l'Assurance Maladie
RISQUES PROFESSIONNELS

INRS
Institut National de Recherche et de Sécurité

Démarche de prévention | Risques

Prévention des risques en méthanisation et compostage

ED 6553

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie, administrée par un Conseil paritaire (employeurs et salariés).
De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'Institut met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser une culture de prévention dans les entreprises et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels à tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, services de prévention et de santé au travail, instances représentatives du personnel, salariés…
Toutes les publications de l'INRS sont disponibles en téléchargement sur le site de l'INRS : www.inrs.fr

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS) de l'Assurance maladie - Risques professionnels, disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé notamment d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ces professionnels sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation.
Les caisses assurent aussi la diffusion des publications éditées par l'INRS auprès des entreprises.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 € (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2026.
Édition : Nadia Luzeaux
Conception graphique : Julie&Gilles
Mise en pages : EFIL - www.efil.fr

l'Assurance Maladie
RISQUES PROFESSIONNELS

INRS
Institut National de Recherche et de Sécurité

Démarche de prévention
Risques

Prévention des risques en méthanisation et compostage

ED 6553 |
novembre 2026

Brochure INRS élaborée par P. Battais, en collaboration avec : P. Duquenne, E. Silvente, C. David, S. Lechêne (INRS) ; O. Schlosser (Suez) ; A. Revallier, H. Pelicier (Veolia) ; H. Delepaut (Cramif) ; A. Paillet (Fnade) ; M. Melix, L. Duclos (ATEE Club Biogaz) ; J.-L. Grosmann (Carsat Bourgogne-Franche-Comté) ; K. Mary (SM4 – Réseau Compostplus)

Sommaire

Introduction 5

1 La filière valorisation des déchets organiques 6

1.1 Déchets traités 6
1.2 Les procédés de méthanisation et de compostage 7
1.3 Les métiers et tâches 8

2 Risques identifiés au sein de la filière 11

2.1 Risques généraux 11
2.2 Risques chimique et biologique 13
Risque chimique 14
Risque biologique 17

3 Prévention des risques généraux 19

3.1 Avoir un bâti adapté à l'activité 19
3.2 Prendre en compte l'accessibilité aux zones et aux installations 19
3.3 Prévenir le risque entraînement/écrasement 20
3.4 Prévenir le risque TMS 20
3.5 Prévenir le risque électrique 20
3.6 Prendre en compte le risque incendie 20
3.7 Prendre en compte le risque explosion (Atex) 21
3.8 Prévenir le risque de collision 21
3.9 Prévenir le risque de chute 21
3.10 Prévenir le risque bruit 22
3.11 Assurer le confort thermique 22

4 Prévention des risques chimique et biologique 23

4.1 Mettre en place des captages localisés 24
4.2 Mettre en place une compensation d'air efficace et contrôlée 24
4.3 Utiliser la ventilation générale 25
4.4 Utiliser des appareils de protection respiratoire (APR) 25
4.5 Limiter les contaminations 25

5 Prévention des risques inhérents au procédé 27

5.1 Prévenir les risques liés au stockage et au transfert des effluents liquides 28

5.2 Prévenir les risques liés aux déversements accidentels 28

5.3 Prévenir les risques lors des interventions en espaces confinés 28

5.4 Prévenir les risques liés aux équipements 29

Convoyeurs à bande transporteuse 29

Broyeurs 29

Cabines d'engins mobiles 30

Tubes de préfermentation 30

Chaîne de tri mécanisé pré-compostage/méthanisation 31

Équipements de déshydratation 31

5.5 Prévenir les risques liés au compostage 31

5.6 Prévenir les risques liés à la co-activité 32

6 Mesures complémentaires 33

6.1 Vérifications 33

6.2 Protection individuelle 33

6.3 Formation et information 33

Bibliographie 35

Pour en savoir plus 35

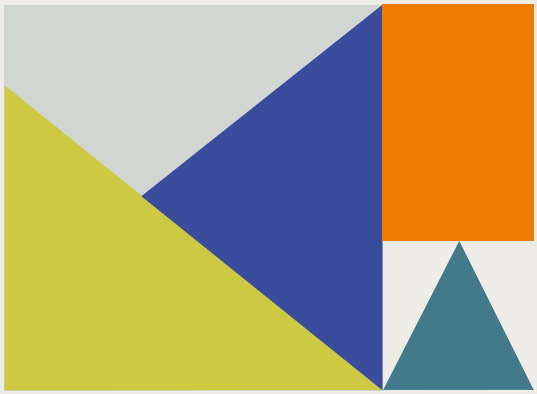
Introduction

Cette brochure a été élaborée avec l'aide des associations et fédérations professionnelles du secteur de la valorisation organique des déchets et des Carsat. C'est un document de prévention destiné aux acteurs de ces filières (bureaux d'études, constructeurs, exploitants, représentants du personnel, préventeurs, médecins du travail…), ainsi qu'aux organismes de contrôle pour répondre à un double objectif :

- aider au repérage et à l'évaluation des risques professionnels dans les unités de méthanisation ou de compostage des déchets ;
- guider les professionnels lors de la conception de nouvelles installations, proposer la mise en place de bonnes pratiques et de moyens de prévention appropriés au sein d'installations existantes.

Les mesures de prévention proposées concernent les salariés et exploitants ainsi que les employés des sociétés sous-traitantes susceptibles d'intervenir lors du fonctionnement normal des installations et lors des périodes de maintenance quotidiennes et planifiées (arrêt technique). Elles s'appuient sur la connaissance des filières et des procédés qui y sont mis en œuvre pour gérer les déchets entrants et les résidus générés, ainsi que des risques inhérents à ce secteur d'activité.

En marge des activités présentes sur les installations, celles réalisées en amont (tri à la source, collecte) ou en aval (enlèvement du compost, épandage du digestat) ne sont pas abordées dans ce document.



1. La filière valorisation des déchets organiques

Les installations de méthanisation ou de compostage visent deux objectifs :

- permettre la réduction des déchets ménagers et assimilés, et « coordonner l'ensemble des actions à mener tant par les pouvoirs publics que par des organismes privés en vue d'assurer l'élimination des déchets ménagers ainsi que de tous déchets qui, par leur nature, peuvent être traités dans les mêmes installations que les déchets ménagers » (article R 541-13 du Code de l'environnement) ;
- contribuer à la diversification du bouquet énergétique par la production d'électricité, de chaleur ou de carburant renouvelables (loi 2005-781 du 13 juillet 2005).

1.1. Déchets traités

La méthanisation et le compostage assurent la valorisation d'une grande variété d'intrants :

- des déchets agricoles (fumier, lisier, sous-produits animaux, résidus de cultures…) ainsi que des cultures dédiées dites « à vocation énergétique », ou « cultures principales » limitées à 15 % du tonnage brut entrant (en l'état actuel de la réglementation) ;
- des déchets de l'industrie agroalimentaire (fruits et légumes, déchets d'abattoirs…) ;
- des déchets ménagers et assimilés ou DMA (biodéchets ménagers triés, déchets verts…) ;
- des déchets de la collectivité (boues de stations de traitement des eaux usées ou STEU, biodéchets de la restauration collective, des marchés ou des grandes et moyennes surfaces…) ;
- des déchets industriels (eaux de lavage de procédés industriels, boues industrielles…).

Sur les plateformes de compostage, les matières entrantes sont majoritairement des biodéchets (déchets de table et de cuisine, déchets de jardin), le reste venant de boues de STEU. Concernant les matières sortantes, ce sont majoritairement des composts valorisés principalement en agriculture et auprès des collectivités [1].

La « méthanisation centralisée » consiste à traiter dans une même installation, des déjections d'élevage, et des déchets provenant notamment des industries agroalimentaires.

> La méthanisation à la ferme, avec la méthanisation centralisée, fait l'objet d'un guide de prévention spécifique[1] et ne sera pas détaillée plus avant dans ce guide.

1. Voir ED 6153 – Méthanisation des déchets issus de l'élevage, de l'agriculture et de l'agroalimentaire.

1.2. Les procédés de méthanisation et de compostage

La collecte se déroule en amont des procédés d'intérêt et ne sera donc que sommairement mentionnée dans ce guide. Elle implique les tâches de ramassage (enlèvement), compactage et transport des déchets vers les unités de méthanisation ou de compostage.

Ce tri des déchets à la source se généralise. Bien qu'il implique le stockage chez le producteur (domicile des particuliers, cuisine des collectivités…) et une nouvelle organisation de la collecte (durée/fréquence), il permet une meilleure organisation et efficacité des procédés de méthanisation et de compostage.

Pour plus d'informations

La filière des biodéchets a fait l'objet d'un guide particulier « Filière des biodéchets alimentaires. Risques et prévention ».[2]

Différents procédés peuvent être mis en œuvre dans les installations de méthanisation et de compostage, impliquant une typologie des installations différente (figure 1).

Les phases de « réception » et de « préparation » des déchets, placées au centre de la figure 1, sont communes aux procédés de méthanisation et de compostage [2].

La partie « réception des déchets » est la première étape. Dans cette zone, la gestion des déchets implique l'accueil des véhicules, le pesage du chargement, puis un contrôle qualité des matières avant déchargement et entreposage.

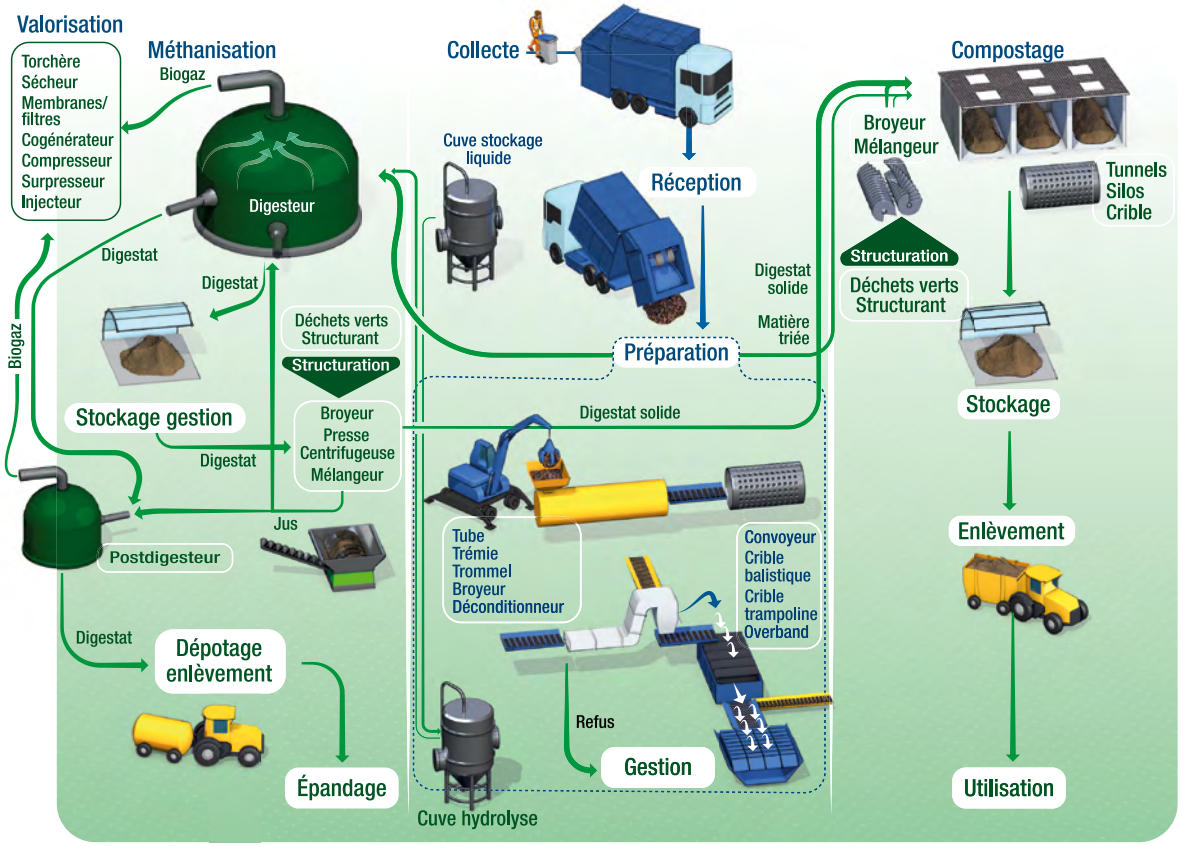


Figure 1 : Description des principales activités par étape des procédés de méthanisation et compostage

2. Voir ED 6473 – Filières des biodéchets alimentaires. Risques et prévention.

Les déchets sont alors traités dans la partie « préparation ». Une vaste zone lui est en général dédiée, avec des équipements dont le nombre et la nature varient en fonction des procédés utilisés, de la nature des déchets entrants, des critères de tri et de la présence ou non d'un tri à la source. Parmi les différents dispositifs existants, on retrouve :

- des dispositifs de préfermentation ou d'hydrolyse pour une première préparation de la matière (tube de préfermentation, cuve d'hydrolyse) ;
- des dispositifs pour l'alimentation de la chaîne de tri et le transport des matières (trémie[3], convoyeur, déconditionneur…) ;
- des dispositifs pour la séparation et la préparation plus poussées des matières (crible, broyeur, tapis, trommel, overband…) ;
- des zones de stockage intermédiaire des matières issues du tri (alvéoles produits triés, refus de tri).

