

Liège, le 23 septembre 2009

Département de la Police et des Contrôles
RESEAU DE CONTRÔLE DES C.E.T.
EN REGION WALLONNE
Rapport annuel sur la qualité de l'air autour des
C.E.T.
- première édition : 2009 -

Rapport 1634/2009 – Version 2 avec erratum

Ce rapport contient 36 pages et 4 annexes

V. Lebrun, C. Collart, A. Kheffi, M. Monin, E. Bietlot,

Attachés,

Cellule Déchets & SAR.

Contacts

Pour toute information complémentaire, prière de prendre contact avec l'ISSEP par les moyens et adresses mentionnés ci-dessous.

ISSEP (Institut Scientifique de Service Public)

Rue du Chéra, 200

B-4000 LIEGE

Tél. : + 32 (0)4 229 83 11

Fax : + 32 (0)4 252 46 65

Adresses e-mail :

c.collart@issep.be

v.lebrun@issep.be

a.kheffi@issep.be

m.monin@issep.be

e.bietlot@issep.be

Table des matières

| | | |
|---|---|-----------|
| 1 | CONTEXTE | 5 |
| 2 | SITES | 5 |
| 3 | INTRODUCTION | 6 |
| | 3.1 Le biogaz | 6 |
| | 3.1.1 Généralités | 6 |
| | 3.1.2 Production de biogaz | 6 |
| | 3.1.3 Composition du biogaz | 7 |
| | 3.2 Émissions de polluants en phase gazeuse | 7 |
| | 3.2.1 Emissions surfaciques de biogaz | 7 |
| | 3.2.2 Émissions d'odeurs | 8 |
| | 3.2.3 Rejets atmosphériques des moteurs et torchères | 8 |
| | 3.3 Immissions dans l'air ambiant | 8 |
| | 3.3.1 Nuisances olfactives | 9 |
| | 3.3.2 Qualité chimique de l'air | 9 |
| 4 | STRATÉGIE GLOBALE DE SURVEILLANCE | 9 |
| 5 | HISTORIQUE DES CAMPAGNES DE CONTRÔLE | 11 |
| 6 | DONNÉES SUR LES BIOGAZ | 12 |
| | 6.1 Matériel et méthodes | 12 |
| | 6.2 Résultats | 12 |
| | 6.3 Analyses chimiques de biogaz émis en surface de C.E.T. | 13 |
| | 6.4 Analyses olfactométriques de biogaz émis en surface de C.E.T. | 13 |
| 7 | EMISSIONS (FUMÉES) DES MOTEURS ET TORCHÈRES | 14 |
| | 7.1 Méthodologie | 14 |
| | 7.2 Campagnes | 14 |
| | 7.3 Résultats | 15 |
| 8 | EMISSIONS SURFACIQUES DE BIOGAZ | 18 |
| | 8.1 Méthodologie | 18 |
| | 8.1.1 Méthode et stratégie d'échantillonnage | 18 |
| | 8.1.2 Appareils de mesures actuels | 19 |
| | 8.1.3 Méthodes de traitement des données | 19 |
| | 8.2 Campagnes | 20 |
| | 8.3 Résultats | 21 |
| 9 | EVALUATION DES NUISANCES OLFACTIVES | 23 |
| | 9.1 Méthodologie générale - les "tours odeurs" | 23 |
| | 9.1.1 Courbes de perception olfactive | 23 |
| | 9.1.2 Principe "worst case" | 23 |
| | 9.1.3 Zones de nuisances | 24 |
| | 9.2 Etudes complémentaires optionnelles | 24 |
| | 9.2.1 Analyses physico-chimiques sur "échantillons d'odeurs" | 25 |
| | 9.2.2 Influence des conditions météorologiques | 25 |
| | 9.2.3 Etude tridimensionnelle et effets du relief | 25 |
| | 9.2.4 Adaptation de la méthode aux sites mixtes C.E.T. + centre de compostage | 26 |
| | 9.2.5 Evaluation de la concentration d'odeur par olfactométrie dynamique | 26 |
| | 9.2.6 Enquêtes par questionnaires auprès des riverains | 27 |
| | 9.2.7 Riverains vigies | 27 |
| | 9.3 Campagnes | 28 |
| | 9.4 Résultats | 29 |

| | | |
|----|---|-----------|
| 10 | "QUALITÉ DE L'AIR" - ANALYSES D'AIR EXTÉRIEUR | 31 |
| | 10.1 Contrôles par prélèvements directs | 31 |
| | 10.2 Surveillance par laboratoires mobiles | 31 |
| | 10.3 Méthodes d'analyses | 32 |
| | 10.4 Méthode interprétative | 32 |
| | 10.5 Campagnes | 32 |
| | 10.6 Résultats | 33 |
| 11 | CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES | 35 |

Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : sites étudiés | 5 |
| Tableau 2 : historique des campagnes de contrôle réalisées par l'ISSeP | 11 |
| Tableau 3 : compositions des biogaz - statistiques sur l'ensemble des biogaz surveillés | 12 |
| Tableau 4 : historique des campagnes d'analyses de fumées (torchères et moteurs) | 14 |
| Tableau 5 : moteurs - statistiques sur les émissions à l'échelle du réseau | 15 |
| Tableau 6 : torchères - statistiques sur les émissions à l'échelle du réseau | 15 |
| Tableau 7 : moteurs - comparaison avec les valeurs normatives | 16 |
| Tableau 8 : moteurs et torchères - rendements de combustion | 17 |
| Tableau 9 : historique des campagnes de mesures d'émissions surfaciques réalisées par l'ISSeP | 20 |
| Tableau 10 : statistiques sur les émissions surfaciques à l'échelle du réseau | 21 |
| Tableau 11 : historique des campagnes de nuisances olfactives réalisées depuis 1999 | 28 |
| Tableau 12 : statistiques sur les nuisances olfactives à l'échelle du réseau | 29 |
| Tableau 13 : historique des campagnes d'analyses d'air extérieur réalisées par l'ISSeP | 33 |
| Tableau 14 : statistiques sur les résultats d'analyses d'air extérieur à l'échelle du réseau | 33 |

Annexes

| |
|--|
| Annexe 1 : Statistiques complètes sur la composition des biogaz du réseau |
| Annexe 2 : Statistiques complètes sur la composition des fumées de torchères et de moteurs |
| Annexe 3 : Rendement de combustion par torchères et moteurs des principaux composants/polluants des biogaz |
| Annexe 4 : Statistiques complètes sur la qualité de l'air autour des C.E.T. |

Abréviations utilisées dans le texte

| | |
|---------|---|
| BTEX | Benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes |
| COV | Composés organiques volatiles |
| VC | Chlorure de vinyle |
| DCM | Dichlorométhane |
| DCA | Dichloroéthane |
| TCA | Trichloroéthane |
| Nb mes. | Nombre de mesures |
| MIN | Minimum |
| MAX | Maximum |
| MED | Médiane |
| MOY | Moyenne |

RESEAU DE CONTRÔLE DES C.E.T. EN REGION WALLONNE

Rapport annuel sur la qualité de l'air autour des C.E.T. - première édition : 2009 -

| | |
|------------------|--|
| Date | 17 septembre 2009 |
| Maître d'ouvrage | Département de la Police et des Contrôles |
| Référence | 1634/2009 |
| Type | Rapport Définitif - version 2 corrigée |
| Auteurs | V. Lebrun, C. Collart, A. Kheffi, M. Monin, E. Bietlot |

1 CONTEXTE

Le présent document synthétise les résultats acquis, dans le domaine des émissions gazeuses et de leur impact environnemental, dans le cadre du réseau de contrôle des centres d'enfouissement technique instauré par le DPC en 1998. Chaque campagne, focalisée sur un C.E.T. à un moment donné, a d'ores et déjà fait l'objet d'un rapport détaillé. Après dix ans de fonctionnement, le réseau a accumulé suffisamment de données pour permettre une analyse plus globale, à l'échelle du réseau entier. Des statistiques et valeurs additives peuvent maintenant être calculées et servir de référence pour les campagnes futures. La vision à l'échelle régionale fournit par ailleurs une aide à la décision intéressante pour orienter la politique future de la Région en matière de gestion des déchets.

Une actualisation des chiffres sera réalisée annuellement et publiée sous forme d'un état des lieux évolutif. Le présent rapport étant la première version de cet état des lieux, il contient de larges sections d'ordre général et méthodologique permettant au lecteur novice en la matière d'acquérir les bases techniques minimales pour la compréhension des résultats présentés.

2 SITES

Le rapport de synthèse concerne l'ensemble des centres d'enfouissement technique intégrés au réseau de contrôle à l'heure actuelle, à savoir les 12 sites repris au Tableau 1.

