce tableau présentent un potentiel à la mise à feu de prémélanges (gaz/air). Pour fixer les ordres de grandeur, nous prenons le gaz de référence, le méthane a une EMI = 0,28 mJ. Le potentiel d'énergie, dans ce cas, peut être de 4 à 4 000 fois supérieur, respectivement de la moins (aigrette) à la plus (glissante de surface) énergétique.

4.3 Caractéristiques d'inflammabilité de gaz inflammables et pulvérulents combustibles^{6 7}.

Pour juger des risques ATEX/électrostatique, l'approche consiste à comparer l'énergie disponible dans la décharge électrostatique à celle nécessaire pour mettre à feu l'atmosphère explosive en présence.

Concernant ce dernier paramètre, la donnée essentielle recherchée et utilisée pour qualifier la sensibilité à l'inflammation d'origine électrostatique des substances inflammables consiste en la recherche bibliographique ou la mesure expérimentale de l'énergie minimale d'inflammation (EMI).

Figure 3 : Vue du tube Hartmann : premier dispositif expérimental utilisé pour la détermination de l'Energie Minimale d'Inflammation (EMI)



En ce qui concerne les gaz et liquides inflammables, il est aisé de disposer de l'énergie minimale d'inflammation respective⁸ ou tout au moins de pouvoir classer la substance en référence à la Figure 4 (extrait du schéma européen de certification (Directive 2014/34/UE)).

⁶ Biogaz brut, Biogaz prétraité, Biométhane, CO, etc. / CIVES, charbon actif, digestat séché, etc.

⁷ Etude des risques liés à l'exploitation des méthaniseurs agricoles. MEDAD. Réf. Ineris N° DRA-07-88414-10586B

⁸ NF EN ISO/IEC 80079-20-1 octobre 2019 : Atmosphères explosives - Partie 20-1 : Caractéristiques des produits pour le classement des gaz et des vapeurs - Méthodes et données d'essai

Figure 4 : Classement EMI des substances en groupes d'appartenance gaz (Source : Ineris)

GROUPES DE GAZ			
Groupe	Gaz de référence	Caractéristiques des gaz	
		IEMS (mm)	EMI (mj)
I	Méthane	1,14	0,28
IIA	Propane	0,92	0,25
IIB	Éthylène	0,65	0,07
IIC	Hydrogène/Acétylène	0,37	0,011/0,017

IEMS : Interstice Expérimental Maximal de Sécurité
EMI : Énergie Minimale d'Inflammation

En ce qui concerne les poussières pulvérulentes combustibles, on peut citer les intrants, les CIVES, le charbon actif, le digestat séché, etc. Lors d'opération d'ouverture et de vidange de silo à charbon actif, il peut se dégager des composés gazeux volatiles et inflammables (H₂S, COV et CH₄) mais également s'opérer la mise en suspension de poussières pulvérulentes de charbon actif en suspension dans l'air susceptibles de rentrer en combustion au contact de sources d'inflammation entre autres les décharges d'origine électrostatique.

En dehors de la concentration en combustible, l'oxygène de l'air représente le comburant et fait partie des conditions de base à l'inflammation. On parle soit de la LIE d'un combustible, soit de la concentration limite en oxygène du combustible en deçà de laquelle une réaction de combustion ne se produit pas par insuffisance d'oxygène.

Lors de l'opération d'ouverture et de vidange du silo à charbon actif, le REX démontre de la survenance de phénomènes de type flash thermique / boule de feu, associés à l'inflammation d'ATEX air (H₂S / COV) et/ou d'ATEX air / poussières en suspension de charbon actif.

Note 1⁷ :

CH₄ et biométhane (assimilé à du CH₄) : LIE : 4,4 % - LSE : 17 % ; TAI = 537°C ; EMI = 250 µJ ; Groupe de gaz IIA.

H₂S : LIE : 4 %/LSE : 46 % ; TAI = 260°C ; EMI = éq EMI Ethylène = 70 µJ ; Groupe de gaz IIB.

Note 2 : Le biogaz formé contient une forte proportion de gaz combustible, le méthane (CH₄), et d'un gaz inerte, le dioxyde de carbone (CO₂). Les autres composés formés sont suffisamment peu abondants pour produire une influence significative sur les caractéristiques d'explosivité ou de violence d'explosion du biogaz. Pour l'approche et l'évaluation des risques ATEX / électrostatique, nous considérerons donc que le biogaz est qu'un mélange de CO₂ et de CH₄ et d'humidité dont l'énergie minimale d'inflammation est nettement supérieure à celle du méthane pur.

Note 3 : Exemple de poussière fine de charbon actif⁹:

- Granulométrie médiane : 10 – 30 µm ;
- LIE : 20 – 50 g/m³ ;
- EMI > 500 mJ ;
- TAI 5mm : 150°C – 300°C et TAI nuage : 500°C – 700°C ;
- Classe d'explosion de poussière : St1.

Note 4 : Exemple de poussière fine de boue séchée de station d'épuration¹⁰ :

- Granulométrie médiane : 30 à 700 µm ;
- LIE : 60 à 500 g/m³ ;
- EMI : 420 à 735 mJ ;
- TAI 5mm : 230°C – 430°C et TAI nuage : 310°C – 510°C ;
- Classe d'explosion de poussière : St1.

Caractéristiques d'inflammabilité du biogaz

Pour une composition CH₄-CO₂ variant de 60%-40% à 50%-50% les limites inférieures et supérieures d'explosivité du biogaz sont présentées dans le tableau suivant¹¹ :

Tableau 3 : Limites d'inflammabilité relatives à quatre compositions différentes

CH ₄ - CO ₂ (%v/%v)	LIE (%v/vCH ₄)	LSE (%v/vCH ₄)
100 - 0	4,4	17
60 - 40	5,1	12,4
55 - 45	5,1	11,9
50 - 50	5,3	11,4

⁹ NF EN ISO/IEC 80079-20-2 (Août 2016) : Atmosphères explosives — Partie 20-2: Caractéristiques des produits - Méthodes d'essai des poussières combustibles.

Les mélanges explosifs. Poussières Combustibles. INRS ED944 (2006).

¹⁰ <https://www.synteau.com/le-guide-atex/>

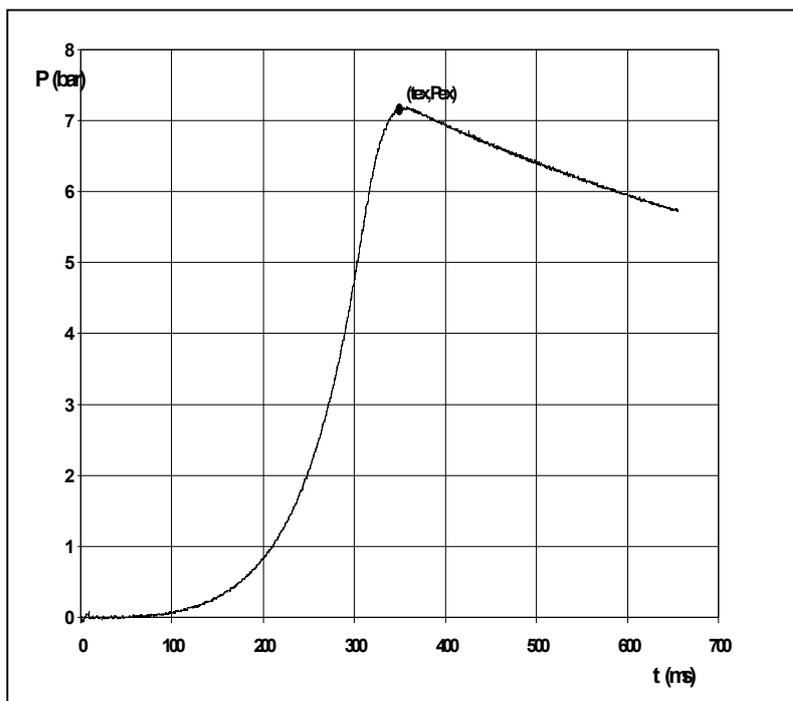
¹¹ Dupont, Explosion characteristics of synthesized biogas at various temperatures, Journal of Hazardous Materials, 2006.

La présence du CO₂ 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 (Pmax) et vitesse maximale de montée en pression (Kg) :**

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 5. On caractérise l'explosion par la pression maximale d'explosion P_{ex} et par la valeur maximale de P_{ex} obtenue pour les différents mélanges soit P_{max}, ainsi que par la pente maximale de montée en pression soit (dP/dt)_{max}. La pente maximale de montée en pression, rapportée à la racine cubique du volume de l'enceinte dans laquelle est réalisé l'essai, est une valeur caractéristique du produit, exprimée en Kg.

Figure 5 : Pression d'explosion en fonction du temps d'une atmosphère air - CH₄ à 10% à une température ? dans une sphère de 2 m³.



Des essais avec des mélanges CH₄/CO₂/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) et leurs résultats sont récapitulés au tableau 4.

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

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

Cette étude conduite à l'Ineris⁷ a permis de mesurer l'influence de la vapeur d'eau sur les caractéristiques d'explosivité d'un biogaz composé à 50 % de CH₄ et 50 % de CO₂. 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 Inflammation (EMI) :**

Par rapport au méthane pur, dont l'énergie minimale d'inflammation (EMI) vaut 250 µJ :

- le biogaz brut humide est caractérisé par une valeur d'EMI nécessairement supérieure à celle du méthane pur (par hypothèse de l'ordre de quelques dizaines à centaines de mJ), à cause de la présence de CO₂ et de vapeur d'eau ;
- le biogaz prétraité par soustraction de l'humidité pourrait présenter une EMI plus faible que celle du biogaz brut humide et avoir par hypothèse une EMI de quelques mJ à la dizaine de mJ ;
- le biométhane est assimilable à du méthane pur (EMI = 250 µJ).