Le traitement mécano-biologique (TMB) est en mutation, avec de nouveaux équipements (presses en amont/aval, broyeurs lents pour déconditionnement, hydrocyclones, bioréacteurs, cuves d'hygiénisation pour abattre les agents pathogènes en fonction du type d'intrants…). Dans le cas des déchets verts, on retrouve surtout du broyage et des cribles.

La matière organique ainsi triée et préparée passe ensuite soit par l'étape « méthanisation », soit par l'étape « compostage ». Ces deux filières peuvent être distinctes ou associées dans l'ordre méthanisation puis compostage.

La méthanisation se déroule en l'absence d'oxygène dans un réacteur fermé (méthaniseur ou digesteur). Plusieurs technologies sont disponibles et celle retenue dépend essentiellement de la nature des substrats à traiter et de leur quantité. Ces technologies peuvent être classées en deux grandes familles suivant la proportion de matière sèche (MS) présente dans le digesteur [3] :

- les technologies par voie humide : la méthanisation est réalisée par voie humide ou liquide lorsque la quantité de matière sèche n'excède pas 15 % ;
- les technologies par voie sèche : lorsque la quantité de matière sèche est supérieure à 15 %, la méthanisation a lieu par voie sèche. Cette technique permet de maintenir les résidus dans leur état d'origine sans d'importants ajouts d'eau (teneur en matière sèche le plus souvent comprise entre 20 et 40 %, supérieure à 40 % dans le cas du méthaniseur batch à percolation). Elle est très souvent utilisée pour la méthanisation des déchets ménagers.

La méthanisation peut être suivie d'une phase de postdigestion qui constitue également une première étape de stockage du digestat. Si le digestat n'est pas composté, il reste stocké à cette étape avant enlèvement pour épandage.

Le digestat, issu de méthanisation, ou la matière triée issue de l'étape de préparation subissent diverses opérations préalables à leur compostage, regroupées sous le terme « structuration » :

- déshydratation du digestat (presses, centrifugeuses) : séparation du digestat solide (compostage) et des jus (réensemencement du digesteur, stockage, dépotage pour épandage…) ;
- mélange de la matière organique ou du digestat avec du structurant (déchets verts ou refus, éventuellement prébroyés).

La matière organique ainsi structurée subit ensuite l'étape de compostage. Généralement, trois phases sont déployées :

- phase active de fermentation avec aération forcée (1 à 4 semaines) en tunnels fermés ou en andains à l'air libre ;
- maturation en andains en silos (3 à 10 semaines) avec retournements réguliers ;
- affinage du compost par criblage.

Il n'existe pas forcément de tunnels sur les sites, ni d'aération (le mode aérobie est alors maintenu simplement par retournement des andains). Si une aération des andains est mise en place, elle peut être par aspiration ou soufflage (à efficacité variable suivant les débits appliqués). Souvent, les plateformes de compostage sont à l'air libre.

3. Les trémies peuvent également se situer en zone « réception » pour alimenter des bandes transporteuses ou des cuves acheminant les déchets en zone « préparation ».

En sortie de méthanisation comme en sortie de compostage, les matières doivent être stockées avant utilisation. Cette étape de stockage va dépendre du procédé utilisé :

- En méthanisation, il existe un stockage du digestat liquide (cuves), puis dépotage pour enlèvement ou recirculation dans le procédé. Si la méthanisation a lieu par voie sèche, le digestat en sortie de digesteur est souvent déshydraté dans la phase de structuration (presse, centrifugeuse…) et la partie solide subit généralement une étape de compostage, tandis que les jus vont être stockés ou utilisés par recirculation, comme dans le cas de la méthanisation par voie humide.
- En compostage, le stockage est réalisé sur dalle, en extérieur ou en locaux fermés plus ou moins ventilés.

Un autre stockage à mentionner est celui des refus : refus de tri ou refus de crible à l'étape d'affinage du compost. Ce stockage nécessite des emplacements dédiés et des enlèvements réguliers.

En méthanisation, une étape importante est celle de la « valorisation du biogaz ». Sur les premiers sites de méthanisation, le biogaz était principalement valorisé par des cogénérateurs produisant électricité et chaleur. Cette valorisation a évolué avec le développement du transport de la chaleur produite via le réseau d'eau chaude (chaudière) et de projets d'injection nécessitant une épuration du biogaz en biométhane aux normes du gaz naturel ou gaz carburant. L'élimination des différents gaz autres que le méthane ou des impuretés dans le biogaz nécessite la mise en place d'équipements :

- élimination de l'eau : équipement de condensation ou de séchage de la vapeur d'eau ;
- élimination du CO_2 (dioxyde de carbone) : adsorption par lit de charbon actif, absorption chimique (solution alcaline) ou physique (différentielle, à modulation de pression ou température) ;
- élimination du H_2S (sulfure d'hydrogène) : tour de désulfurisation (adsorption par l'oxyde de fer + oxygène) ou technique physique par séparation membranaire ;
- élimination des COV (composés organiques volatils) : responsable de corrosions dans les moteurs, épurés en partie par adsorption via charbons actifs, ou absorption chimique.

Afin d'éviter un rejet de méthane dans l'atmosphère en cas d'indisponibilité temporaire des équipements de valorisation du biogaz, une torchère est mise en place pour permettre son élimination.

1.3. Les métiers et tâches

Chaque unité de méthanisation ou plateforme de compostage possède un fonctionnement qui lui est propre. Certaines ont organisé chaque métier autour de tâches spécifiques, d'autres ont privilégié la polyvalence des opérateurs sur l'ensemble des tâches nécessaires au bon fonctionnement du procédé.

Les principales tâches pouvant être répertoriées sont les suivantes (tableau 1) :

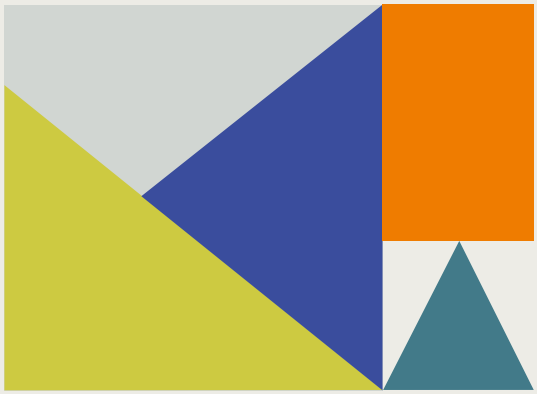
- **conduite d'engins :** les engins présents sont des camions, des pelles, des chargeuses et parfois des retourneurs d'andains en site de compostage. Les salariés peuvent être amenés à évoluer sur l'ensemble du site, mais plus particulièrement en zones réception et post-méthanisation/compostage (structuration, tunnels, affinage, stockage) ;
- **nettoyage/entretien :** cette tâche est conséquente sur tous les sites de traitement des déchets, particulièrement dans les zones de réception et préparation. Des agents d'entretien ou « balayeurs » nettoient les déchets au sol manuellement ou parfois avec un aspirateur dédié. Les zones post-méthanisation ou compostage sont également nettoyées à l'aide de véhicules de type chargeuse. De manière générale, tous les locaux sont régulièrement nettoyés, notamment les locaux annexes destinés aux salariés, les cabines de commande ou d'engin et les laboratoires ;
- **intervention sur équipement :** les interventions courantes sur les équipements sont les débourrages sans réparation et les nettoyages à fréquences établies. Ces opérations peuvent avoir lieu en zones réception et préparation (nettoyage de tubes rotatifs, de trommels…), ou après méthanisation sur des broyeurs par exemple. Les interventions de maintenance, préventives ou curatives, concernent l'ensemble du site et incombent le plus souvent à des agents dédiés ;

- **ronde/surveillance :** cette tâche, normalement présente au sein de toute usine de production, incombe en général au chef d'équipe ou au responsable d'exploitation, mais peut aussi être confiée à un rondier ;
- **mesures/prélèvements sur matière et analyse :** cette activité est en général réalisée par un laborantin du site ou par un agent de l'équipe QSE (qualité, sécurité, environnement). Des agents d'exploitation ou autres opérateurs polyvalents peuvent également être amenés à la réaliser. Les prélèvements pour analyse (biologiques et/ou chimiques) aux différents stades d'avancement de la matière (intrants, digestat, compost ou sous-produits) peuvent être faits à chaque étape du procédé (réception, tri-préparation, méthanisation et/ou compostage).

Les tâches de collecte (apporteurs) ou d'enlèvement du digestat ou du compost (agents de transport) peuvent être réalisées par l'entreprise ou en sous-traitance.

Tableau 1 : Localisation des principales tâches

Zones	Tâches				
	Conduite d'engins	Nettoyage/ Entretien	Intervention sur équipement	Ronde/ Surveillance	Mesures/ Prélèvement matière
Réception	X	X	X	X	X
Préparation		X	X	X	X
Méthanisation			X	X	
Structuration	X	X	X	X	X
Compostage	X	X	X	X	X
Stockage	X	X	X	X	X
Valorisation biogaz			X	X	



2. Risques identifiés au sein de la filière

Lors de l'évaluation des risques professionnels, l'employeur doit tenir compte de l'ensemble des risques auxquels sont exposés les travailleurs, afin ensuite de décider des mesures de prévention ou de protection appropriées.

Les résultats de l'évaluation doivent ensuite être formalisés par écrit dans le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP) qui est mis à jour régulièrement.

2.1. Risques généraux

Dans les risques présents dans tous types d'usines ou spécifiques aux installations de traitement des déchets, on distingue en particulier :

- Le risque **collision** : il est très présent du fait du déchargement des déchets et de l'évacuation des matières fertilisantes, sans compter les déplacements de matière au cours des diverses étapes du procédé. Ce risque recouvre à la fois la collision entre véhicules et la collision véhicule-piéton. Généré ou accru par la co-activité, il constitue la première cause de décès dans ce secteur.
- Le risque de **chute** : il comprend les chutes de plain-pied ou de hauteur. Ces accidents sont liés à des déplacements sur un sol, un escalier ou lors d'accès en hauteur (passerelle, échelle, escabeau…), à la montée ou la descente du poste de conduite d'un engin. Ce risque est également présent du fait d'interventions de maintenance à des endroits peu accessibles.

Les causes des chutes sont toujours multifactorielles : un sol rendu glissant par de la pollution liée à la production (produits gras, eau…) ou fonction des conditions climatiques, un sol encombré ou la présence d'obstacles, un éclairage inapproprié (insuffisant ou éblouissant), l'utilisation de moyens d'accès en hauteur inadaptés…

- Le risque **entraînement/écrasement** : il est principalement dû aux machines et à la manutention, qu'elle soit mécanique ou manuelle (heurt, chute de charge…). Les moyens de levages mécaniques (portique, palan, chariot élévateur…), non adaptés, mal utilisés ou défectueux, induisent des risques de ce type. Certaines manutentions manuelles peuvent également être à l'origine d'accidents de type traumatique. En compostage et/ou en méthanisation, ce risque est notamment présent dans la partie tri-préparation des déchets et est accru lors des phases de maintenance. Mais il reste globalement présent dans toutes les zones.
- Le risque **troubles musculosquelettiques** (TMS) : il est lié au port de charge, à la répétitivité des certaines opérations et à l'adoption de postures contraignantes, notamment lors des activités de collecte et de réception des déchets, ou lors de la maintenance des installations.

- Le risque **électrique** : il est présent au sein de toutes les installations industrielles, et dans l'ensemble des zones.
- Les risques **incendie/explosion** : le risque incendie provient de la présence concomitante de matières combustibles (tas de poussières ou de résidus céréaliers, biogaz…) et d'une source d'inflammation (surfaces chaudes d'un moteur d'engin, étincelles d'origine électrique, travaux par points chauds…). Le risque d'explosion nécessite des conditions supplémentaires. Le combustible gaz/vapeurs ou poussières doit être en suspension dans l'air dans sa gamme de concentration d'explosivité. Le combustible en suspension dans l'air est appelé atmosphère explosive (Atex). Lors d'une inflammation de cette Atex, en présence d'un confinement, l'explosion génère un flux thermique et une onde de surpression. En l'absence de confinement, le flux thermique est majoritaire. Ces deux risques doivent faire l'objet d'une évaluation spécifique, car les paramètres à prendre en compte diffèrent quelque peu. Dans le cas du risque d'explosion, il s'agit d'établir les endroits où est susceptible de se présenter une atmosphère explosive par un zonage Atex, réalisé sous la responsabilité de l'exploitant. L'évaluation du risque d'explosion, dont le zonage et le plan d'action, doivent être contenus dans un document relatif à la protection contre les explosions (DRPCE), annexé au DUERP.

Ces deux risques peuvent être présents dans la zone réception-préparation suivant la nature des intrants. Les équipements en zone tri (tubes de préfermentation ou autres équipements de préparation des déchets) peuvent être sujets à des départs de feu, souvent dus à une auto-combustion des déchets ou des matériaux issus du tri. Dans le cas des unités de méthanisation, le risque explosion est aussi lié à la présence de biogaz.

> Les risques incendie/explosion sont traités dans plusieurs brochures, de manière générale pour toute installation industrielle spécifiquement aux centres de tri, dans le secteur de la méthanisation centralisée hors ordures ménagères (voir ED 6153), ou encore dans le cadre de l'explosion d'Atex sur le lieu de travail [4, 5].

- Le risque lié au **bruit** : les différents équipements peuvent générer du bruit, notamment en zone tri. Ce bruit peut avoir des effets auditifs (fatigue auditive, surdité) et des effets extra-auditifs (risque d'accident, troubles cardiovasculaires et du sommeil, stress, baisse des performances cognitives…). L'exposition est évaluée à partir de deux paramètres : l'exposition moyenne quotidienne sur 8 heures et l'exposition instantanée aux bruits très courts (niveau crête).
- Le risque **thermique** : il engendre essentiellement un risque de brûlure pour les opérateurs. Il est présent à plusieurs niveaux du procédé, notamment au niveau des équipements, par contact avec des pièces chaudes. Il est mentionné également dans les installations possédant une partie hygiénisation (en fonction des intrants et des agents pathogènes à éliminer) et dans les unités de méthanisation au niveau post-digestion (post-tri, post-digesteur, sécheurs à bande…) où le digestat est généralement à 55 °C. À noter que le risque thermique implique également le travail lors d'épisodes de fortes chaleurs, notamment pour le compostage en extérieur.
- Les risques **chimique et biologique** [6, 7] : Ils sont omniprésents dans les unités de méthanisation ou de compostage. Ils seront détaillés dans les paragraphes suivants.
- Les risques inhérents aux **espaces confinés** : les travailleurs peuvent être amenés à intervenir régulièrement dans des espaces confinés (tubes, cuves/fosses, tours de lavage). Ces interventions peuvent être à l'origine d'accidents qui surviennent dans une atmosphère déficiente en oxygène (risque d'anoxie) ou en présence de gaz/vapeurs toxiques (risque d'intoxication). Cette situation de travail cumule plusieurs risques (chimique, biologique, chute…) avec des difficultés potentielles de sauvetage [8].
- Les risques **psychosociaux** : ils sont présents dans tous les secteurs d'activité, ils concernent la santé mentale, physique et sociale des individus, affectée par les conditions d'emploi ainsi que par des facteurs organisationnels et relationnels susceptibles d'interagir avec le fonctionnement psychique et de générer divers troubles.

2.2. Risques chimique et biologique

L'activité liée aux installations de méthanisation et/ou de compostage est susceptible d'exposer les salariés à des agents chimiques et biologiques.

Les voies d'exposition sont multiples :

- voie respiratoire : le passage dans les voies respiratoires se produit en inhalant des aérosols solides ou liquides, contenant des agents chimiques ou biologiques, ou en inhalant des gaz ;
- contact cutané : certaines substances chimiques déposées sur la peau peuvent traverser la barrière dermique, même si la peau n'est pas lésée. Cette exposition peut se produire par contact direct avec des agents chimiques, mais également de façon indirecte en touchant une surface contaminée. La peau est une barrière naturelle contre la majorité des agents biologiques mais des lésions même minimes peuvent être à l'origine d'une contamination par certains d'entre eux. Par ailleurs, certains agents biologiques peuvent se transmettre par inoculation (par exemple en cas de coupure, piqûre…) ;
- contact avec les muqueuses : les agents chimiques ou biologiques peuvent entrer en contact avec les muqueuses (yeux, nez, bouche), par exemple à l'occasion de projection au niveau du visage, ou en portant à la bouche des objets ou mains contaminés ;
- ingestion : les agents biologiques et les substances chimiques déposés au niveau de la bouche peuvent être ingérés.

Évaluation des risques chimique et biologique sur le lieu de travail

Dans le cadre de son évaluation des risques professionnels, transcrits dans le DUERP, l'employeur doit respecter les dispositions particulières relatives à la prévention du risque chimique et biologique, notamment celles concernant :

- les agents chimiques dangereux – ACD (art. R. 4412-1 à R. 4412-57 du Code du travail) ;
- les agents chimiques dangereux cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction – CMR (art. R. 4412-59 à R. 4412-93 du Code du travail) ;
- les agents biologiques (art. R. 4421-1 à R. 4427-5 du Code du travail).

Pour les agents chimiques, la réglementation française distingue à cet égard les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) réglementaires contraignantes définies par décrets des VLEP réglementaires indicatives dont la liste est fixée par arrêtés[1]. Ces VLEP sont regroupées dans l'outil INRS 65[2] qu'elles soient réglementaires (contraignantes ou indicatives) ou non réglementaires établies pour des agents chimiques (gaz, poussières, aérosols…).

Il n'existe pas à ce jour de VLEP en France pour les agents biologiques. Cependant, l'INRS propose des valeurs guides d'exposition aux endotoxines[3] et pour les bactéries et moisissures[4], à partir de l'interprétation des résultats de campagnes de mesures dans divers milieux de travail.

Les entreprises peuvent notamment s'appuyer sur les services de prévention et de santé au travail pour réaliser cette évaluation des risques chimique et biologique, pouvant donner lieu à la mise en place d'un suivi individuel renforcé pour les salariés concernés.

Voir documents INRS :
(1) Les valeurs limites d'exposition professionnelle. ED 6443.
(2) Liste des VLEP françaises. Valeurs limites d'exposition professionnelle établies pour les substances chimiques. Outil 65.
(3) Valeurs guides endotoxines. Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. NT 25.
(4) Valeurs guides bactéries et moisissures cultivables. Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. NT 109.

2.2.1. Risque chimique

Les principaux polluants chimiques auxquels les salariés sont susceptibles d'être exposés sur les sites sont : l'ammoniac (NH_3), l'hydrogène sulfuré ou sulfure d'hydrogène (H_2S), le méthane (CH_4), les oxydes de carbone (CO et CO_2), les composés organiques volatils (COV), le protoxyde d'azote (N_2O) et les poussières ou matières particulaires totales (MPT).

La nature des effets sur la santé de ces composés est dépendante de plusieurs paramètres : caractéristiques du produit chimique concerné (danger, nature physique…), voies de pénétration dans l'organisme (respiratoire, cutanée ou digestive), caractéristiques de l'exposition (niveaux de concentration, fréquence, durée…), état de santé et autres facteurs de la personne concernée (pathologies existantes, prise de médicaments, consommation d'alcool ou de tabac, expositions environnementales…). Ces effets peuvent apparaître en cas d'exposition à un produit chimique sur une brève durée (intoxication aiguë : brûlure, irritation de la peau, démangeaison, ébriété, perte de connaissance, coma, convulsions, arrêt respiratoire…) ou après des expositions répétées avec des produits chimiques, même à faibles doses (intoxication chronique : eczéma ou asthme, silicose, cancer, insuffisance rénale, troubles de la fertilité…).

L'ammoniac (NH_3)

Dans les procédés de traitement des déchets et effluents organiques (méthanisation ou compostage), la biodégradation de la matière organique conduit à la production d'ions ammonium sous la forme NH_4^+. C'est l'étape d'ammonification, aussi appelée minéralisation. Ensuite, selon la présence ou non d'oxygène dans le milieu, les ions ammonium peuvent suivre des voies métaboliques différentes :

- en l'absence d'oxygène (cas de la méthanisation), les élévations de température ou de pH pendant le stockage des digestats peuvent provoquer des émissions d'ammoniac ;
- en présence d'oxygène (cas du compostage), la production de NH_4^+ dans le compost sous l'effet de la montée en température et du renouvellement d'air peut conduire à des émissions d'ammoniac.

Les vapeurs d'ammoniac sont très irritantes pour la peau ainsi que pour les muqueuses oculaires, digestives et respiratoires. En cas d'exposition aiguë à des concentrations faibles à modérées, les effets classiquement observés sont des picotements des yeux, du nez et de la gorge, une gêne respiratoire, de la toux, ainsi qu'une sensation d'oppression thoracique (pouvant être le témoin d'un bronchospasme, assimilable à une crise d'asthme). Les intoxications massives se caractérisent par des brûlures cutanées et oculaires sévères, associées à des lésions caustiques des muqueuses respiratoires (conduisant à un tableau de détresse respiratoire aiguë). Dans ces formes graves, la constitution plus ou moins rapide d'un oedème pulmonaire lésionnel peut entraîner le décès. En cas de survie, des séquelles pulmonaires sont possibles (altération de la fonction respiratoire, dilatation des bronches…). L'inhalation répétée de faibles concentrations d'ammoniac occasionne des signes d'irritation des muqueuses oculaires, digestives et respiratoires, et à terme, peut favoriser le développement d'un asthme aux irritants (en rapport avec l'installation d'une hyperréactivité bronchique non spécifique), ou d'une bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO).

L'hydrogène sulfuré ou sulfure d'hydrogène (H_2S)

Le sulfure d'hydrogène est émis lors de la fermentation en conditions anaérobies de matière organique particulièrement riche en composés soufrés, comme cela est le cas dans les unités de méthanisation ou de compostage. Dans ce contexte, les risques d'émission se situent au niveau du stockage des substrats et des canalisations, mais aussi au niveau des tas de compost si leur aération est insuffisante. C'est pour cette raison que le stockage des matières premières (déchets entrants, digestats en sortie de méthaniseur) doit être limité ou se faire dans des conditions favorisant l'aération, notamment dans le cas des andains de compost qui doivent être régulièrement aérés et retournés.

Le sulfure d'hydrogène cause la formation d'acides corrosifs pour les métaux composant les équipements (moteurs, canalisations, écrous, vis…). Il est également en grande partie responsable

des odeurs nauséabondes générées par la dégradation des déchets organiques. Enfin, c'est un gaz extrêmement inflammable pouvant former des mélanges explosifs avec l'air. D'autre part, le contact avec les produits oxydants peut être une source d'incendie et d'explosion.

Le sulfure d'hydrogène est un gaz très toxique. L'intoxication par inhalation se traduit par une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires, et, dans les formes graves, par des effets sur le système nerveux central (coma, convulsions), ainsi que des troubles respiratoires (gêne respiratoire, cyanose, oedème pulmonaire retardé) et cardiovasculaires (troubles du rythme cardiaque, baisse de la pression artérielle), qui peuvent dans certains cas conduire au décès des personnes exposées.

Autres composés soufrés

D'autres composés soufrés, tels que les thiols (appelés aussi mercaptans), peuvent également être retrouvés sur les sites de méthanisation-compostage, que ce soit au niveau du biogaz ou du compost.

L'intoxication aiguë par inhalation à ces composés se traduit par des signes d'irritation de la peau et des muqueuses oculaires, digestives et respiratoires, ainsi que par une dépression du système nerveux central et respiratoire. Un oedème pulmonaire lésionnel peut survenir en cas d'exposition massive. Les symptômes observés en cas d'expositions répétées à de faibles concentrations se limitent généralement à des signes d'irritation de la peau et des muqueuses oculaires et respiratoires.

Le méthane (CH_4)

Le méthane est un gaz à effet de serre. Les sources d'origine anthropique sont les décharges, l'élevage, la production, le transport et l'utilisation des énergies fossiles. La méthanisation vise à produire du méthane pour une valorisation énergétique, les salariés peuvent donc y être exposés.