Cependant, bien qu'il ne soit pas possible de préciser l'EMI de différentes typologies de biogaz (biogaz brut/humide, biogaz prétraité) sans la réalisation d'une série de caractérisations expérimentales selon les normes en vigueur, il serait possible de supposer que :

- **du biogaz brut humide** (notamment selon le cas d'une digestion en mode mésophile ou en mode thermophile) pourrait être enflammé par des sources d'inflammations d'origine électrostatique et en l'occurrence celle de type capacitive (cf. tableau 2) pouvant déposer des énergies de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de mJ ;
- **du biogaz brut prétraité** (notamment selon le cas d'une digestion en mode mésophile ou en mode thermophile) pourrait être enflammé par des sources d'inflammations d'origine électrostatique et en l'occurrence celle de type capacitive (cf. tableau 2) par étincelle électrostatique pouvant déposer des énergies de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de mJ.

▪ **Température d'auto-inflammation :**

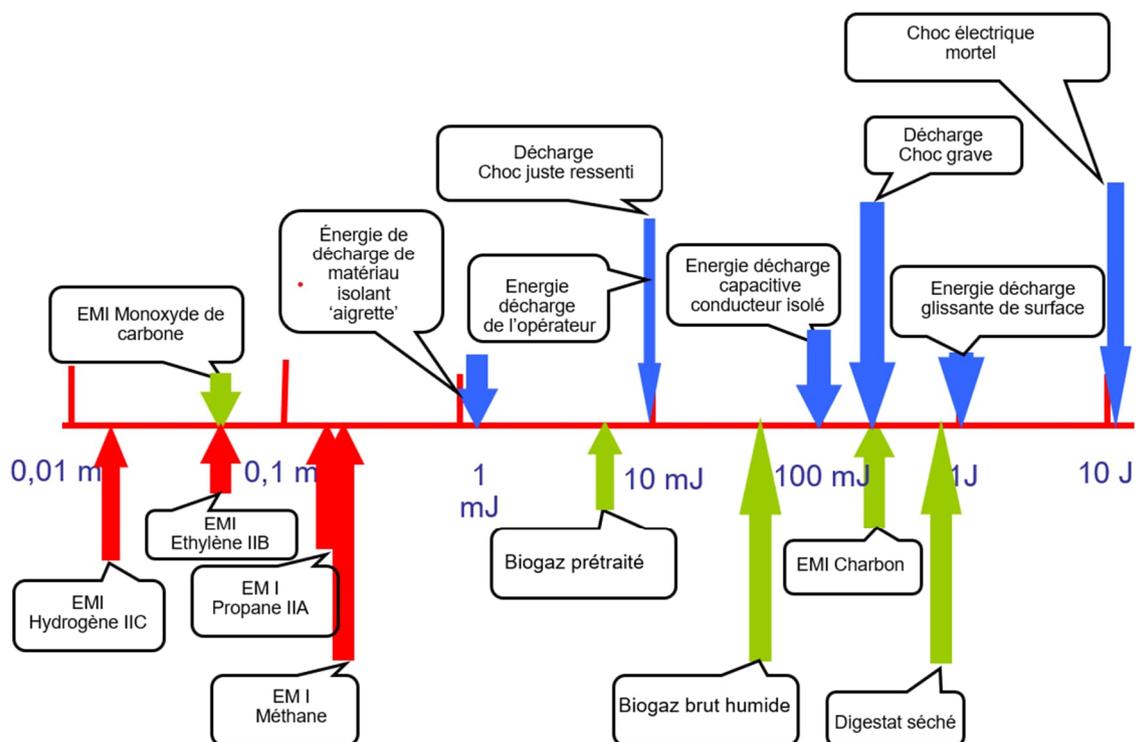
La température d'auto-inflammation est la température minimale pour laquelle une ATEX s'enflamme spontanément. Il n'est pas non plus possible d'estimer précisément la TAI du biogaz sans la réalisation d'une série de caractérisations expérimentales suivant les normes en vigueur, qui varie en fonction de sa composition, de la typologie du biogaz (brut et humide, prétraité) et de sa température. Par raisonnement conservatif, nous retenons donc également la même valeur que la température d'auto-inflammation du méthane, soit 537°C.

Lorsqu'il s'agit des unités de méthanisation, la phénoménologie ATEX concerne principalement des milieux de gaz et vapeurs inflammables, i.e. le biogaz, le biométhane, l'H₂S, les solvants utilisés au cours des opérations de maintenance, de nettoyage, etc... Il est également admis que l'H₂ peut être généré en mélange avec le CO₂ en première étape du processus de méthanisation.

L'Ineris a relaté un REX survenu dans une industrie papetière où une explosion est survenue lors d'opération de travaux par points chauds exécutés par deux opérateurs sur une cuve de stockage de déchets de pâtes de papier. L'Ineris a démontré en réacteur de 5 L que les conditions du stockage étaient favorables (composition, pH...) pour générer un mélange H₂+CO₂ lors des premières étapes de digestion anaérobie.

Concernant le comparatif entre énergie minimale d'inflammation et celle libérée dans les différents types de décharges d'origine électrostatique susceptibles d'apparaître dans les conditions d'exploitation des unités de méthanisation, la figure 6 synthétise un ensemble de données extraites de documents normalisés ou non et notamment le REX de l'Ineris.

Figure 6 : Diagramme récapitulatif de comparaison entre les énergies d'inflammation et d'amorçage dans les types de décharges électrostatiques (source : Ineris)



5 Evaluation du risque d'inflammation d'origine électrostatique située en zone ATEX

5.1 Retour d'expérience appliqué aux unités de méthanisation

L'analyse de l'accidentologie relative à la filière méthanisation¹² met en évidence les principaux scénarios accidentels suivants par ordre de priorité :

- Rejet et fuite de matières (principalement du biogaz et du digestat) avec des impacts environnementaux (pollution des sols, de l'air, aquatique) ;
- Incendie (auto-inflammation d'intrants, de filtre à charbon actif, incendie de combustible (huile thermique, panneaux d'isolation, etc.), incendie d'origine électrique, etc. ;
- Explosion associée à une fuite de biogaz dans un espace confiné et/ou mal ventilé et explosion de digesteur (ATEX susceptibles de se former et principalement lors de dysfonctionnements, du type d'entrée d'air à l'intérieur des équipements contenant du biogaz ou fuite de biogaz à l'extérieur) ;
- Intoxication du personnel à des émanations d'H₂S avec peu de cas mortel.

A noter que le REX relatif à l'accidentologie ATEX en lien spécifique avec la phénoménologie électrostatique (données ARIA) dans des activités de méthanisation montre peu de cas.

Description du cas n°1 :

ARIA n°53866 - 27/06/2019 – France – 29- Finistère

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

Une explosion suivie d'un incendie se sont produits dans une unité de méthanisation en phase de fin de conception, dans le Finistère, le 27 juin 2019. L'accident s'est produit dans un digesteur d'une quinzaine de mètres de haut contenant 300 m³ de lisier. L'explosion est survenue alors que des sous-traitants raccordaient à la terre un appareil pour souder les conduites de gaz. L'exploitant a assuré que les sous-traitants avaient été informés de la présence de lisier dans la cuve générant un risque d'atmosphère explosive mais qu'aucun zonage ATEX n'avait été réalisé. L'exploitant a évoqué son empressement à démarrer le remplissage du digesteur en vue d'honorer, à une échéance proche, un contrat de rachat d'électricité ainsi qu'un contrat de valorisation d'effluents en provenance d'agriculteurs.

¹² [Accidentologie dans les activités de culture et production animale - La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques \(developpement-durable.gouv.fr\)
https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/synthese/inventaire-des-incidents-et-accidents-technologiques-survenus-en-2019/](https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/synthese/inventaire-des-incidents-et-accidents-technologiques-survenus-en-2019/)

Figure 7 : Vue d'une installation de méthanisation en phase de fin de conception



Description du cas n°2 :

ARIA 51342 – 04/04/2018 – France – 89- SAINT-FARDEAU

Explosion dans un méthaniseur d'une exploitation agricole

Une entreprise sous-traitante réalisait la maintenance de l'agitateur de la cuve de post-digestion (2 500 m³). Le post-digesteur avait été dégazé puis débâché et l'agitateur avait été remonté à 9h50. L'explosion s'est produite lors du test initial de fonctionnement de l'agitateur, avant remplacement de son hélice. D'après le bureau d'étude ayant analysé l'accident pour l'exploitant, un défaut d'installation de l'agitateur serait à l'origine de l'incident. Le système de supportage de l'agitateur n'était pas relié à la terre du site sur sa carcasse métallique. Lors de la coupure de son alimentation électrique, la masse de l'agitateur s'est déchargée sur le système de guidage de l'agitateur provoquant un arc électrique. L'arc a agi comme source d'ignition et d'inflammation de la zone ATEX. Les contrôles réalisés par les organismes certifiés lors de la visite initiale et lors des visites périodiques n'avaient pas permis de déceler l'erreur.

5.2 Classement de zones ATEX dans une unité de méthanisation

Les installations de méthanisation produisent du biogaz (mélange principalement de méthane et de gaz carbonique) qui est un gaz inflammable à prendre en compte dans la détermination des zones à risques d'explosion¹³ (zones ATEX). Dans ses obligations et à l'ouverture du site, l'exploitant doit disposer, conformément à la réglementation d'un document relatif à la protection contre les explosions (DRPCE) dans lequel il présentera de manière exhaustive les zones ATEX accompagnées de l'évaluation des risques correspondants et les mesures de protection à mettre en place. Ce zonage sera réalisé en accord avec les dispositions constructives des constructeurs.

De manière générale, des ATEX sont susceptibles de se former uniquement lors d'un dysfonctionnement, du type d'entrée d'air à l'intérieur des équipements contenant du biogaz ou fuite de biogaz à l'extérieur ou émission de poussières pulvérulentes combustibles (CIVES, charbon, etc.).

¹³ Suivant les définitions de la Directive 1999/92/CE du Parlement Européen et du Conseil

Figure 8 : Vues d'équipement typique d'une installation de méthanisation



L'Ineris rappelle ci-après quelques guides de référence sur le classement de zones ATEX approprié à la filière méthanisation :

- Guide Synteau (Septembre 2020), avec la participation du Syntec et de l'Ineris, sur le classement des emplacements gaz et vapeurs inflammables et poussières combustibles dans les industries du traitement des eaux¹⁴ ;
- Guide et Règles de sécurité des installations de méthanisation agricole (Ineris, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2009).