Le méthane est extrêmement inflammable. Même s'il est très faiblement toxique, celui-ci peut être à l'origine d'accidents graves et parfois mortels, en raison de ses propriétés asphyxiantes, notamment en cas d'exposition à de fortes concentrations en milieu confiné (manque d'oxygène). La gravité des effets observés, respiratoires (augmentation de la fréquence respiratoire, respiration haletante), digestifs (nausées, vomissements), cardiaques (palpitations, arrêt cardio-respiratoire) et neurologiques (maux de tête, euphorie, incoordination, coma, convulsions), est inversement corrélée à la concentration en oxygène dans l'air.

Le monoxyde de carbone (CO)

Sur les sites de méthanisation ou de compostage, la présence de monoxyde de carbone est essentiellement liée aux moteurs thermiques des engins, notamment s'ils sont utilisés dans un hall fermé. Les déchets, de par leur fermentation, contribuent également aux émanations de CO (oxydation partielle dans les tubes de préfermentation par exemple).

Le monoxyde de carbone est un gaz extrêmement inflammable qui peut former des mélanges explosifs avec l'air. Le monoxyde de carbone se fixe essentiellement à l'hémoglobine pour former de la carboxyhémoglobine qui se distribue dans l'organisme et perturbe l'apport en oxygène des organes. L'exposition aiguë à de fortes concentrations entraîne des effets neurologiques (coma, convulsions) et cardiovasculaires (infarctus) graves, pouvant conduire au décès. Dans les intoxications massives, des séquelles cardiaques et neurosensorielles sont possibles. À de plus faibles concentrations, des symptômes peu spécifiques sont généralement présents, tels que des maux de tête, des nausées, des vomissements ou des sensations vertigineuses.

Le dioxyde de carbone (CO_2)

La fermentation des déchets conduit à l'émission de dioxyde de carbone en grande quantité, une grande partie du carbone organique des déchets étant transformé en CO_2 lors du processus. Sa présence peut également être due aux moteurs thermiques des engins utilisés dans les locaux.

En plus des potentiels effets asphyxiants liés à une éventuelle accumulation dans l'air en milieu confiné (du fait de la baisse du taux d'oxygène dans l'air), le dioxyde de carbone possède une

toxicité propre. En cas d'intoxication aiguë à des concentrations faibles à modérées, divers symptômes peuvent apparaître tels qu'une hyperventilation, des maux de tête, des sensations vertigineuses, des tremblements, une hypersudation ou des troubles visuels. Les intoxications massives se traduisent par des effets neurologiques (perte de connaissance, coma, convulsions), cardiovasculaires (hypertension artérielle) et respiratoires (dépression respiratoire) graves pouvant conduire au décès par arrêt cardiorespiratoire.

Les composés organiques volatils (COV)

Des composés organiques se trouvent sous forme gazeuse dans l'atmosphère, d'où la désignation de COV. Ils constituent une famille de produits très large (comme le benzène, l'acétone, le perchloroéthylène…) dont plusieurs sont reconnus pour leur caractère très toxique, voire cancérogène, mutagène ou reprotoxique. Ils peuvent être d'origine anthropique, mais aussi naturelle : émission par les plantes ou lors de certaines fermentations (cas du compostage). Dans les unités de méthanisation ou de compostage, les principaux COV retrouvés sont des terpènes (issus des déchets verts, comme le limonène par exemple), des cétones (MEK[4] principalement) et des alcools.

En fonction de la substance considérée, les COV sont susceptibles d'affecter toutes les fonctions de l'organisme et d'avoir des effets divers sur la santé humaine.

Le protoxyde d'azote (N_2O)

Dans les procédés de compostage, le protoxyde d'azote peut être produit lors des processus de nitrification/dénitrification, lorsque les bactéries nitrifiantes manquent d'oxygène ou de matière biodégradable.

L'exposition aiguë par inhalation à des concentrations faibles à modérées entraîne des signes d'irritation des muqueuses oculaires et respiratoires, des signes digestifs (nausées, vomissements, douleurs abdominales) et une diminution de la dextérité et des performances mentales. L'exposition massive conduit, en plus des effets asphyxiants, à des effets dépresseurs sur le système nerveux central et le coeur. L'exposition chronique peut être à l'origine d'atteintes neurologiques (troubles de la sensibilité, faiblesse musculaire), hématologiques (notamment des anémies) et de troubles de la reproduction (suspicion d'atteintes à la fertilité et au développement).

Les poussières (MPT)*

Sur les sites de méthanisation ou de compostage, les poussières sont principalement produites par des actions physiques ou mécaniques sur les déchets. Les principales sources d'émission de poussières sont donc généralement les zones de réception et de tri des déchets, mais aussi au niveau de la partie compostage avec notamment le retournement des andains, le broyage et le criblage/affinage, soit de manière générale tout déplacement de matière solide. Les activités de nettoyage peuvent être associées à des expositions importantes des travailleurs en l'absence de moyens de protection.

Plusieurs types de poussières peuvent être différenciés en matière d'effets sur la santé :

- les poussières définies en fractions conventionnelles inhalable et alvéolaire. Lorsqu'elles se déposent dans les voies respiratoires, elles peuvent dépasser les capacités d'épuration du poumon lors d'expositions à des concentrations élevées de poussières pendant de longues durées. On parle alors de surcharge pulmonaire. À long terme, cette rétention de particules entraîne une inflammation chronique qui peut conduire au développement de pathologies respiratoires, comme par exemple des BPCO ou des fibroses pulmonaires ;
- les poussières qui contiennent des agents chimiques dangereux (poussières de bois, métaux, amiante, silice…) et/ou des agents biologiques (micro-organismes, fragments de micro-organismes ou composés microbiens). La présence de ces substances leur confère des effets reconnus sur la santé des travailleurs et qui leur sont propres. Parmi ces effets, des pneumoconioses, de l'asthme, ou des cancers peuvent être cités.

4. Aussi appelée butanone, éthylméthylcétone, 2-butanone, MEC, méthyléthylcétone.
(*) MPT = Matières Particulaires Totales.

Par exemple, les poussières émises peuvent contenir des poussières de bois (classées CMR), notamment dans les zones abritant des déchets verts très secs, comme les zones de structuration du digestat ou de la matière organique triée, ou encore de compostage.

Dans les domaines du compostage et de la méthanisation, les poussières retrouvées appartiennent généralement à la seconde catégorie.

2.2.2. Risque biologique

Agents biologiques, leurs constituants et métabolites présents dans les usines

Dans les unités de méthanisation et de compostage, les opérateurs peuvent être exposés à des agents biologiques associés aux déchets entrants et aux procédés mis en œuvre (passage en digesteur notamment avec une élévation de la température favorisant la croissance des micro-organismes thermophiles et thermotolérants), ainsi qu'à l'environnement ambiant.

La flore microbienne dépend de l'origine des déchets (biodéchets, déchets agricoles, boues de STEU…). L'évolution dans le temps de cette flore dépend des conditions environnementales (humidité, température…) et des étapes des procédés mis en œuvre (par exemple, certains peuvent être détruits lors des processus d'élévation de température). Il convient de souligner que la grande majorité des micro-organismes dans les déchets domestiques et les boues de STEU ne sont pas pathogènes et n'entraînent pas d'infection. Cependant, certains peuvent entraîner des effets sur la santé.

Dans l'air des unités de méthanisation et des plateformes de compostage, les agents biologiques majoritairement rencontrés sont des moisissures et des bactéries, surtout des actinomycètes.

Les moisissures les plus fréquemment rencontrées dans ces bioaérosols appartiennent aux genres *Aspergillus*, *Thermomyces* et *Penicillium* mais les genres *Cladosporium*, *Rhizopus* et *Mucor* sont également présents. Les bactéries généralement rencontrées sont des bactéries Firmicutes (*Bacillus* sp., *Geobacillus* sp., *Thermoactinomyces* sp., etc.), des Actinobactéries (*Saccharopolyspora* sp., *Thermobifida* sp., *Streptomyces* sp., etc.) et des Protéobactéries. Les températures élevées des matières traitées favorisent l'augmentation potentielle des concentrations en micro-organismes thermophiles, notamment le genre *Aspergillus*.

D'autre part, des composés sont issus de ces micro-organismes. Ces molécules comprennent notamment des COV microbiens et des composants des parois des bactéries ou des champignons (endotoxines et (1,3)-ß-D-glucanes, par exemple). Les endotoxines sont des molécules présentes dans la paroi externe des bactéries à Gram négatif et des cyanobactéries. Les (1,3)-ß-D-glucanes sont des composants des membranes des moisissures. L'exposition des salariés aux endotoxines a été mise en évidence dans de nombreux secteurs professionnels et a été associée à des effets sur la santé [9].

Effets sur la santé

En fonction de leur nature, les agents biologiques pathogènes peuvent entraîner différents types d'effets sur la santé : des infections, des allergies, des effets toxiniques dont le mécanisme est le plus souvent inflammatoire. Les manifestations le plus fréquemment rapportées chez des employés du compostage sont des maladies ou troubles respiratoires, de nature infectieuse, allergique ou inflammatoire et ces cas suggèrent une possible relation avec l'exposition aux bioaérosols sur le lieu de travail. Cette exposition peut également être à l'origine de manifestations cutanées, de symptômes gastro-intestinaux (vomissements et diarrhée) et de symptômes d'irritation des muqueuses (yeux, nez, gorge).

Les manifestations allergiques potentielles sont avant tout respiratoires ou ORL (rhinite, asthme, pneumopathie d'hypersensibilité…), et liées à l'inhalation de certaines espèces de bactéries et moisissures. La pneumopathie d'hypersensibilité notamment peut être reconnue comme maladie professionnelle chez les employés du compostage (tableau 66 bis du régime général (RG)).

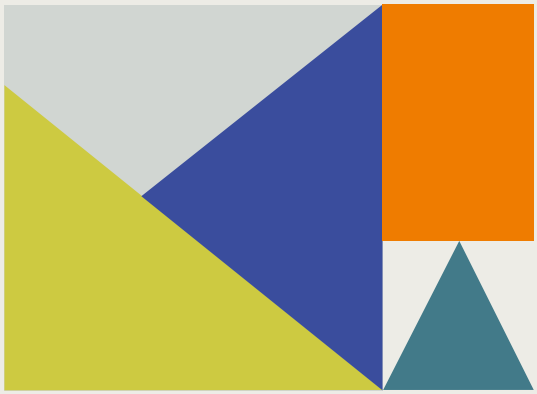
Les composants des micro-organismes (par exemple les endotoxines ou les (1,3)-ß-D-glucanes) peuvent contribuer à des **réactions inflammatoires pulmonaire et systémique.** Une exposition massive par inhalation peut

entraîner notamment un syndrome toxique des poussières organiques (ODTS). Ces manifestations inflammatoires peuvent également conduire à des malades respiratoires chroniques en cas d'expositions répétées ou prolongées.

Certains micro-organismes inhalés peuvent entraîner des infections respiratoires, plus spécifiquement chez les personnes ayant un terrain particulier (immunodépression, maladies bronchopulmonaires chroniques…) ; c'est en particulier le cas pour certaines moisissures comme *Aspergillus fumigatus*. Par ailleurs, une ingestion involontaire de matières organiques, notamment en portant des mains ou des objets contaminés à la bouche, pourrait entraîner des manifestations digestives, causées par des virus responsables de gastro-entérite, des bactéries (telles que *Bacillus* ou *Salmonella*…) ou des parasites à tropisme digestif. Enfin, certaines bactéries présentes dans les déchets contaminés peuvent également entraîner une infection cutanée en cas de blessure (*Staphylococcus aureus* par exemple).

En outre, les déchets peuvent attirer certains animaux (rongeurs, oiseaux…) et être à l'origine de zoonoses, comme dans tout secteur traitant les déchets (contacts avec l'urine de rongeurs, avec des fientes d'oiseaux, ou des déjections d'animaux d'élevage).

La zoonose la plus souvent évoquée dans le secteur de la gestion des déchets organiques et de l'assainissement est la leptospirose, transmise par contact d'une peau lésée ou des muqueuses avec des surfaces ou liquides souillés par l'urine de rongeurs contaminés. D'autre part, de nouveaux agents biologiques zoonotiques peuvent apparaître, notamment du fait des effluents d'élevage traités sur ces sites.



3. Prévention des risques généraux

La réduction des risques professionnels doit être prise en considération dès la conception des installations. Elle est complétée par la mise en place de bonnes pratiques de prévention une fois que le site est en production. La mise en place de ces pratiques nécessite la formation, l'information et la mise à disposition des instructions nécessaires au poste de travail, qui figurent parmi les 9 principes généraux de prévention.

3.1. Avoir un bâti adapté à l'activité

La structure des bâtiments doit tenir compte de la nature des émissions chimiques qui engendrent une corrosion prématurée des structures et être conçue de manière à faciliter leur maintenance ultérieure. Certains matériaux comme des matériaux plastiques résistants à la corrosion [polyéthylène haute densité (PEHD)] peuvent également être utilisés.

3.2. Prendre en compte l'accessibilité aux zones et aux installations

Les locaux doivent être conçus pour éviter une accumulation des déchets. Pour cela, les différentes zones et équipements doivent être facilement accessibles pour rendre possibles et sécurisées les interventions de nettoyage et de maintenance. Les locaux de plain-pied facilitent le nettoyage par autolaveuse. Tout décaissement ou changement de niveau imposé par le procédé (zone de rétention par exemple), doit être rendu accessible via des rampes inclinées par exemple. L'implantation des équipements (en particulier des structures métalliques) doit laisser libre des espaces de circulation suffisants, tant pour les chariots automoteurs que pour les éléments de levage utilisés en maintenance, comme notamment les PEMP (plateformes élévatrices mobiles de personnel). Les hauteurs et largeurs de passage doivent être suffisantes pour accéder aux machines, aux installations industrielles et aux zones de travail. Dès la conception, il est important de détailler les interventions de maintenance et de prévoir les situations anormales pour chaque équipement de manière à définir les moyens d'accès et de levage des pièces, ainsi que tous les équipements nécessaires aux interventions (revues d'accessibilité).

3.3. Prévenir le risque entraînement/ écrasement

Les mesures de prévention consistent à supprimer les phénomènes dangereux, à mettre en place des dispositifs de protection, dans des conditions normales d'utilisation – installation, production, maintenance, réglage… – mais également dans des situations anormales prévisibles. Afin d'intervenir en sécurité, les équipements de travail, doivent être conçus pour faciliter les interventions, notamment lors de leur mise à l'arrêt et leur redémarrage, et vérifiés périodiquement.

3.4. Prévenir le risque TMS

Dans la mesure du possible, les parties des équipements doivent être démontables, légères (pas plus de 15 kg selon la norme Afnor NF X35-109), faciles à manipuler et munies de poignées de préhension, de façon à pouvoir transporter facilement la pièce démontée à l'atelier, ou la pièce de rechange dans la zone concernée. Il convient de prévoir des moyens de levage mécanique (exemple : palan sur monorail ou sur potence). Le but est d'éviter au maximum les risques liés à l'activité physique et les TMS associés.

De manière générale, il est nécessaire d'adopter une méthodologie d'analyse du travail afin de prévenir les TMS : organisation, choix des équipements, conception des postes de travail, information/sensibilisation des salariés…

3.5. Prévenir le risque électrique

Il s'agit de respecter les règles de conception et d'installation et de vérifier périodiquement les installations. Lorsque des interventions sont nécessaires, elles doivent être préparées en amont et réalisées hors tension si possible. Le personnel doit être formé et avoir les habilitations nécessaires.

3.6. Prendre en compte le risque incendie

Dans le cas du risque incendie, il s'agit de :

- supprimer le risque de départ de feu. Pour cela, des actions peuvent être mises en place comme la limitation des combustibles, l'utilisation du permis de feu donnant une liste de points à vérifier lors de travaux par point chaud, le dimensionnement et l'entretien des installations électriques, ou encore le nettoyage des équipements afin d'éviter l'auto-inflammation de couches de poussière ;
- mettre en place des dispositions constructives afin d'assurer l'évacuation des personnes en toute sécurité. Des dégagements, dont le nombre et la largeur sont fonction du nombre de personnes amenées à les emprunter, doivent être prévus. Ces dégagements doivent être en permanence praticables, libres de toute matière, balisés et disposer d'un éclairage de sécurité ;
- mettre en place des moyens de protection et d'extinction. À la conception, des cloisonnements (parois, mur, porte, coupe-feu) doivent être mis en place afin de limiter la propagation d'un éventuel incendie. Pour compléter cette protection passive, un système de détection, afin de repérer les départs de feu sur les équipements [type système de détection incendie (SDI) ou système de mise en sécurité incendie (SMSI)], associé le cas échéant à de l'extinction automatique (type sprinklers), peut être mis en place.

Des équipements de première intervention (extincteurs et robinets d'incendie armés) doivent être disposés en privilégiant les zones dans lesquelles sont présents de grandes quantités de combustibles ou des équipements propices à des départs de feu (broyeur, bande transporteuse, chargeuse…).

Les salariés doivent être formés à la mise en œuvre des moyens de première intervention et disposer des consignes de sécurité propres à leur site.

3.7. Prendre en compte le risque explosion (Atex)

Dans le cas du risque d'explosion (détaillé dans le document relatif aux installations de méthanisation centralisées hors ordures ménagères, voir ED 6153), il s'agit :

- D'identifier les emplacements où des atmosphères explosibles (Atex) peuvent se présenter : ce zonage Atex doit être effectué tant en fonctionnement normal des installations que lors d'un dysfonctionnement. Par ailleurs, ces zones doivent faire l'objet de dispositions organisationnelles (permis de travail notamment) et d'une formation spécifique des salariés.

La méthanisation engendre un risque supplémentaire lié au biogaz. Les zones concernées par ce risque doivent être clairement identifiées et affichées, et des contrôles réguliers doivent être réalisés après la phase d'installation.

- De supprimer toutes les sources d'inflammation d'origine électrique ou non électrique à l'intérieur de ces zones. Cette étape contribue aussi à diminuer le risque d'incendie. Les appareils destinés à être utilisés en atmosphères explosibles et les systèmes de protection contre les explosions doivent être certifiés Atex.

3.8. Prévenir le risque de collision

La mise en place d'un cheminement piéton et du sens de circulation des véhicules doivent être intégrés dès la conception. Les bandes au sol et feux indicateurs sont à entretenir régulièrement, selon nécessité, de sorte qu'ils restent en bon état et visibles.

Les zones où des engins évoluent doivent être interdites aux piétons dont la présence n'est pas essentielle à l'activité. Lorsque des piétons sont amenés à intervenir dans une zone à risque, il est important d'avoir une bonne visibilité et une bonne organisation du personnel pour limiter le risque de collision (gilets de sécurité haute visibilité, moyens de communication entre salariés).

De manière générale, l'ensemble des locaux doit afficher une signalétique informant des risques à l'entrée de chaque zone ou local.

3.9. Prévenir le risque de chute

Réduire la glissance des sols et le risque de chute de plain-pied

- Choisir des sols offrant des qualités antidérapantes et adaptés en fonction de la nature des polluants sur les sols :
  – pour les surfaces recevant des déchets ou produits gras, il est recommandé de choisir des sols présentant un coefficient de frottement dynamique µd ≥ 0,3 (en présence d'huile, mesure suivant la méthode NF EN 05-012). Pour les locaux contigus avec risque de transfert de pollution, choisir des sols PC 27 ou PC 20 (PC = pieds chaussés),
  – pour les surfaces régulièrement trempées par l'eau (pluie, nettoyage, sanitaire, entrée, hall, douche), opter pour un sol présentant un PC 20. Pour les locaux contigus, avec risque de transfert de l'eau sans autre source de souillure, il est recommandé de choisir des sols PC 10.

Ces dispositions concernent autant les locaux intérieurs que les espaces de circulation et zones de travail extérieurs.

- Prendre des dispositions pour entretenir les sols, que ce soit en conception ou pour l'entretien, afin de limiter le risque de chute de plain-pied en :
  – limitant la pollution du sol (séparation zones de production/zones de circulation, dispositifs de rétention, caniveaux, pentes…),
  – établissant une procédure et des moyens de nettoyage adaptés afin d'éliminer les souillures au plus tôt,
  – contrôlant et vérifiant les moyens d'accès,
  – supprimant l'encombrement des sols (rangements, séparation stockage/circulation, emplacements réservés…),
  – maintenant les sols en bon état (suppression des aspérités, trous…),
  – anticipant, planifiant, organisant les déplacements, afin d'éviter les interventions dans

la précipitation et avec des moyens inadaptés (maintenance préventive, contrôle…),
– signalant visuellement les zones à risques (croisement de flux, dénivellation, zones polluées de manière permanente ou temporaire) à l'aide de barrières, plots, rubalise…

Choisir des chaussures de sécurité aux semelles antidérapantes. La résistance à la glissance sur un sol pollué à l'eau fait partie des exigences essentielles. Opter pour des chaussures présentant en plus une résistance à la glissance sur des polluants gras, signalé par le marquage additionné SRC ou SR. Des chaussures montantes, a minima jusque mi-mollet, seront également préférables dans un environnement salissant, boueux ou humide. Il est recommandé de mettre le pantalon par-dessus la chaussure pour éviter que les salissures rentrent en contact directement avec le pied, la salissure glissera ainsi sur le pantalon et tombera à terre ou sur la chaussure.

Prévenir le risque de chute de hauteur

- Mettre en place des garde-corps autour des endroits présentant un risque (fosse, cuve…).
- Réhausser les garde-corps pour les zones où les opérateurs utilisent un marchepied, mettre en place des barrières ou des rampes aux endroits nécessaires.
- Suivant le type d'intervention, utiliser des plates-formes individuelles roulantes légères (PIRL), des PEMP, des échafaudages, nacelles, filets de sécurité, ou dispositifs de prévention antichute.
- Utiliser un harnais, associé à un stop chute avec rappel automatique, lors d'interventions avec risque de chute de hauteur (en dernier recours, suite à une analyse des risques, et sécurisés par un point d'ancrage). Une formation du personnel est également nécessaire.

Adapter l'éclairage

L'éclairage est assuré de manière à éviter la fatigue visuelle et l'éblouissement, et permettre de déceler les risques perceptibles par la vue. Il doit être adapté à l'activité. Les niveaux d'éclairement spécifiés dans le Code du travail (article R. 4223-4) sont des valeurs minimales à maintenir dans la zone de travail. Ces valeurs sont généralement insuffisantes pour garantir un éclairage de qualité et sont à adapter aux exigences visuelles de la tâche à réaliser. Des préconisations ont été données dans le cas des centres de tri.

Afin que les valeurs d'éclairement à maintenir soient respectées, les luminaires doivent être choisis et implantés par un bureau d'études spécialisé (éclairage des lieux de travail intérieurs et extérieurs), entretenus et nettoyés pour éviter les pannes, dégradations ou empoussièrements excessifs limitant leur efficacité.

3.10. Prévenir le risque bruit

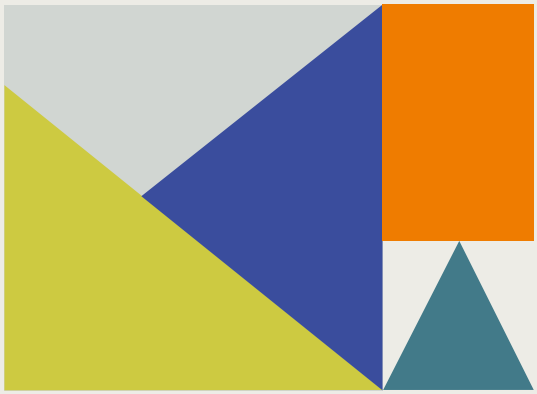
Certaines techniques permettent de réduire de manière générale le bruit en entreprise. Une signalétique doit être en place pour les zones où cela est nécessaire. Pour les équipements les plus bruyants, il sera nécessaire de mettre en place des dispositifs anti-bruit (enceinte sourde, traitement acoustique…).

Dans le cas spécifique des unités de méthanisation ou de compostage :

- séparer les activités ou sources bruyantes de celles qui le sont moins ;
- utiliser des amortis (trémies, glissière…) ;
- isoler les cabines des engins, encoffrer les sources bruyantes (broyeurs, compacteurs, presse…) ;
- utiliser des protections auditives adaptées à l'activité en cas de mesures de protection collective insuffisantes.

3.11. Assurer le confort thermique

Afin de maintenir une ambiance thermique confortable, quelles que soient les conditions climatiques, une isolation adaptée des bâtiments doit être prévue (bâtiment double peau).



4. Prévention des risques chimique et biologique

Deux objectifs principaux sont fixés par la réglementation à l'article R. 4222-1 du Code du travail, à savoir :

- maintenir un état de pureté de l'atmosphère propre à préserver la santé des travailleurs ;
- éviter les élévations exagérées de température, les odeurs et les condensations.