Par exemple, la figure 9 ci-après présente un classement indicatif en zones ATEX d'une installation type de méthanisation agricole (extrait du Tableau 2 du Guide et Règles de sécurité des installations de méthanisation agricole (Ineris, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2009).

¹⁴ https://www.synteau.com/les_publications/le-guide-atex/

Figure 9 : Classement indicatif en zones ATEX d'une installation type de méthanisation agricole (Source : Ineris)

Équipement	Zone ATEX		Défaillance possible
Digesteur Post-digesteur	Intérieur : ciel gazeux	Zone 2	Introduction d'air
	Extérieur : cas d'une membrane souple	Zone 2 enveloppe de 3 m de rayon	Fuite vers l'extérieur
	Extérieur : cas d'une couverture rigide	Zone 2 enveloppe de 3 m de rayon autour des ouvertures (hublot, trou d'homme, passage agitateur...)	
Réservoir de stockage de biogaz	Intérieur	Zone 2	Introduction d'air
	Extérieur	Zone 2 enveloppe de 3 m de rayon	Fuite vers l'extérieur
Soupapes du digesteur/post digesteur/réservoirs	Zones sphériques centrées sur le point d'émission	Zone 2 de 3 m de rayon intégrant une zone 1 de 1 m de rayon	Surpression interne provoquant un dégagement de gaz vers l'extérieur
Unité de combustion	Intérieur du local de combustion	Non classé (cf § ventilation et détection)	Fuite au niveau de l'alimentation en biogaz
Puits de condensats enterrés	Intérieur : ciel du puits de condensats	Zone 2	Accumulation de gaz
	Extérieur	Zone 2 enveloppe de 3 m de rayon	Fuite vers l'extérieur
Fosse de digestat couverte	Intérieur – Ciel gazeux	Zone 2	Accumulation de gaz
Local technique	Intérieur	Non classé (cf § ventilation et détection)	

5.3 Identification des sources d'inflammation d'origine électrostatique

Les équipements intégrés aux procédés de méthanisation (digesteur, post digesteur, canalisation, etc.) interrogent leurs concepteurs et exploitants quant à la prévention des risques d'inflammation d'origine électrostatique d'atmosphère explosible air / biogaz. Les cuves de digestion (« digesteur ») et leurs membranes souples associées (cf. figure 10) sont conçues en matériau de type plastique dits « matériaux isolants ».

Figure 10 : Vue de la double membrane post digesteur



Sous le vocable « matériaux isolants », on peut citer par exemple, des digesteurs en matériaux isolants (paroi de cuves de digesteur, cuves, membrane souple, etc.), les matériaux de canalisation en PEHD ou en matériau de type résine orthophtalique ou les autres matières composites SVR (Stratifié Verre Résine). Ces matériaux sont de nature isolante du point de vue électrique et classés dans cette rubrique suivant les exigences normatives en vigueur avec une résistance électrique de surface élevée ($R = 10^{11} - 10^{16} \Omega$).

A ce propos et dans un esprit de clarification des ordres de grandeur, le tableau 5 identifie les catégories des classes de conduction des matériels ; ceci afin d'apporter une appréciation de la problématique électrostatique d'équipements d'unité de méthanisation. En effet, les seuils de résistance pour franchir ces classes varient généralement d'un facteur de 10 en fonction des équipements (tuyaux, flexibles, emballage, chaussures de sécurité, vêtements de travail etc..) tenant compte de leurs normes spécifiques et de leurs emplacements dans des zones ATEX spécifiques gaz et vapeurs inflammables, poussières pulvérulentes et combustibles).

Tableau 5 : Catégorie de classes de conduction des matériels (équipements)

Matériel	Classe de conduction		
	Conducteur	Dissipateur	Isolant
Résistance de surface (Ω)	$< 10^6$	$10^6 \leq R_s < 10^9$	$\geq 10^9$

NB : Il s'agit de matériel solide à classer selon sa résistance de surface (Ω). A ne pas confondre avec les matériaux solides finement divisés à classer selon leur résistivité ($\Omega.m$) tenant compte du mode opératoire distinct de celui des matériels.

De manière générale, des ATEX sont susceptibles de se former uniquement lors d'un dysfonctionnement, du type d'entrée d'air à l'intérieur des équipements contenant du biogaz ou fuite de biogaz à l'extérieur.

La conjonction d'une apparition de zone ATEX 2 (Emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, elle n'est que de courte durée) autour d'un matériel dont la charge électrique d'origine électrostatique est suffisante pour apporter l'énergie nécessaire à l'inflammation des matières contenues dans cette zone peut engendrer un accident.

Il s'agit de matériels, qui du fait de leur nature isolante, sont aptes à accumuler des charges électrostatiques lors de leur mise en œuvre, traitement et exploitation dans l'installation. De plus, ces matériels, compte-tenu de leur nature isolante, peuvent constituer un frein à la continuité électrique exigée en même temps que la mise à la terre des autres matériels réalisés dans des métaux conducteurs et faisant partie de la construction des équipements de méthanisation.

Par contre, il est courant de mettre en avant le matériel de qualité antistatique et cette qualification sous-entend que la matière constitutive isolante à l'origine est traitée selon les méthodes classiques par incorporation d'agents ou de compounds conducteurs par exemple le noir du carbone, les sels d'ammonium quaternaire, les dérivés d'amides (amides alcoxylés), ou des composés à base de phosphore ou de soufre (sulfates, sulfonates).

De surcroît, le phénomène de développement de charges électrostatiques est d'autant plus manifeste lorsque ces matières plastiques sont doublées de supports métalliques se trouvant reliés à la terre de l'installation. A partir de ce constat, des échanges se sont tenus en septembre 2021 entre la DGPR (ministère la Transition écologique), l'ADEME et le Club Biogaz ATEE au sujet de questions/réponses sur l'interprétation des AMPG (révisés en juin 2021) de la rubrique IC 2781 (Méthanisation). Parmi les points traités, il a été relevé la question des matériaux isolants tel qu'indiquée dans les AMPG (révisés en Juin 2021) de la rubrique IC 2781 (Méthanisation) tel que reprise ainsi :

Art. 8. – L'article 20 de l'arrêté du 12 août 2010 susvisé est ainsi modifié :

1^oAu premier alinéa, les mots « du décret n° 96-1010 du 19 novembre 1996 » sont remplacés par les mots « du décret n° 2015-799 du 1^{er} juillet 2015 relatif aux produits et équipements à risques ».

2^o Cet article est complété par deux alinéas ainsi rédigés :

« Les matériaux isolants installés dans un emplacement avec une présence d'une atmosphère explosive (membrane souple, etc.) sont conçus pour être de nature antistatique selon les normes en vigueur.

« L'exploitant assure ou fait effectuer la vérification périodique et la maintenance des matériels de sécurité et de lutte contre l'incendie mis en place (exutoires, systèmes de détection et d'extinction, portes coupe-feu, colonne sèche par exemple, alarmes, détecteurs de gaz, injection d'air dans le biogaz...) et organise les tests et vérifications de maintenance visés à l'article 22. »

5.4 Démarche normative et expérimentale d'évaluation de l'électricité statique

Pour rappeler, la problématique électrostatique (à laquelle est confronté les industriels toutes activités confondues), se trouve d'abord prise en compte dans les AMPG des rubriques ICPE 2781 et dans la réglementation ATEX :

- Décret n° 2002-1554 du 24 décembre 2002 modifié par le Décret n°2008-244 du 07/03/2008 codifié aux articles R4216-31 et R4227-42 à R4227-54 du Code du Travail transposant en droit français la Directive Européenne 1999/92/CE du 16/12/99 concernant 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 explosibles ;
- Décret n°2015-799 du 1er juillet 2015 relatif aux produits et équipements à risques codifié aux articles R. 557-1-1 à R. 557-5-5 et R. 557-7-1 à R. 557-7-9 du Code de l'Environnement la transposition en droit français la Directive Européenne du Parlement Européen du Conseil du 26 février 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles.

Concernant la problématique électrostatique, elle est nommément citée dans la directive 1999/92/CE, celle-ci prévoit que : « l'évaluation des risques d'explosion doit tenir compte de la probabilité que des sources d'inflammation, y compris des décharges électrostatiques, seront présentes et deviendront actives et effectives ». Ce principe est repris dans le Code du travail, à l'article R4227-46.

Pour qu'un matériel soit inscrit dans le champ d'application de la directive ATEX 2014/34/UE, deux conditions doivent être remplies :

- le produit est destiné à être utilisé en atmosphère explosive,
- le produit doit posséder des sources d'inflammation qui lui sont propres.

Cette directive est élaborée sur la base de la nouvelle approche et selon les principes suivants :

- la conformité aux exigences essentielles de sécurité,
- l'élaboration de spécifications techniques de conformité qui est confiée à des organismes compétents en matière de normalisation,
- la norme harmonisée ainsi élaborée ou, à défaut, la norme nationale existante. Celle-ci n'a aucun caractère obligatoire, mais assure une présomption de conformité aux exigences essentielles.

Un nombre important de normes sont applicables dans le domaine électrostatique pour couvrir d'une part, les exigences et seuils à ne pas dépasser pour limiter les risques électrostatiques associés aux matériels et équipements et d'autre part, les modes opératoires pour la caractérisation des propriétés électrostatiques de ces matériels et équipements. Pour citer, les documents suivants existent et sont suivis dans les comités de normalisation nationaux :

- NF EN 60079-32-1 : Dangers électrostatiques – Recommandations.
- NF EN 60079-32-2 : Atmosphères explosives - dangers électrostatiques – Essais.
- NF EN ISO 80079-36 : appareils non électriques destinés à être utilisés en atmosphères explosives - Méthodologie et exigences.
- UTE C 23-597 : Code de bonne pratique pour éviter les risques dus à l'électricité statique.
- NF EN 61340-5-1 : Protection des dispositifs électroniques contre les phénomènes électrostatiques - Exigences générales-
- NF EN 61340-2-3 : Méthodes d'essais pour la détermination de la résistance et la résistivité des matériaux planaires solides destinés à éviter les charges.
- NF EN 61340-4-1 : Méthodes d'essai normalisées pour des applications spécifiques : Résistance électrique des revêtements de sol et des sols finis.
- NF EN 1149-1 : Méthode d'essai pour la résistivité de surface.
- NF EN 1149-2 : Méthode d'essai pour le mesurage de la résistance électrique à travers un matériau (résistance verticale).
- NF EN 1149-3 : Méthodes d'essai pour la mesure de l'atténuation de la charge.
- NF EN 1149-5 : Exigences de performance des matériaux et de conception¹⁵.