L'implantation d'une unité de valorisation des déchets à proximité des habitations oblige à cantonner au maximum les polluants dans les locaux industriels afin d'éviter l'incommodation des riverains, ce qui peut occasionner une exposition plus importante des salariés. Choisir une implantation à distance des habitations ou des zones industrielles autorise le déroulement de la maturation et du compostage à ciel ouvert (ou dans des bâtiments semi-ouverts) et évite d'incommoder les riverains avec les odeurs. La maturation peut également se faire sur des temps plus longs sans problématique d'accumulation de polluants chimiques et biologiques (ventilation naturelle permanente). L'implantation d'une unité à distance des zones habitées facilite la gestion des matières et des émissions pour limiter l'exposition des travailleurs, en dépit de potentielles difficultés logistiques.

Pour son évaluation des risques chimique et biologique, l'employeur peut compléter la surveillance réglementaire des expositions par des mesures régulières des concentrations en bioaérosols (bactéries, moisissures et endotoxines notamment) et par l'utilisation de détecteurs [voir encadré] mesurant les concentrations en NH_3, CO, O_2, H_2S… Ils peuvent être utilisés en ambiance ou en tant que détecteurs portatifs individuels.

Sur la base de cette évaluation des risques, l'employeur établit une stratégie de réduction des risques chimique et biologique basée sur l'adoption de mesures de prévention portant, par ordre de priorité, sur la conception des installations et des procédés, le captage à la source des émissions de polluants, la ventilation des locaux, et en dernier recours la protection individuelle (article R. 4222-12 du Code du travail).

L'employeur doit constituer et tenir à jour un dossier d'installation pour chaque installation de ventilation, qui doit faire l'objet d'une réception à sa mise en service. Les obligations de l'employeur sont fonction des caractéristiques des locaux et impliquent un entretien des installations avec des contrôles périodiques imposés par la réglementation « aération et assainissement » et une maintenance régulière indispensable pour assurer le bon fonctionnement de l'installation [10 à 12].

Des mesures organisationnelles propres à chaque activité ou tâche réalisée peuvent être mises en place. Ces mesures ont pour la plupart déjà été évoquées précédemment (gestion des effluents liquides, séparation des activités, aspects généraux de ventilation…).

Les mesures de prévention visent également à limiter la croissance des bactéries et moisissures dans les déchets entrants et stockés sur site et dans les dépôts persistants (en limitant l'humidité par exemple).

Les détecteurs de gaz (fixes et portables individuels)

Lorsque des détecteurs de gaz sont utilisés pour contrôler la sécurité d'opérateurs intervenant dans des espaces où des atmosphères dangereuses (risques pour la santé ou risques de formation d'atmosphères explosives), il est recommandé de vérifier leur bon fonctionnement très régulièrement et dans l'idéal tous les jours. Le retour d'expérience au sein de l'entreprise sur les contrôles des détecteurs peut être utilisé pour diminuer la fréquence des contrôles en cas d'absence de défauts constatés sur une période suffisamment longue. Le contrôle du fonctionnement d'un détecteur de gaz ne peut se faire qu'en l'exposant à un gaz étalon correspondant au gaz à détecter.
Lorsque le contrôle du détecteur de gaz n'est pas concluant, il est nécessaire de le recalibrer ou de l'envoyer en maintenance, si l'opération de calibrage ne permet pas de résoudre le problème.

4.1. Mettre en place des captages localisés

Les équipements (broyeurs, trémies…) utilisés dans les installations peuvent nécessiter la mise en place de captages localisés :

- mettre en place des captages enveloppants performants lorsque la fréquence d'intervention des opérateurs le permet. Ces dispositifs laissent des surfaces ouvertes de faibles dimensions (espaces nécessaires aux mouvements des pièces mobiles, fenêtre de contrôle visuel…). Pour des polluants émis à faible vitesse, le confinement est en général assuré par une vitesse entrante supérieure à 0,5 m/s ; en présence de matières ou d'effluents chauds induisant des effets convectifs, une vitesse d'au moins 1 m/s est requise ;
- éviter les captages d'air en cascade parfois mis en place dans le but de simplifier l'installation en chaînant les dispositifs à ventiler les uns aux autres. Ce type de conception est déconseillé, car un défaut d'étanchéité ou l'ouverture d'un capot en tête de chaîne peut annihiler l'aspiration sur le reste de l'installation ;
- opter pour un hublot d'observation plutôt qu'une trappe s'il n'est pas utile d'ouvrir un dispositif mais que seul un contrôle visuel est nécessaire.

S'il n'est pas possible de confiner ou de capter les poussières émises, un abattage humide peut être mis en place au-dessus de certaines installations. Il convient cependant de s'assurer de la désinfection du système utilisé et de la qualité de l'eau l'alimentant, afin de limiter la croissance microbienne favorisée par l'humidification des matières et l'encrassement des équipements.

4.2. Mettre en place une compensation d'air efficace et contrôlée

Afin de limiter les rejets dans l'environnement (problématique des odeurs en particulier), les installations de ventilation sont conçues de manière à mettre les bâtiments en dépression :

- la compensation de l'air extrait est de préférence organisée par une introduction d'air mécanique, ou à défaut si non maîtrisée, par les fuites *via* des ouvertures aménagées dans les façades. Pour les bâtiments dont l'enveloppe est relativement étanche, si les compensations d'air n'ont pas été prévues, non seulement l'installation peine à extraire le débit prévu, mais surtout, les compensations se font par toutes les fuites et ouvertures des bâtiments avec le risque de puiser de l'air dans un local adjacent pollué (notamment au travers d'ouvertures utilisées pour les convoyeurs) ;
- pour des locaux présentant des pollutions de même nature, une hiérarchie des pressions doit être créée de manière à induire un écoulement d'air des locaux les moins pollués vers les plus pollués ;
- l'air extrait d'un local pollué ne doit pas être réinjecté dans un local adjacent.

- l'air destiné à la compensation ne doit pas être prélevé à proximité de stockage susceptible d'émettre des polluants ; il en sera particulièrement tenu compte pour la réalisation des ouvertures en façades ;
- dans le cas des halls présentant des stockages ouverts de matières susceptibles d'émettre des polluants gazeux (digestats, matière en compostage ou compostée), la compensation d'air doit être conçue pour limiter la vitesse d'air à la surface des tas de manière à ne pas augmenter l'émission de polluants par les matières, notamment d'ammoniac. De même, il faut éviter l'emploi de ventilateurs de type « accélérateur » destinés à « pousser » l'air ou à le déstratifier dans la partie haute des locaux, ce qui peut contribuer à une augmentation des émissions ;
- les dispositifs de compensation/introduction d'air ne doivent pas créer de courants d'air susceptibles de perturber les dispositifs de captage localisé ou rompre le confinement dans l'interface des tunnels en dépression quand ils sont ouverts.

4.3. Utiliser la ventilation générale

La conception de l'installation de ventilation doit prendre en compte les spécificités de chaque unité de méthanisation ou compostage. En effet, il n'existe pas systématiquement un local par étape du procédé, mais plusieurs étapes peuvent être réalisées au sein d'un même local. *A contrario*, une étape peut être fractionnée sur plusieurs locaux distincts.

En raison des surfaces conséquentes de matières émissives et de leur transfert continuel par les chargeuses, la dispersion des polluants dans l'air des locaux est inévitable. Après avoir capté les émissions au plus près des sources fixes (presses, cuves, cribles…), la ventilation générale doit être conçue et dimensionnée pour ramener les concentrations en polluant à des niveaux acceptables, si possible à moins de 10 % des VLEP ou a minima inférieurs aux VLEP lorsqu'elles existent, ou, pour les polluants biologiques notamment, suivant les valeurs guides établies. De plus, elle permet de ralentir le vieillissement par corrosion des différents équipements présents dans les locaux.

- Positionner les bouches d'aspiration d'air en plafond en raison des effets convectifs, liés à la chaleur dégagée par la plupart des matières stockées, qui entraînent les polluants vers le haut.
- Dimensionner les débits d'air à mettre en œuvre. Cette opération complexe repose sur le principe d'une dilution du débit d'émission en polluant par un débit d'air afin d'atteindre une concentration cible. L'estimation préalable du débit de polluant nécessite des données issues d'expérimentations sur des sites industriels équivalents et à défaut des données tirées de la bibliographie [13, 14].

4.4. Utiliser des appareils de protection respiratoire (APR)

En fonction des zones ou des tâches réalisées, le port d'appareils de protection respiratoire (APR) peut être nécessaire, en dernier recours, pour limiter l'exposition aux polluants chimiques ou biologiques. Des demi-masques ou des masques ventilés à cartouche ABEKP3 peuvent être utilisés selon la nature et la concentration des polluants de l'atmosphère de travail. La gestion et la maintenance de ces équipements de protection individuelle (EPI) doivent être organisées ; en particulier, les cartouches des APR doivent être changées après chaque usage [15].

4.5. Limiter les contaminations

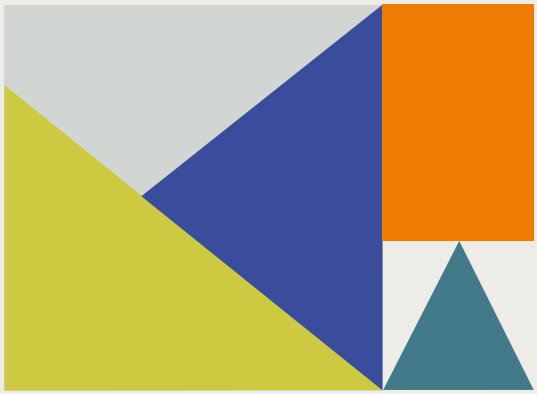
Une organisation est à mettre en place sur l'ensemble du site afin de permettre le déploiement et le maintien de règles d'hygiène élémentaires (notamment pour éviter au maximum l'exposition aux risques biologiques). Les zones propres doivent être séparées des zones sales. Des moyens sont à mettre en place pour permettre aux opérateurs de respecter les règles d'hygiène :

- des douches et des points d'eau (munis de savon liquide, d'essuie-mains jetables et de poubelles) nettoyés quotidiennement ;
- des vestiaires équipés d'armoires permettant de séparer les vêtements de ville et les vêtements de travail, de sèche-bottes, d'armoires chauffantes pour les vêtements humides.

Note

Lorsque la mise à disposition de douches est obligatoire, l'arrêté du 23 juillet 1947 modifié précise qu'elles doivent être installées à raison d'une douche pour 8 personnes avec 2 cellules d'habillage ou de déshabillage.

Les salariés sont régulièrement informés sur les risques et la nécessité de respecter les mesures d'hygiène. Notamment, les vêtements de travail et EPI potentiellement contaminés ne sont jamais ramenés au domicile pour être nettoyés ou entretenus, même en échange d'une « indemnité salissure ». Ces opérations sont assurées par l'employeur.



5. Prévention des risques inhérents au procédé

5.1. Prévenir les risques liés au stockage et au transfert des effluents liquides

La gestion des effluents liquides induit des risques, liés à leur température (risque thermique), aux gaz potentiellement émis (risque chimique et Atex) ou à des déversements (risque de chute par exemple).

Les stockages d'effluents et les réseaux de transfert associés, le plus souvent enterrés, doivent être ventilés pour prévenir l'accumulation de gaz. Ils sont généralement équipés d'une trappe d'accès pour les opérations d'entretien et de maintenance. Un hublot doit être présent pour le contrôle visuel afin d'éviter l'ouverture de la trappe pour ce seul contrôle. Un indicateur de niveau peut aussi être mis en place afin de limiter la nécessité d'accéder aux capacités. La mise en dépression du réseau pour assurer une vitesse d'air supérieure à 1 m/s dans l'ouverture est requise. Afin de faciliter les interventions, la présence de deux trappes d'accès pourrait permettre de mettre en place une ventilation mécanique plus simplement. Une des trappes devra être d'une dimension supérieure, afin de faire passer les équipements et le matériel nécessaire aux interventions. Il faudra proscrire l'utilisation de caniveaux à grilles pour assurer le transfert de ces effluents, car ce type de dispositif ne permet pas de mise en dépression par ventilation. L'usage de ce type de caniveaux est réservé à la collecte d'effluents non émissifs comme les eaux de lavage.

En cas d'intervention ou de contrôle, l'ouverture d'une capacité doit être traitée comme une intervention en espace confiné. Il est nécessaire d'utiliser toutes les protections adéquates : détecteur de gaz, lunettes et autres EPI en fonction des risques identifiés (masque à cartouches ou cagoule ventilée pour les émissions potentielles de gaz, équipements pour éviter les risques de chutes…).