¹⁵ Pour les protections individuelles en particulier.

5.5 Bonnes pratiques de prévention de l'électricité statique

5.5.1 Approche normalisée relative à l'acceptabilité des matières isolantes pour la fabrication des matériels

Dans l'approche des risques ATEX/électrostatiques, la démarche classique, normative proposée aux concepteurs et fabricants de matériels pour l'évaluation volontaire de leurs produits est rappelée dans ce paragraphe.

L'objectif est l'examen de l'aptitude au stockage et à l'écoulement des charges électrostatiques. Le matériel qui peut être utilisé en présence d'ATEX doit être conçu de façon à éviter tout danger d'inflammation par décharge électrostatique dans les conditions normales d'emploi ainsi que lors de l'entretien et du nettoyage. Cette règle doit être satisfaite, selon le paragraphe 6.7.5 de la norme NF EN ISO 80079-36 juin 2016, qui remplace la norme européenne EN 13463-1 2009, par :

- une résistance de surface inférieure à 10^9 ohms ;
- sinon, par une limitation de surface aux seuils maxima spécifiés en tenant compte de la catégorie visée et de la sensibilité à l'inflammation de l'ATEX en question. On considère la valeur de l'aire de la surface la plus grande projetée dans une quelconque direction lorsque le matériel est susceptible de se charger du point de vue électrostatique à condition qu'il ne puisse pas se produire de décharges glissantes de surface ;
- Sinon, par une garantie de ne pas avoir à craindre l'apparition de charges électrostatiques dangereuses (évaluée au moyen d'un essai de charge) ;
- Si l'essai de charge n'est pas faisable ou s'avère conservatif du fait du mode de charge appliqué, le matériel peut être acceptable pour les zones ATEX en tenant compte des processus de génération de charge effectifs (fréquence, intensité) évalués sur site (mesure de champs électrostatiques).

L'acceptabilité ATEX suivant l'épreuve de charge du matériel tel que conçu et mis sur le marché. L'acceptabilité repose sur le comparatif entre les valeurs enregistrées dans les essais de charge et les seuils, à ne pas dépasser, donnés dans la norme EN ISO 80079-36 et reprises dans le guide électrostatique IEC 60079 Part 32-1. Ceci est mené conformément aux normes et procédures applicables et en vigueur :

- L'épreuve de charge par effet triboélectrique 'frottement' et par influence 'corona' selon le mode opératoire normalisé en vigueur NF EN ISO 80079-36 Juin 2016 ;
- La mesure des quantités de charges électrostatiques résiduelles à la surface des échantillons de matériel ;
- La conclusion en se basant sur le comparatif entre ces valeurs mesurées et les seuils, à ne pas dépasser, tenant compte des exigences normalisées en vigueur et harmonisées notamment dans les guides les plus récents en la matière, la norme IEC 60079-32-1 : 2013-08 'technical specification, Explosive atmospheres – electrostatic hazards, guidance'.

Si la charge transférée du matériau de référence est nettement supérieure à 60 nC et que la charge transférée maximale Q mesurée lors d'un des essais ci-dessus est inférieure à :

- 60 nC, le matériau non conducteur peut être utilisé avec le groupe d'explosion I ou II A ;
- 30 nC, le matériau non conducteur peut être utilisé avec le groupe d'explosion I ou II B ;
- 10 nC, le matériau non conducteur peut être utilisé avec le groupe d'explosion I ou II C.

Lorsque la règle ne peut être satisfaite, des épreuves réelles d'inflammation peuvent être proposées pour examiner le risque d'apparition de charges électrostatiques suffisamment énergétiques pour enflammer le type d'atmosphère concerné.

A partir de ce constat réglementaire, il est nécessaire d'auditer l'environnement électrostatique de l'installation de méthanisation en partant de ce contexte normatif existant.

5.5.2 Mesures de prévention de l'électricité statique des matériels métalliques conducteurs

La règle de l'art connue et largement utilisée dans tous les domaines industriels confrontés à la prévention des risques électrostatiques réside dans la mise à la terre des parties métalliques conductrices. Cette règle ne peut être complète et efficace que si elle est accompagnée de l'autre mesure qui consiste à assurer la continuité (équipotentialité) électrique entre les éléments du matériel ou de l'équipement. Dans ce cadre, les éléments les plus couramment utilisés pour assurer la continuité électrique sont la tresse et dans une moindre mesure le câble gainé vert et jaune (cf. tableau 6 ci-après).

Tableau 6 : Configuration de mesure de prévention de mise à la terre et continuité électrique de matériau conducteur sur des installations de méthanisation

Mesure	Vue de la situation	Elément
Mise à la terre et continuité électrique		Câble serré par vis écrou
Plot de mise à la terre de camion-citerne		
Tresse		Tresse de renfort prise entre écrou et tête de vis pour shunter l'isolation du joint d'étanchéité entre chaque bride

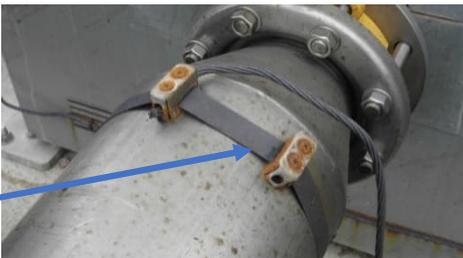
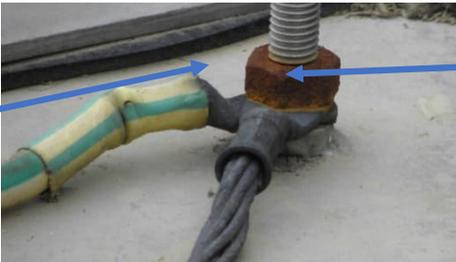
Lors d'échanges et notamment d'observations réalisées sur sites de méthanisation, des difficultés de maintien de l'efficacité de cette règle peuvent être soulignées. Les principaux problèmes observés résident dans :

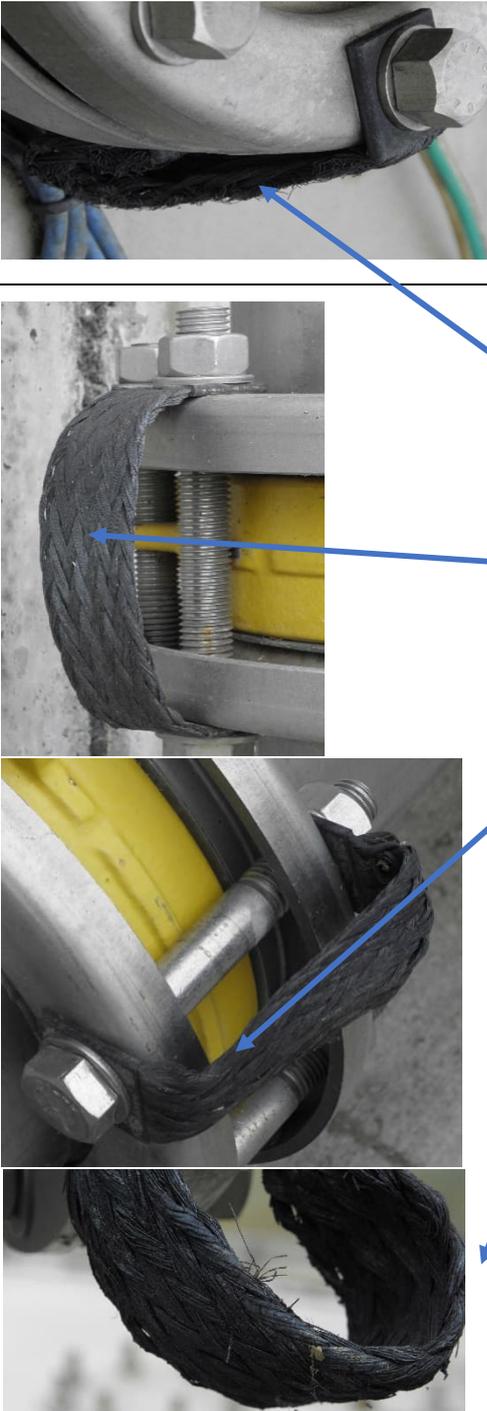
- l'arrachement des câbles de mise à la terre et des tresses de continuités (cf. tableau 7),
- l'oxydation des câbles et tresses ainsi que leurs accessoires de fixation (pattes, écrous etc.) (cf. tableau 8).

Tableau 7 : Vues de cas de la problématique d'arrachement de liaisons par câble de mise à la terre et continuité électrique sur des installations de méthanisation



Tableau 8 : Vues de cas de la problématique de l'oxydation des câbles et tresses ainsi que leurs accessoires de fixation (pattes, écrous etc.) sur des installations de méthanisation

Mesure	Vue de la situation	Observations
Connexion de mise à la terre de canalisation		Oxydation de la patte de connexion
		
Raccordement de câble de mise à la terre		Ecrou et câble oxydés

Mesure	Vue de la situation	Observations
<p>Tresse de mise à terre</p>		<p>Tresses plus ou moins oxydées</p>

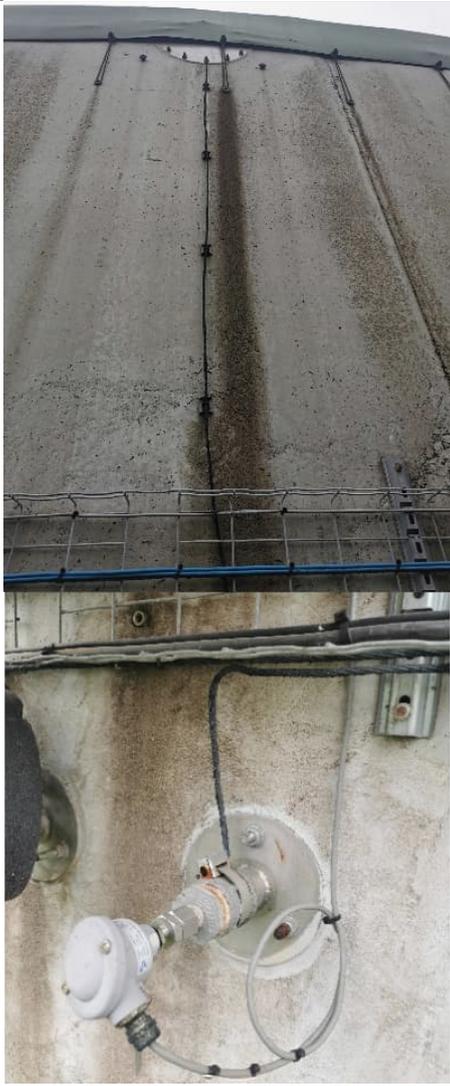
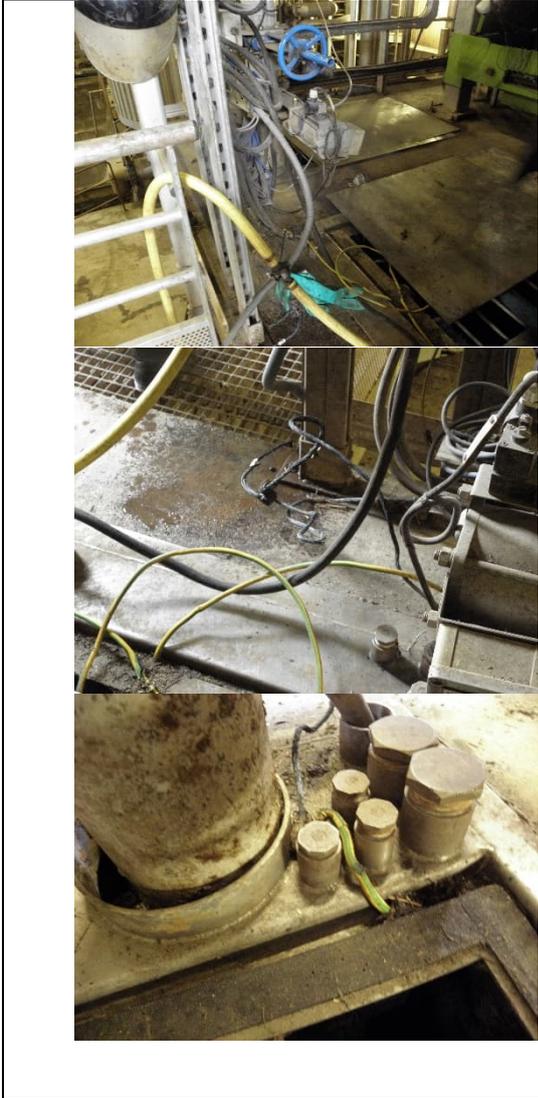
Il faut rappeler que les oxydes déposés sur les câbles, les tresses et leurs accessoires sont isolants et finissent non seulement par fragiliser leur maintien mécanique mais également la perte de conduction et neutralisation des charges électrostatiques vers la terre.

Certains exploitants d'unités de méthanisation témoignent de ce vieillissement prématuré de ces matériels de liaisons et mise à terre sachant que cette dégradation dans le cas des tresses interroge sur leur conception et protection.

Il est mis en avant les conditions particulières d'exposition de ces matériels dans l'environnement d'opérations unitaires spécifiques d'unités de méthanisation (ambiance humide et acide (H_2O et H_2S) à proximité de soupape de sécurité, de lagune de digestat liquide, ammoniac, etc.) (cf. tableau 9).

Tableau 9 : Environnement matériel pouvant influencer sur les conditions de dégradation des tresses et câbles de mise à la terre sur des installations de méthanisation

Côté interne (ambiance humide et poussiéreuse de locaux)	Côté externe (climat et intempéries)
	



5.5.3 Identification des bonnes pratiques issues des échanges avec la profession de la méthanisation (questions / réponses avec la profession)

Lors d'échanges dans le cadre de groupes de travail organisés et animés par l'Ineris et l'ATEE en 2021 et 2022, une collecte de bonnes pratiques de prévention du risque d'inflammation électrostatique et de la culture sécurité du risque électrostatique a été réalisée auprès des participants et acteurs de la filière méthanisation (concepteurs, exploitants, entretien et maintenance). Les éléments tiennent compte également des échanges tenus lors des visites de sites agricoles et territoriaux et relatifs aux pratiques de prévention du risque d'inflammation électrostatique.

Ces bonnes pratiques peuvent être reprises sous le format de questions réponses. Les éléments de réponses sont uniquement rapportés aux questions relatives au sujet électrostatique.

❖ **Comment qualifie-t-on un équipement antistatique, quels sont les critères ?**

Le terme antistatique est un terme générique « vague ». En revanche, il est conseillé de mettre en avant ce classement suivant les exigences de la CEI 60079-32-1 (cf. tableau 5) :

- Matériau conducteur (Résistivité $R < 10^6 \Omega$) ;
- Matériau dissipateur ($10^6 \leq \text{Résistivité } R < 10^9 \Omega$) ;
- Matériau isolant (Résistivité $R \geq 10^9 \Omega$).

❖ **Y a-t-il des prescriptions particulières dans les projets d'AMPG ?**

Les prescriptions réglementaires (AMPG ICPE 2781) apportent des exigences en termes de prévention du risque électrostatique associées uniquement à des équipements métalliques (charpentes et enveloppes, réservoirs, cuves, canalisations, tuyauteries) et que les matériaux isolants installés dans un emplacement avec une présence d'une atmosphère explosive (membranes souples, etc.) sont conçus pour être de nature antistatique selon les normes en vigueur.

La réglementation 1999/92/CE ATEX précise à l'article 4 la prévention des sources d'inflammation en présence d'ATEX, notamment les sources d'inflammation d'origine électrostatique.

❖ **Les contrôles de mises à la terre et continuités électriques sont-ils demandés par les assureurs ou sinon dans quelle réglementation ? l'exploitant peut-il également faire un contrôle lui-même ?**

Ce sont des recommandations à suivre et en cas de sinistre, l'assureur se préoccupe des conclusions de l'expertise pour voir si l'origine de l'inflammation est en lien avec une absence ou un défaut de mise à la terre/équipotentialité. L'exploitant peut faire un contrôle lui-même, du moment, qu'il établisse une procédure dédiée et qu'il trace les résultats des mesures en PV interne.

❖ **Une tresse équipotentielle de résistance de 2 Ohms est-elle à respecter ?**

Ce seuil 2 Ohms est sévère. Par contre, une valeur de 10 Ohms pour un circuit métallique est suffisante pour être conseillée.

❖ **Question concernant la continuité électrique : discussion avec un fournisseur qui n'installe pas de tresses de continuité entre brides et qui se repose uniquement sur une mesure de résistance. Est-ce acceptable, réglementation applicable sur ce sujet ?**

Cette règle n'est préconisée par aucun guide électrostatique. Toutefois, il faut juger de la façon de mesurer, le type d'appareillage utilisé, les points retenus pour suivre le circuit de continuité électrique, de la fréquence (mesure en continu ou simple contrôle tous les x fois par unité de temps), du suivi des valeurs et leur comparatif vis-à-vis d'un seuil à ne pas dépasser, de quelle alerte et action sont mises en avant en cas de mesure de défaut. Cette règle semble être une alternative mais la procédure doit être rédigée et évaluée pour son adoption et acceptabilité (critères d'efficacité et de fiabilité sont en jeu).

❖ **Quelles sont les normes ou autres documents pour ces tests ? Est-ce fait lors des contrôles Q18 et Q19 (cf. suite) ?**

- Norme CEI 60079-32-1 : 2013-08 « Technical specification, Explosive atmospheres – Electrostatic hazards, Guidance ».
- Norme CEI 60079-32-2 : 2015-08 « Technical specification, Explosive atmospheres – Electrostatic hazards, Tests ».

Le rapport ou certificat Q18 : Il peut être délivré par l'organisme qui procède à la vérification annuelle de vos installations électriques (et pas les aspects électrostatiques). S'il existe, du fait de cette installation, des risques d'incendie ou d'explosion dans votre entreprise, il en sera fait mention dans ce document et les défauts à l'origine de ces dangers seront listés. La forme de sa rédaction correspond à un référentiel normé par l'APSAD, et est de ce fait standardisée, de telle sorte que les assureurs peuvent facilement le lire.

Le Q18 est délivré par l'organisme qui procède à la vérification annuelle de vos installations électriques et non électrostatique. S'il existe, du fait de cette installation, des risques d'incendie ou d'explosion dans votre entreprise, il en sera fait mention dans ce document et les défauts à l'origine de ces dangers seront listés.

La déclaration Q19 : Il s'agit d'une déclaration qui peut être rédigée à l'issue d'un contrôle thermographique de votre installation électrique (et pas les aspects électrostatiques), dans laquelle seront répertoriées de façon synthétique les anomalies relevées, leur localisation ainsi que les mesures correctrices mises en place pour supprimer ce ou ces points dangereux.

Là aussi, elle est rédigée selon un format qui reprend un référentiel APSAD. Elle ne peut se substituer au rapport détaillé du contrôle thermographique rédigé par un technicien de maintenance, dans lequel vous allez trouver les photographies réalisées lors des vérifications ainsi que les observations du vérificateur.

A l'issue d'un contrôle électrique réalisé par thermographie infrarouge, deux documents vous sont remis:

- Le rapport détaillé du contrôle dans lequel vous allez trouver les photographies réalisées lors des vérifications ainsi que les observations du vérificateur,
- Une déclaration Q19 dans laquelle seront répertoriées de façon synthétique les anomalies relevées, leur localisation ainsi que les mesures correctrices mises en place pour supprimer ce ou ces points dangereux.