5.2. Prévenir les risques liés aux déversements accidentels

Des déversements accidentels, notamment de digestat, peuvent se produire au niveau des équipements présents après méthanisation (presses, centrifugeuses…) du fait d'emballements ou de débordements. S'ils ne sont pas nettoyés immédiatement, ils occasionnent une exposition accrue des salariés affectés au nettoyage, ainsi qu'un risque potentiel de chute. Il est alors nécessaire :

- d'identifier l'origine du déversement et d'y remédier ;

- dans la mesure du possible, de nettoyer immédiatement ;
- de porter des détecteurs de gaz, des APR et autres équipements de protection adaptés pendant l'opération.

5.3. Prévenir les risques lors des interventions en espaces confinés

Les interventions en espaces confinés présentent notamment des risques d'asphyxie pour l'opérateur en charge de l'intervention. On peut lister les tubes de préfermentation précédemment évoqués (intervention annuelle sans vidage, avec ouverture d'un seul côté pour un redémarrage rapide), les cuves ou fosses présentes sous certaines trémies, ou les tours de lavage (nettoyage, remplacement garniture, nettoyage des dévésiculeurs et buses de pulvérisation).

Il est nécessaire :

- d'établir une procédure d'entrée dans l'espace via un permis de pénétrer ;
- de mettre en place une ventilation mécanique afin d'assainir le lieu et maintenue en permanence avant et durant l'intervention ;
- de porter un détecteur 4 gaz (NH_3, CO, O_2, H_2S), correctement entretenu et calibré ;
- d'être équipé d'un masque auto-sauveteur ou d'un autre APR adapté aux polluants susceptibles d'être présents et faisant l'objet de la détection ;
- de prévoir la présence d'un surveillant qui reste en sécurité à l'extérieur de l'espace confiné ;

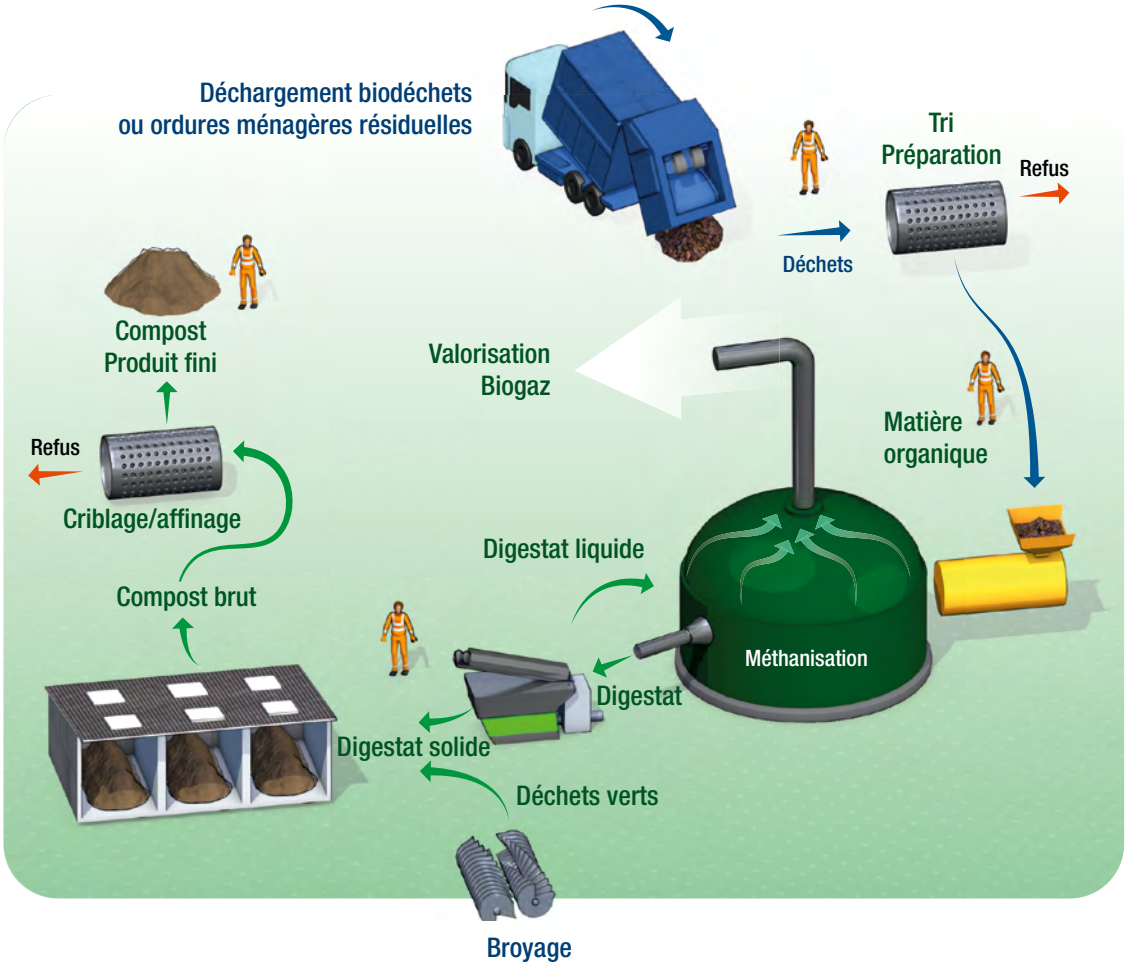


Figure 2 : Schéma simplifié des principales étapes du procédé de méthanisation-compostage

- en dernier recours, utiliser un APRI (appareil de protection respiratoire isolant) : dispositif lourd et contraignant, à utiliser 20-30 minutes maximum (intervention en cuves enterrées ou tubes) ;
- d'avoir suivi une formation sur les interventions en espace confiné [8].

5.4. Prévenir les risques liés aux équipements

Comme précédemment évoqué, les équipements de travail doivent être conçus pour faciliter les interventions, notamment lors de leur mise à l'arrêt et leur redémarrage, et vérifiés périodiquement. Il est donc nécessaire d'identifier les situations à risque pour chaque dispositif, avant toute intervention de maintenance ou de nettoyage. Ces précautions permettent de prévenir le risque d'entraînement ou d'écrasement, en lien avec le risque machine. Pour les différents équipements évoqués ensuite dans cette section, les moyens de prévention proposés sont en lien avec les risques chimique et biologique.

5.4.1. Convoyeurs à bande transporteuse

Les convoyeurs à bande transporteuse peuvent être retrouvés en zone de tri, au niveau des presses ou centrifugeuses, ou encore en zone de compostage. Ces équipements sont sujets au bourrage par les matières transportées, ce qui peut conduire le personnel à intervenir régulièrement pour débloquer le dispositif.

- Implanter le transporteur de façon à avoir un accès intégral, en pied et en tête du convoyeur mais aussi des 2 côtés sur la longueur du tapis (contrôle quotidien nécessaire). Pour cela, le dispositif doit être accessible depuis le sol ou à partir d'une passerelle.
- Installer des dispositifs de captage aux points de chute à chaque extrémité des bandes (la chute de matière est génératrice de poussières). Lors du transfert de matières issues du tri (peu émissives), le capotage complet de la ligne n'est pas toujours indispensable.
- Prévoir impérativement un capotage complété par une aspiration localisée quand les produits transportés sont émissifs en polluant. Quand la couverture du convoyeur est faite de capots mobiles, il est fréquent que quelques-uns ne soient pas remis en place, rendant le confinement inefficace. Il est impératif de sensibiliser les agents effectuant des contrôles/maintenances aux conséquences de ce geste ou mieux, de concevoir des systèmes incitant à leur fermeture (trappes de visite pivotantes ou coulissantes). La maintenance des bavettes et des rideaux de lamelles est indispensable. Pour les convoyeurs en pente, les capotages doivent être bloqués mécaniquement pour éviter leur glissement sous l'effet des vibrations. Les bâches fixées sur des câbles sont une alternative intéressante aux capotages en tôle, car moins sensibles à la corrosion et légères, facilitant ainsi la maintenance. Ces bâches peuvent aussi être utilisées pour couvrir la partie inférieure des convoyeurs.

5.4.2. Broyeurs

Les broyeurs sont en général utilisés pour le broyage des déchets verts et du bois. Ces dispositifs donnent souvent lieu à des émissions, même en extérieur. Un encoffrement ou un capotage du dispositif permet de limiter ces émissions, et peut être complété d'un dispositif de captage des polluants.

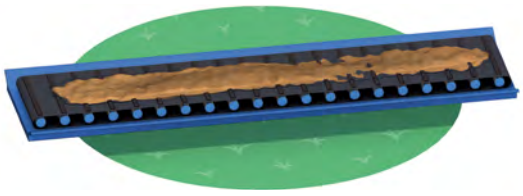


Schéma d'un convoyeur

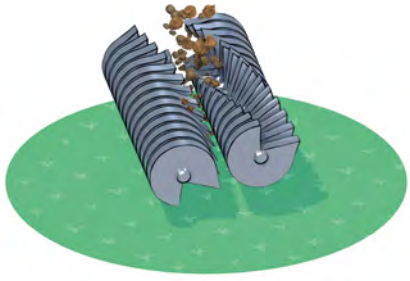


Schéma d'un broyeur

L'abattage humide est souvent utilisé pour éviter la diffusion de ces émissions (voir chapitre 3.11 « Assurer le confort thermique »). Sa mise en œuvre nécessite d'éviter la présence d'opérateurs en zone de broyage, voire d'arrêter le broyage. L'abattage humide peut favoriser la prolifération de moisissures et de bactéries inhalables par l'opérateur et nécessiter le port d'APR.

5.4.3. Cabines d'engins mobiles

Les engins mobiles sont équipés de cabines en surpression, bénéficiant d'un air épuré pour protéger le conducteur d'une exposition aux polluants présents dans l'atmosphère des halls où ils évoluent. L'équipement en systèmes d'épuration doit être couplé à la mise en place de détecteurs dédiés. Cet usage est préconisé pour identifier une pollution anormale de la cabine ou un claquage de la cartouche filtrante du caisson d'épuration. D'autre part, des bonnes pratiques dans l'utilisation et l'entretien des chargeuses doivent être adoptées afin d'éviter la contamination de la cabine et l'exposition du conducteur :

- cabines maintenues en état (étanches, et climatisées afin d'inciter à la fermeture des portes), nettoyées régulièrement, en surpression contrôlée, équipées de cartouches adaptées et changées régulièrement ;
- fermeture rapide et systématique de la porte à chaque entrée/sortie. Chaque fois que possible, ces mouvements doivent être faits en zone non polluée ;
- stationnement de la chargeuse en zone non polluée lors des pauses.

Le système de protection des cabines d'engin, lorsqu'il est efficace, permet de dispenser le conducteur du port d'un APR. Un guide INRS spécifique a été édité concernant l'assainissement des cabines d'engins mobiles[5].



Exemples d'engins mobiles

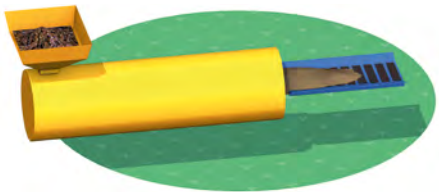


Schéma d'un tube

Note

Dans le cas des plateformes à l'air libre, l'utilisation de cabines filtrées reste nécessaire du fait de la quantité importante de matières manipulées pouvant générer localement des concentrations importantes de polluants biologiques et chimiques.

5.4.4. Tubes de préfermentation

Les tubes de préfermentation peuvent être présents avant la méthanisation ou le compostage, dans les halls de tri ou à l'extérieur des locaux. Ils sont utilisés pour démarrer la fermentation de la matière comme par exemple dans le cas des ordures ménagères avec un traitement mécano-biologique (TMB). Ils peuvent être retrouvés aussi bien dans les unités de méthanisation ou de compostage. Pour ces tubes, il n'y a en général pas de problèmes de corrosion mais plutôt d'usure.

- La potentielle production de monoxyde de carbone (CO) dans ces tubes implique de les ventiler. Le balayage par un flux d'air doit se faire en aspirant du côté de l'entrée des matières. De manière à conserver un balayage du tube quand son extrémité est fermée (quand il n'est pas alimenté, pendant la nuit par exemple), une ventilation associant un soufflage et une aspiration est conseillée. Les grilles d'aspiration ne doivent jamais être obstruées ; elles sont particulièrement sujettes à l'encrassement par les débris aéroportés (fragment de film plastique ou de carton), et doivent faire l'objet d'une surveillance et d'un entretien réguliers.