❖ **Si jamais, les différentes normes deviendraient contradictoires, quelle est la valeur maximale de la résistance avec la terre à atteindre en tout point d'une installation ? Nous retenons habituellement 10 ohms. Quelle est la méthode pratique de mesure utilisable dans un contexte de vérification contradictoire ?**

La norme IEC / TS EN 60079-32-1 (Mars 2017) : Compilation de la norme IEC/TS 60079-32-1:2013 - Explosive atmospheres - Part 32-1 : electrostatic hazards, guidance et de son amendement de mars 2017, cite la Loi de Paschen qui dit que des décharges atmosphériques ne peuvent se produire en dessous de 300V. Toutefois, la norme NF C15-100 (Décembre 2002) : Installations électriques à basse tension, considère qu'une tension de plus de 50V est dangereuse. D'autre part, Les phénomènes physiques d'accumulation de charge ne dépassent pas 1uA. Prenant en compte 50 fois cette valeur, on obtient une valeur de 100 000 ohms comme valeur maximale sûre, ce qui est très largement supérieur au seuil proposé.

Si un seuil faible (10-1 000 ohm) est retenu, la mesure s'effectue au contrôleur de terre entre une barrette de remontée de terre et de 3 à 10 points caractéristiques de l'installation (réservoir, machine, tuyauterie principale...). La valeur mesurée par ce moyen doit s'additionner à la mesure de la résistance de la maille de terre locale de l'installation, mesurée par un bureau de contrôle au moment du CONSUEL par la méthode des 3 piquets.

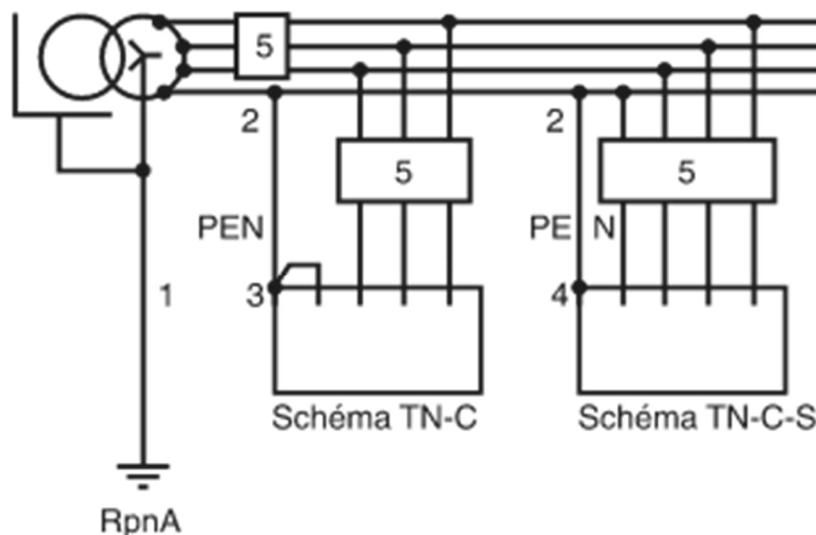
Par contre cela oblige de prévoir des moyens de contournement des équipements en thermoplastiques type PEHD qui sont parfois nombreux sur certaines typologies d'unités.

Les équipements et tuyauteries en thermoplastiques ne peuvent répondre à cette exigence de 10 ohms, pour autant le PEHD est souvent reconnu antistatique, avec un seuil de résistance inférieur à 10^6 ohm, indiqué dans la norme IEC 60250 : IEC 60250 : Recommended Methods for the Determination of the Permittivity and Dielectric Dissipation Factor of Electrical Insulating Materials at Power, Audio and Radio Frequencies Including Metre Wavelengths.

Ce second seuil peut être mesuré et vérifié par un testeur d'isolation (type Megger) mais cela ne peut être fait une fois l'installation en gaz car cela implique l'envoi d'une tension élevée afin de générer suffisamment de courant pour mesurer correctement la résistance effective.

Pour expliciter la mise à la terre telle mise en place dans les installations de méthanisation, il faut se rapprocher de celle du « régime de neutre » tel qu'explicitée suivant le mode TN-C, voir suivi d'un du mode TN-C-S (cf. Figure 11).

Figure 11 : Description du régime de neutre régissant la mise à la terre



La valeur de la résistance (notée sur ce schéma « RpnA ») doit être $\leq 10 \Omega$. Cette valeur retenue correspond à la valeur de la terre du neutre au point de livraison (Transformateur TGBT) tel que demandé par le fournisseur (ENEDIS) : il s'agit de la prise de Terre sur laquelle est raccordée le neutre et la masse du transfo HT/BT.

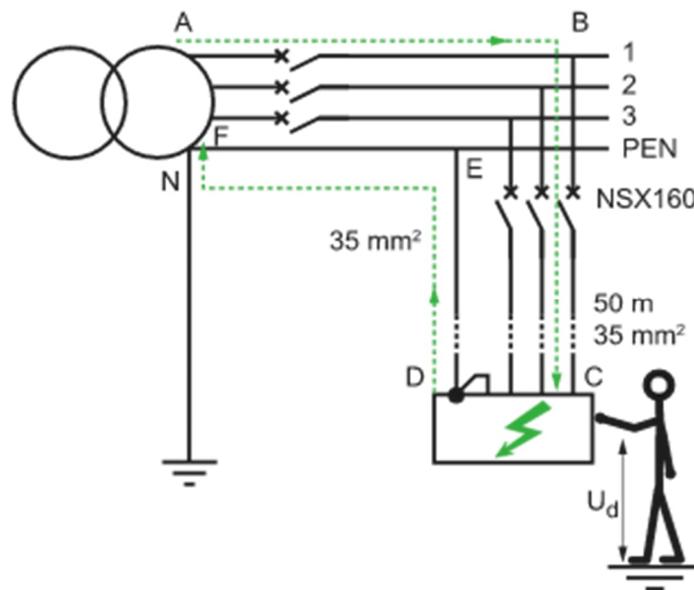
En régime TNC, la valeur de la résistance des différentes masses disséminées sur l'installation du site, au pied des bâtiments ou des équipements n'est pas le principal paramètre lorsqu'il s'agit du niveau de protection des personnes lors des contacts indirects puisque le courant de défaut boucle directement par le conducteur PEN jusqu'à la source.

Dans tous les schémas TN, tout défaut d'isolement à la terre se traduit par un court-circuit phase-neutre. Les niveaux élevés de courant de défaut permettent d'utiliser une protection contre les surintensités pour assurer celle des personnes contre les contacts indirects. Cela dit, la tension de contact peut atteindre, durant le laps de temps, très court, avant coupure, des valeurs excédant 50 % de la tension phase-neutre.

En pratique, pour les réseaux de distribution de services publics, les prises de terre sont normalement installées à intervalles réguliers le long du conducteur de protection (PE ou PEN) du réseau, tandis que l'utilisateur est souvent tenu d'installer une prise de terre au point de livraison.

Pour les installations de grande dimension, des mises à la terre additionnelles sont souvent réalisées et réparties sur l'ensemble des locaux afin de réduire autant que possible les tensions de contact.

Figure 12 : Schéma de représentation d'un défaut phase/PEN



Toute la pertinence de l'étude doit tenir compte de la détermination des paramètres suivants :

- Longueurs et sections de câbles ;
- Intensité du courant de défaut de court-circuit ;
- Choix du disjoncteur de protection afin d'être certain que le réglage du courant magnétique de déclenchement du disjoncteur soit en deçà du courant de défaut et que le temps de déclenchement respecte les exigences de la norme CEI 60364-4-41 (*) qui spécifie le temps de déclenchement maximal des dispositifs de protection utilisés dans le schéma TN pour la protection contre les défauts).

(*) : CEI 60364-4-41 2005-12 « Installations électriques à basse tension » Partie 4-41 : Protection pour assurer la sécurité - Protection contre les chocs électriques.

Cette mise en œuvre se fait à la conception par le calcul des longueurs maximales de câble à ne pas dépasser en aval d'un disjoncteur ou d'un fusible, et à l'installation par le respect de certaines règles de l'art. Certaines conditions doivent être respectées, telles que énumérées ci-après :

1. Le conducteur PE doit être raccordé régulièrement à la terre autant que possible ;
2. Le conducteur PE ne doit pas passer par des conduits ferromagnétiques, des gaines, etc. ou être monté sur des ouvrages en acier, car les effets inductifs et/ou de proximité peuvent augmenter l'impédance effective du conducteur ;
3. Dans le cas d'un conducteur PEN (conducteur neutre également utilisé comme conducteur de protection), la connexion doit être réalisée directement sur la borne de terre de l'appareil avant d'être bouclée sur la borne neutre de l'appareil ;
4. Les conducteurs neutres et de protection ($\leq 6 \text{ mm}^2$ pour le cuivre ou 10 mm^2 pour l'aluminium) ou lorsqu'un câble est mobile, doivent être séparés, c'est-à-dire qu'un schéma TN-S doit être adopté au sein de l'installation ;
5. Les défauts de terre peuvent être éliminés par des dispositifs de protection contre les surintensités, c'est-à-dire par des fusibles ou des disjoncteurs.

Remarques :

- En schéma TN, les masses du poste, le neutre BT et les masses d'utilisation doivent être reliées à une même prise de terre ;
- Pour un poste de livraison dans lequel le comptage est réalisé côté basse tension, un moyen d'isolement est requis en tête d'installation BT, et la coupure doit être visible ;
- Un conducteur PEN ne doit en aucun cas être coupé.

Les dispositifs de commande et de protection des divers schémas TN seront :

- 3P lorsque le circuit comprend un conducteur PEN ;
- 4P (3 phases + neutre) lorsque le circuit comprend un neutre avec un conducteur PE séparé.

L'étude électrique doit être réalisée par le sous-traitant parmi ceux spécialisés dans ce domaine électrique.

Il faut veiller à assurer l'équipotentialité de toutes les masses afin de permettre d'améliorer le couplage électromagnétique CEM.

En ce qui concerne la question relative à la méthode pratique de mesure utilisable dans un contexte de vérification contradictoire, il existe une diversité d'appareillage de fabricants pour s'équiper de testeurs, de pince facile d'emploi pour réaliser des mesures rapides de la résistance de boucle de terre.

❖ Quelles sont les règles pour réaliser la mise à la terre ?

La mise à la terre de fait est de construction (bâtiment en général). Un circuit, un appareil, une machine, un récipient, sont dits électro statiquement à la terre lorsque leur résistance de fuite ou d'écoulement des charges ne dépasse pas 10 ohms, sachant que cette résistance est mesurée entre la terre et n'importe quel point de l'élément considéré. Cette valeur est suffisante pour empêcher toute accumulation de charges électrostatiques importantes et l'on peut considérer que la mise à la terre est réalisée de fait si cette exigence est respectée.

La mise à la terre peut être directe : Tous les éléments d'un système conducteur susceptible d'accumuler des charges électriques, implantés dans un lieu où il y a risque d'explosion, doivent être raccordés vis des systèmes de mise à la terre de type pince etc... La résistance électrique des conducteurs à la terre ne doit dépasser la valeur seuil de 10 Ω .

Cette liaison doit être assurée au moyen d'un conducteur métallique de résistance suffisante pour supporter les efforts auxquels il est soumis en cours d'exploitation. Si cet élément ou système est par exemple le bâti d'une machine, le conducteur électrique sera fixé par soudure à l'étain ou à l'arc, par brasure ou par raccord vissé et bloqué. La continuité avec la terre sera vérifiée lors de la mise en service et des vérifications périodiques permettront de s'assurer qu'elle n'est pas compromise par la corrosion ou par une cause mécanique.

❖ Qui doit veiller au maintien et au contrôle des mises à la terre et des liaisons équipotentielles ?

Il faut mettre en place des contrôles annuels sous la responsabilité du chef d'établissement permettant de :

- Vérifier les liaisons équipotentielles ;
- Vérifier que toutes les modifications faites ne diminuent pas la sécurité vis-à-vis du risque électrostatique.
- Nommer un responsable qui vérifie régulièrement les installations et fait un audit tous les ans en y intégrant toutes les installations mobiles en respectant les recommandations et conseils formulés par la Direction assurance lors de rencontre avec l'exploitant.
- Vérifier de manière régulière les installations par un électricien ou un organisme de contrôle agréé (APAVE, VERITAS, etc.).

Les mises à la terre peuvent être constituées d'une fiche dans le sol ou d'un grillage enterré.

D'autres éléments peuvent être synthétisés comme suit :

- S'agissant du classement de zone ATEX, il faut retenir principalement une zone ATEX 2 lors des opérations d'intervention d'entreprises extérieures dans les principaux équipements digesteurs, etc. ;
- En complément du classement de zone ATEX, il faut attirer l'attention sur l'analyse de la conjonction d'une apparition de zone ATEX 2 principale au sein et autour de l'équipement et de l'évaluation de la source d'inflammation d'origine électrostatique pour juger de l'état et la suffisance quant à l'apport de l'énergie nécessaire à l'inflammation des matières contenues dans cette zone pour engendrer un accident ;
- Les pratiques dans leur niveau global demeurent consacrées à la règle de l'art de mise à la terre et à l'équipotentialité ;
- La pratique de la continuité électrique sur les circuits de mise en œuvre dans les procédés de méthanisation (digeur, post digesteur, canalisation, etc.) interroge du fait que de nombreux éléments matériels et accessoires sont réalisés dans des matériaux isolants et mauvais conducteurs des charges électrostatiques ;
- La pratique semble interpeller sur le lien entre fournisseurs, installateurs et exploitants en termes de conseil et d'instruction sur le choix et la sélection des équipements dans les règles de l'art et exigences normatives en vigueur dans ce domaine ATEX/électrostatique ;
- Des demandes de références de normes de conception et fabrication de matériels devant être traités antistatiques pour les membranes souples et les pots à charbon actifs, etc. et les câblages.

Il est apparu utile de revenir sur la présentation du risque électrostatique et d'apporter des préconisations adaptées à la filière dans les phases de :

- Construction (choix des matériaux des équipements en zone ATEX 2, en particulier, ponts électriques, mises à la terre, recherche de terres, etc.) ;
- Exploitation (dépotage des matières entrantes, déconditionnement, etc.) ;
- Maintenance (inertage des opérations, changements de filtres, vidange des pots à charbon actifs, etc.).

Il est important de rappeler que la terre doit être posée autour de tous les ouvrages (cuves, bâtiments, stockages...), que la continuité de ces terres est indispensable, et que les aciers des cuves en béton doivent y être raccordés, de même que les éléments métalliques des bâtiments (charpente, bardage).

Il est important d'assurer des sessions de formations sur les points suivants :

- Application de la réglementation ICPE (rubrique ICPE 2781 Méthanisation),
- Application des deux réglementations ATEX 2014/34/UE et ATEX 1999/92/CE,
- Maîtrise des risques d'inflammation d'origine électrostatique,
- Intervention de travaux par points chauds d'entreprises extérieures (permis de feu, permis d'intervention de travaux par ponts chauds, etc.).
- Expression d'un **besoin d'une standardisation des interfaces entre lots en particulier** à l'endroit des remontées de terre : section totale et des brins, hauteur par rapport au sol, présence d'une barrette de sectionnement, nombre minimum de perçages pour raccordements ainsi que la nomination du responsable de la mise en place des remontées de terre. **Les remontées peuvent être « oubliées » sur bien des projets car absentes des spécifications ou dans un cahier des charges inadapté (lot tuyauterie au lieu du lot terrassement / Génie Civil) car, retrouver le conducteur fond de fouille est alors particulièrement onéreux.**

- De nombreuses situations permettent d'attirer l'attention sur l'absence ou déficit de systèmes d'équipotentiels de tuyauteries, certains totalement inefficients (ponts constitués d'une barre d'inox, argumentaires autour de la faible résistance des boulonneries donc pas besoin d'équipotentielle, etc...). Il serait intéressant de créer une clé de détermination indiquant la section totale des équipotentiels de tuyauterie (entre brides) et section des fils composants ces liaisons en fonction du diamètre de tuyauterie ? Pour information coté matériaux, il existe des tresses plates pour mise à la terre en inox 316L qui ne « fondent » pas dans le biogaz à l'inverse de celles en cuivre étamé. Il existe également des câbles en inox à sertir sur cosses.
- ❖ **Nous savons que les toits à doubles membranes doivent être fabriqués en matériau antistatique, tant pour les nouvelles installations que pour les installations existantes. Nous nous demandons toutefois si cela s'applique uniquement à la membrane intérieure et / ou également à la membrane extérieure ? Nous indiquons également une zone ATEX à l'extérieur du toit à double membrane (zone ATEX 2 : 3 m), mais nous avons également des avis selon lesquels la membrane extérieure n'est peut-être pas concerné par cette réglementation.**

Il faut retenir deux conditions défavorables à l'inflammation du biogaz brut (digesteur) par décharge électrostatique :

- La probabilité faible pour constituer des ATEX à l'intérieur du digesteur et dans l'espace intermembranaire, qui sont classés en zone ATEX 2 ;
- Le biogaz brut et humide à l'intérieur du digesteur, pouvant être en contact avec les membranes du digesteur (zone ATEX 2), présente une EMI de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de mJ (cf. § 3.3), soit une énergie largement supérieure à celle pouvant être générée par la génération d'une étincelle électrostatique par une membrane souple en matériau isolant (par apport d'une étincelle électrostatique de type aigrette de l'ordre de 5 mJ).
- ❖ **Comment assurer l'équipotentialité autour d'un flexible en matériau isolant, type caoutchouc ?**

Les équipements usuels dédiés au transport de fluides etc. sont des tuyaux flexibles. Ce matériel est réalisé dans des matières élastomères neutre au contact des produit et dotées de spirale ou treillis métallique (cuivre, acier etc..) pour assurer la tenue mécanique. L'équipotentialité est assurée à travers cet élément métallique lorsque le contact est réalisé dans les règles de l'art par soudure sur les raccords de raccordement. Des fournisseurs de cette qualité de flexible existent et mettent en avant des attestations de conformité aux normes en vigueur pour justifier de cette équipotentialité.

Attention, de nombreux flexibles avec une apparence extérieure caoutchoutée ont en fait une armature intérieure métallique et sont, de fait, conducteurs entre leurs connectiques. Toutefois du fait des problématiques de raccordement, la résistance d'un tel assemblage est souvent élevée.

Il convient de suivre la norme EN 60079-14 (Mai 2014) : Conception, sélection et construction des installations électriques. Elle indique réaliser une mise à la terre en câblette de 6 mm² minimum sur la carcasse de la machine connectée par le flexible. Attention, pour ne pas créer de boucles de terres, si la machine est connectée par plusieurs flexibles il ne faut qu'une seule liaison par machine.

Pour citer, la norme NF EN ISO 8031 (Juillet 2020) : Tuyaux et flexibles en caoutchouc et en plastique - Détermination de la résistance et de la conductivité électriques spécifie des méthodes d'essais électriques des tuyaux, tubes et flexibles en caoutchouc et en plastique pour déterminer la résistance des tuyaux et flexibles conducteurs, antistatiques et non conducteurs et la continuité ou la discontinuité électrique entre extrémités de raccordement.

En l'absence de spirale ou de treillis métallique de renfort mécanique et de liaison intrinsèque de conduction, il est conseillé d'adopter des liaisons en tresses de masses entre les brides de raccordement métallique des tuyaux en caoutchouc ou plastique isolant du point de vue électrique pour assurer l'équipotentialité.

Figure 13 : Vue de tresses de liaison équipotentielle



❖ **En termes de topologie des réseaux de mise à la terre, comment sont évités des bouclages de mise à la terre et comment est isolée la mise à la terre de l'instrumentation ?**

La valeur maximale de la résistance avec la terre à atteindre en tout point d'une installation est habituellement retenue à 10 ohms. Il est recommandé de veiller que toutes les parties métalliques (tuyauterie, platine instrumentation, support agitateur, escalier métallique, etc.) soient reliées à la terre des masses.