5. Voir ED 6228 – Assainissement de l'air des cabines d'engins mobiles.

Un contrôle quotidien est nécessaire, ainsi qu'une inspection annuelle pour l'usure de la structure.

- L'amorçage de la fermentation va produire du méthane, la ventilation doit permettre de ne pas dépasser les valeurs de 10 % de la LIE (limite inférieure d'explosivité) en présence de personnes et de 25 % de la LIE dans le cas contraire. Toute diminution du débit de la ventilation doit générer des actions correctrices immédiates afin de garantir l'absence de risque Atex. Une alarme asservie au bon fonctionnement de la ventilation est recommandée afin de pouvoir agir le plus rapidement possible.
- L'élimination des torons réduit les interventions sur le reste de l'installation (débourrage dans les convoyeurs ou les trommels). La mise en place d'une caméra est utile pour repérer leur apparition. Pour limiter les interventions humaines, une opération mécanisée est préférable. L'utilisation d'une poutre de maintenance pour bloquer le toron à un endroit où il est éliminable est conseillée. Dans tous les cas, les moyens d'accès sont à prévoir. Un pré-tri permet de limiter ou éliminer ces contraintes.

5.4.5. Chaîne de tri mécanisé pré-compostage/méthanisation

Cette chaîne de tri peut comprendre des cribles, séparateurs, trommels, compacteurs, convoyeurs… Chaque équipement de cette zone peut générer un risque biologique et/ou chimique (nécessité du port d'un détecteur), notamment par la mise en mouvement de la matière en vue de la trier/séparer. Ces équipements pouvant générer des poussières et des gaz, ils doivent être équipés de captages localisés dédiés.

5.4.6. Équipements de déshydratation

Des équipements de déshydratation sont souvent en place en sortie de méthaniseur afin de séparer le digestat dit « solide », généralement destiné au compostage, de celui dit « liquide », utilisé directement en épandage ou pour réensemencement du méthaniseur. Ces équipements peuvent être notamment des presses, centrifugeuses, ou de simples séparateurs.

Les risques liés à ce type d'équipement comprennent le risque de brûlure lié à la température de sortie du digestat (généralement autour de 55 °C), et l'émission de polluants chimiques et biologiques. Ces dispositifs doivent donc être entretenus et nettoyés régulièrement et des captages localisés peuvent être mis en place pour capter les émissions.

5.5. Prévenir les risques liés au compostage

Les déchets verts peuvent dégager d'importantes quantités de vapeur d'eau, diminuant la visibilité dans les bâtiments, notamment en hiver. L'entreposage extérieur ou sous hangar ouvert est à privilégier.

La durée de la phase active du compostage doit être suffisante pour permettre une stabilisation de la matière. La dernière étape du processus (criblage et stockage du produit fini) concerne alors un produit très peu émissif en ammoniac.

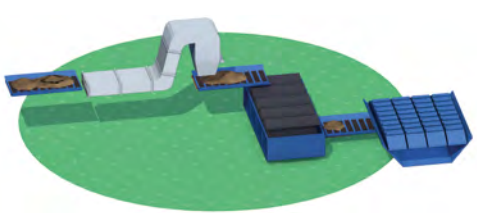


Schéma d'une chaîne de tri

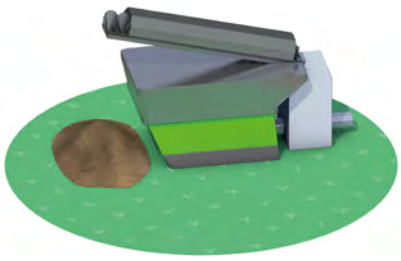


Schéma d'une presse/centrifugeuse

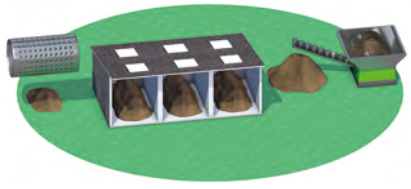


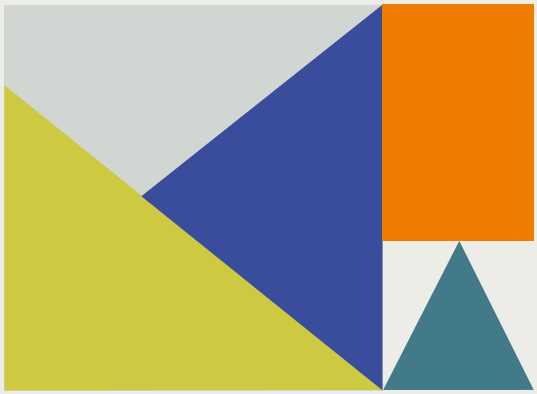
Schéma d'une « chaîne » de compostage

Si les temps de séjour dans les tunnels ou box sont insuffisants, la manutention ou le criblage de la matière peut alors entraîner une reprise du processus de compostage et donc un regain d'émission en ammoniac. Afin de faciliter la stabilisation de cette matière, il est nécessaire d'une part, de réaliser une partie de la maturation sur des plateformes à l'air libre, et d'autre part d'avoir l'espace suffisant pour que cette maturation puisse durer plusieurs mois. Cette considération est facilitée pour les sites moins sensibles (à la campagne), mais plus compliquée pour ceux situés en zone périurbaine, où la gêne pour le voisinage doit être limitée, ce qui peut amener à réaliser toutes les phases du procédé en intérieur, y compris le stockage des composts maturés. Dans tous les cas, il convient de dimensionner l'installation de façon à permettre des cycles de transformation d'une durée suffisante, y compris en intégrant les éventuels pics saisonniers.

5.6. Prévenir les risques liés à la co-activité

Des activités différentes peuvent avoir lieu dans un même local afin de faciliter l'organisation ou par manque de place. Ce type d'organisation en co-activité doit être évité ou limité, car les risques inhérents à chacune des activités s'additionnent pour les salariés réalisant l'une ou l'autre. Par exemple :

- les activités de broyage de déchets verts et de criblage de compost, souvent regroupées dans un même local afin de structurer le digestat ou la matière issue du tri, doivent être placées dans des locaux séparés lorsque cela est possible. A minima, le déchargement des déchets verts doit être réalisé dans une zone extérieure, afin d'éviter que les salariés en charge de cette fonction entrent dans la zone de structuration et de criblage potentiellement polluée ;
- les ateliers de maintenance doivent être implantés à distance des zones à risque ou polluées. Ceux-ci sont parfois placés à proximité ou au sein même des zones polluées par commodité pour faciliter certaines interventions, ce qui peut être à l'origine d'expositions évitables.



6. Mesures complémentaires

6.1. Vérifications

La réglementation impose que les équipements de travail et les moyens de protection utilisés en entreprise soient installés, utilisés, réglés et maintenus de manière à préserver la sécurité et la santé des travailleurs. Aussi, des contrôles périodiques sont à réaliser sur les équipements sous pression [12], les installations de ventilation, les installations électriques, les EPI et les matériels de levage par des organismes agréés. La sécurité liée au biogaz fait l'objet de vérifications spécifiques concernant l'étanchéité des digesteurs, des réseaux et le bon fonctionnement des dispositifs de sécurité. Les zones Atex doivent être correctement classées et contrôlées.

6.2. Protection individuelle

Lorsque les mesures de protection collective ne sont pas suffisantes, les travailleurs sont équipés de protection individuelle (EPI) adaptés à la tâche. Il est nécessaire de mettre à la disposition des travailleurs des EPI tels que :

- vêtements difficilement combustibles, tabliers, guêtres ;
- chaussures, bottes ;
- lunettes de protection ;
- APR ;
- protecteurs individuels contre le bruit ;
- gants de protection contre le risque chimique ;
- gants de protection contre le risque mécanique ;
- EPI contre le risque électrique : écran facial, gants isolants, chaussures isolantes, etc.

Sur l'EPI figure un marquage CE qui atteste de la conformité à la réglementation et un marquage normatif qui atteste de la conformité à la norme de référence et qui définit les limites d'utilisation. La notice d'instructions du fabricant donne des précisions sur ces limites, mais aussi sur les conditions de stockage, de vérification, d'entretien, etc.

6.3. Formation et information

Si les recommandations citées précédemment permettent d'obtenir un bon niveau de sécurité technique, elles ne sont pas suffisantes et doivent être complétées par la mise en place d'un plan de formation-information des travailleurs intégrant des volets sur les risques chimiques, biologiques et mécaniques. Selon les tâches, des formations spécifiques devront être dispensées sur les risques liés aux opérations de levage,

à la conduite des chariots automoteurs, aux interventions en espace confiné, aux interventions en zone à risques incendie ou explosion et aux interventions sur les équipements électriques.

Bibliographie

[1] Ademe. Le traitement des déchets ménagers et assimilés. ITOM 2020.

[2] Centres de tri de déchets recyclables secs ménagers et assimilés issus des collectes séparées. Guide de prévention pour la conception. INRS, ED 6098.

[3] Dirrenberger P. – Méthanisation (partie 2) : Technologies de digestion et procédés utilisés. État de l'art. *Techniques Sciences Méthodes*. 2020, 9, pp. 33-56.

[4] Conception des lieux et des situations de travail. Santé et sécurité : démarche, méthodes et connaissances techniques. INRS, ED 950.

[5] L'explosion d'Atex sur le lieu de travail. INRS, ED 6337.

[6] Dirrenberger P. – Méthanisation (partie 1) : Principe, paramètres et polluants émis. État de l'art. *Techniques Sciences Méthodes*. 2020, 9, pp.15-30.

[7] Poirot P., Duquenne P., Grosjean J., Monta N., Nicot T., Zimmermann F. et al. – Approche des risques chimiques et microbiologiques dans le secteur du compostage (http://hal.science).

[8] Les espaces confinés. Assurer la sécurité et la protection de la santé des personnels intervenants. INRS, ED 6184.

[9] Endotoxines en milieu de travail. INRS, ED 4412.

[10] Principes généraux de ventilation. INRS, ED 695.

[11] Le dossier d'installation de ventilation. INRS, coll. Guide pratique de ventilation, ED 6008.

[12] Principales vérifications périodiques. INRS, ED 828.

[13] Battais P., Bonthoux F., Lechene S., Klingler J., Grosjean J., Monta N. et al. Occupational Exposure to Ammonia during Industrial-Scale Anaerobic Digestion Composting of Household Waste. *Detritus*. 2024, 27, pp. 27-36.

[14] Battais P, Bonthoux F, Lechene S, Kunz-Iffli J, Monta N, Grosjean J, et al. A Comparative Study of Real-Time Monitoring Detection and Active Sampling Measurements in Evaluating Exposure Levels to Ammonia. *Detritus*. 2022, 21, pp. 94-104.

[15] Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation. INRS, ED 6106.

Pour en savoir plus

www.inrs.fr

- Méthanisation de déchets issus de l'élevage, de l'agriculture et de l'agroalimentaire. Risques et prescriptions de sécurité. ED 6153.
- Risques psychosociaux. Comment agir en prévention ? ED 6349.
- Leptospirose. Coll. Fiche zoonose, ZO 19.

Toutes les publications de l'INRS sont téléchargeables sur
www.inrs.fr

Pour commander les publications de l'INRS au format papier
Les entreprises du régime général de la Sécurité sociale peuvent se procurer les publications de l'INRS à titre gratuit auprès des services prévention des Carsat/Cramif/CGSS.

Retrouvez leurs coordonnées sur www.inrs.fr/reseau-am

L'INRS propose un service de commande en ligne pour les publications et affiches, payant au-delà de deux documents par commande.

Les entreprises hors régime général de la Sécurité sociale peuvent acheter directement les publications auprès de l'INRS en s'adressant au service diffusion par mail à service.diffusion@inrs.fr

Les installations de méthanisation et de compostage exposent les opérateurs à de nombreux risques, qu'ils soient communs à d'autres types d'installations industrielles, ou spécifiques de ce secteur d'activité et inhérents aux procédés mis en œuvre.
Cette brochure s'adresse aux acteurs de ce secteur ainsi qu'aux organismes de contrôle en décrivant les filières, les risques associés, et les mesures de prévention à mettre en place afin de prévenir les risques identifiés. Elle propose de les aider au repérage et à l'évaluation des risques professionnels ainsi qu'à la mise en place de bonnes pratiques et de moyens de prévention appropriés au sein d'installations existantes. Elle permet également de guider les professionnels lors de la conception de nouvelles installations.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail
et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6553
1re édition | novembre 2026 / 1 000 ex. / ISBN 978-2-7389-3093-4

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie - Risques professionnels

www.inrs.fr