En utilisant des barrettes de répartition de façon à créer un arbre de mise à la terre vers les éléments terminaux. Afin de respecter l'article 10 de l'arrêté du 23/02/2018, qui, même s'il n'est pas applicable aux méthaniseurs, des bonnes pratiques sont mises en œuvre par la séparation des mises à la terre en deux arbres : celui « électricité » avec un tronc partant du TGBT et des branches le long des chemins de câble vers les instruments. Il est dissocié de l'arbre « mécanique » avec un tronc sur une machine de compression puis des branches le long des différentes tuyauteries, parfois isolées entre elles au niveau d'une bride. Pour parfaire l'isolation d'une bride, des canons isolants sont utilisés afin d'isoler la boulonnerie de la bride et ainsi empêcher la constitution de bouclages. La présence d'une terre électronique peut souvent être limitée au local électrique et aux quelques rares instruments le nécessitant, mais de toute façon cette terre et la terre « ordinaire » sont reliées ensemble au niveau du TGBT (exigence de la norme NF C15-100 (décembre 2022) : Installations électriques à basse tension.

❖ **Quelles sont les recommandations pour les systèmes en mode de protection sécurité intrinsèque (10⁸ Ohms d'après la norme EN 60079-32-1 article 13.3.5) ?**

Les installations de sécurité intrinsèque ou les équipements de sécurité intrinsèque¹⁶ sont souvent exploités sans mise à la terre du fait des exigences concernant les systèmes de l'installation (cela ne s'applique qu'au corps de l'instrument concerné et à sa connectique électrique). Cependant, les enveloppes doivent être traitées du point de vue électrostatique et attestées donc conforme aux exigences des normes en vigueur pour être classées conductrices ou dissipatives. De tels équipements doivent être mis à la terre lors de leur installation et exploitation dans les emplacements où des ATEX dangereuses, au sens de la réglementation ATEX, sont susceptibles de se présenter.

¹⁶ Norme NF EN 60070-11 (Mars 2012) : Atmosphères explosives - Partie 11 : protection de l'équipement par, sécurité intrinsèque "i"

Dans pareil cas, la résistance électrique de mise à la terre des enveloppes doit être inférieure à 100 MΩ pour permettre de maintenir les courants de dissipation de l'équipement électrique en mode de protection sécurité intrinsèque et non connecté directement à la terre.

Le Cahier des Charges également appelé Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) doit prendre en compte ces exceptions appropriés lors de l'établissement du contrat entre les professionnels intervenants pour la conception et mise en œuvre de l'installation de méthanisation.

❖ **Quelles sont les recommandations pour les éléments d'isolation galvanique (présents au changement de matériau, passage en enterré etc.) et gestion de la mise à la terre de part et d'autre de ces équipements :**

Les isolateurs galvaniques de par leur nom servent à isoler deux circuits ou deux potentiels différent entre eux. Certains disposent de parasurtenseur intégré et de bornes de raccordement à la terre des masses qui doivent être réalisées par un câble de terre de section minimum de 10 mm² et étant le plus court possible. En règle générale, les circuits d'entrée et de sortie des isolateurs doivent être séparés et les fils de câblage ne doivent pas se longer parallèlement afin d'éviter les perturbations par couplage électromagnétique.

Les différentes normes (NF Gaz art 10-3-1, EN 12068, etc.) spécifient plus qu'une simple isolation, mais de la rigidité diélectrique c'est-à-dire une absence de continuité quelconque entre les deux cotés d'une bride reliant une tuyauterie enterrée. Concrètement, cela se fait par la mise en place d'un kit d'isolation constitué d'un joint et de canons de boulonnerie. L'ensemble peut être revêtu d'une peinture isolante en atmosphère corrosive.

Ce n'est pas parce qu'il y a une isolation entre deux points qu'il y a apparition d'une différence de potentiel. Or quelle est in fine la justification de la continuité électrique ? C'est bel et bien le souci d'éviter l'apparition d'une tension dangereuse. Or une tension apparaît lorsque l'on met un élément métallique sous terre à cause des métaux qui le constituent : il se comporte en pile électrique et le métal se dissout petit à petit dans l'environnement. La protection cathodique a pour but d'annuler cette dissolution en ramenant le potentiel de la canalisation proche de 0, soit le potentiel de la masse. Mais pour ce faire il faut qu'elle puisse ne polariser que la section de tuyauterie enterrée. A défaut, la protection n'arrivera pas à assurer son rôle et, soit l'électrode sacrificielle sera à remplacer de façon prématurée, soit l'électronique se mettra en défaut.

❖ **Dans le cadre de nos installations, nous avons également des cuves en PEHD, contenant du charbon actif pour traiter les odeurs dans l'air extrait des cuves, Y a-t-il un risque électrostatique dans ces ouvrages ?**

Pour considérer on non le risque électrostatique, il faut se poser les deux questions suivantes :

- Est-ce que le fonctionnement du système met en œuvre les mécanismes de génération de charges ?
- Si oui, est ce que les matériels (conducteurs, dissipatifs, isolants) en présence peuvent accumuler ces charges électrostatiques pour atteindre leur niveau critique (densité de charge maximale) au-delà duquel des décharges peuvent se produire ?

❖ **Il est possible que le charbon actif pourrait s'auto-enflammer lors de l'ouverture du filtre à charbon actif par apport d'air. Faut-il donc l'inertier avant de réaliser cette opération ?**

Il peut y avoir des risques d'inflammation (flash thermique / boule de feu) associées à l'inflammation d'ATEX air (H₂S / COV) et/ou d'ATEX air / poussières en suspension de charbon actif.

Il est exact que le charbon actif est sensible à l'auto-inflammation, mais uniquement si la teneur en oxygène du gaz est suffisamment élevée (supérieure à 5% en volume), ce qui n'est pas le cas dans des conditions de fonctionnement normales. L'auto-inflammation est également la conséquence d'une combinaison de la température, du volume et de la durée de stockage sous atmosphère oxydante.

Lors de l'opération d'ouverture et de vidange du silo à charbon actif, il pourrait se dégager des composés gazeux volatils et inflammables (H₂S, COV et CH₄) mais également se former la mise en suspension de poussières pulvérulentes combustibles de charbon actif en suspension dans l'air. Il convient d'adapter les mesures de sécurité de prévention pour éviter la génération ponctuelle d'ATEX poussière fines de charbon actif dans l'air (éviter d'ouvrir ou de vider le filtre sur place, etc.) et l'apport de sources d'inflammation liée à l'opération de changement du silo actif (mise à la terre et à l'équipotentialité de filtres, etc.).

❖ **Le changement du charbon actif est une opération courante. Quelle la fréquence de changement du charbon : au moins tous les mois ou tous les 3 mois ?**

C'est une fréquence régulière et fait donc appel à la notion de fonctionnement normal avec des consignes de sécurité adaptées (inertage, etc.) vis-à-vis du risque ATEX Air / poussières carbone en suspension.

❖ **Lors de sa réduction, l'hydroxyde de fer chargé en H₂S peut-il également s'auto-enflammer?**

1. Réduction de l'hydroxyde de fer : $2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$

2. Précipitation du sulfure : $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS} + 2 \text{H}_2\text{O}$

Lorsque l'hydroxyde de fer est en contact avec de l'oxygène, ce dernier usé peut brûler (oxydation sulfure de fer), les réactions ci-dessous sont très exothermiques¹⁷.

La désulfuration est un procédé utilisé pour capter l'H₂S du biogaz brut et peut être réalisée par des méthodes internes et externes. La désulfuration interne avec des substances contenant du fer est facilement réalisable, simple à doser et permet une réduction de la corrosion.

Les substances basées sur l'hydroxyde de fer ont fait leurs preuves depuis des décennies, car elles ne sont pas acides ou corrosives et sont une alternative économique aux sels de fer et adsorbants.

Les hydroxydes de fer sont couramment utilisés aux Etats-Unis pour une étape de dégrossissage de désulfuration du biogaz. Cet hydroxyde de fer fois saturé, peut être répandu sur les terrains agricoles (pas d'obligation de retraitement ou de mise en Centre d'Enfouissement technique).

Les principaux soucis rencontrés par l'exploitant sont la prise en masse conséquente qui gêne le remplacement du média usé et l'auto-inflammation lors de la vidange des silos avec dégagement nocif de dioxyde de soufre SO₂. Certains médias commerciaux mixent les hydroxydes de fer avec des charges inertes telles que de la chaux éteinte Ca(OH)₂ par exemple.

❖ **Sur les unités de production de biométhane, peut-on recourir à un inertage au N₂ ou CO₂ ?**

Via de bonnes pratiques professionnelles relatives à l'inertage (N₂ / CO₂) de ciels de digesteur (en situation transitoire lors de phases de démarrage de digesteur / vidange de digesteur (REX unité de méthanisation industrielle)) et de ciels de filtre à charbon actif (lors des phases de vidange ou lors de lutte contre l'incendie liés à de l'auto-inflammation de silo de charbon actif).

¹⁷ Emerging Technologies and Biological Systems for Biogas Upgrading. Chapter 11 - Technologies for removal of hydrogen sulfide (H₂S) from biogas.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128228081000118>

❖ **Pourquoi ne pas oublier d'intégrer l'hydrogène, qui pourrait être généré dans les cuves de réception ?**

En première étape de méthanisation biologique, de l'hydrogène peut être généré en mélange avec le CO₂. L'Ineris a relaté un REX survenu dans une industrie papetière où une explosion est survenue lors d'opération de travaux par points chauds et intervention de deux opérateurs sur une cuve de stockage de déchets de pâtes de papier. L'Ineris a démontré en réacteur de 5 L que les conditions du stockage des déchets étaient favorables (composition, pH...) pour générer un mélange H₂+CO₂ lors des premières étapes de digestion anaérobie.

❖ **Sur les bonnes pratiques d'usage des résines époxy (non dispersives). Est-elle utilisée pour les caillebotis / échelles / garde-corps en matériau isolant et dans quelles conditions ?**

Les matériaux isolants, telle de la résine époxy, sont utilisés dans ce cadre. Les fixations étant métalliques sur une structure également métallique elle-même reliée à la terre, on considère l'accumulation de charges improbables. La vérification d'une résistance inférieure à 10⁶ ohms peut se faire comme pour les éléments en thermoplastiques, à l'aide d'un contrôleur d'isolement.