Tableau 1: sites étudiés

| Dénominations/localisation | Exploitant actuel | code |
|---|-------------------|------|
| CETeM/Mont-Saint-Guibert | Shanks | MSG |
| Hallembaye Visé | Sita | HAL |
| Cour-au-Bois/Braine-le-Château | Veolia | CAB |
| Froidchapelle | Intersud | FRO |
| Belderbusch/Montzen | Sita | BEL |
| Cronfestu/Morlanwelz | IDEA | CRO |
| CETB Champ de Beaumont/Monceau-sur-Sambre | Sita | BEA |
| Happe-Chapois/Chapois - Ciney | B.E.P. | CHA |
| Habay-la-Neuve | IDELux | HAB |
| Tenneville | IDELux | TEN |
| Morialmé/Florenne | B.E.P. | MOR |
| Malvoisin/Gedinne | B.E.P. | MAL |

Pour simplifier les tableaux, un trigramme, repris dans la troisième colonne, identifie chaque C.E.T., et ce, tout au long du rapport.

3 INTRODUCTION

3.1 Le biogaz

3.1.1 Généralités

Les ordures ménagères brutes contiennent entre 50 à 70 % de matières organiques fermentescibles, dont les deux tiers sont facilement biodégradables avec une teneur en eau variant de 15 à 30 %. On distingue 3 catégories de déchets organiques selon leur biodégradabilité. Leurs proportions moyennes dans les ordures ménagères sont les suivantes :

- matières animales et végétales (très biodégradables) : de 30 à 50 % ;
- papiers et cartons (moyennement biodégradables) : de 8 à 20 % ;
- cuirs et bois (peu biodégradables) : de 1 à 10 %.

3.1.2 Production de biogaz

La dégradation des déchets, à l'origine de la production du biogaz, résulte en grande partie d'activités microbiologiques et se traduit par un processus en 2 étapes successives : une première étape en conditions aérobies et une seconde en conditions anaérobies.

L'étape aérobie se déroule dans les couches superficielles des déchets organiques (en contact avec l'air ambiant) où se développe toute une microflore spécifique (bactéries mais aussi champignons, levures et algues). Cette microflore dégrade la matière organique, ce qui se traduit par une élévation de température pouvant atteindre 60 °C et aboutit à la transformation d'une partie de cette matière organique en produits finaux tels le dioxyde de carbone (CO₂) et la vapeur d'eau. Ce processus de décomposition débute dès l'abandon du déchet et se termine quelques jours, voire quelques semaines plus tard, en fonction des conditions de gestion de la décharge. Un compactage efficace chasse l'air interstitiel plus rapidement et un recouvrement régulier des déchets limite l'apport en oxygène venant de la surface supérieure. Ces deux opérations réduisent donc l'étape aérobie au profit de la seconde, génératrice de méthane. Les pertes de carbone sous forme de CO₂ sont ainsi minimisées.

L'étape anaérobie se caractérise par la production de méthane (CH₄). Elle se déroule elle-même en plusieurs phases qui peuvent être résumées comme suit :

- Durant la première étape, les matières organiques solides ou dissoutes **fermentent** et sont **hydrolysées** par des bactéries spécifiques (bactéries hydrolytiques et acidogènes) en acides gras volatils, alcools, dioxyde de carbone et hydrogène.
- A l'étape intermédiaire un groupe de **bactéries acétogènes** transforme les différents sous-produits formés lors de la première phase en acide acétique, dioxyde de carbone et hydrogène. Parallèlement, les bactéries méthanogènes commencent à proliférer et à produire du méthane.
- En fin de processus, le méthane est produit par les **bactéries méthanogènes** (conditions anaérobies strictes, faible potentiel redox). Il s'agit de bactéries acétophiles qui convertissent l'acide acétique en méthane et de bactéries hydrogénophiles qui convertissent le dioxyde de carbone et l'hydrogène en méthane. En phase de stabilisation de la méthanogénèse, la concentration en méthane dans le biogaz produit peut atteindre 50 à 60 %.

3.1.3 Composition du biogaz

Outre le méthane, on retrouve dans le biogaz une série de composés générés par la biodégradation ou émanant directement des déchets :

- **Éléments majeurs (% sur gaz secs) :**
 - méthane (CH₄) : 49 ± 5 % (optimum de la production) ;
 - dioxyde de carbone (CO₂) : 35 ± 5 % (optimum de la production) ;
 - hydrogène (H₂) : 1 à 3 % (début de la méthanogenèse) ;
 - azote (N₂) et oxygène (O₂) : quelques %, suivant les conditions du milieu.
- **Composés en traces :**
 - composés produits directement par le processus de dégradation, tels les sulfures et mercaptans (0 à 400 mg/Nm³) et les hydrocarbures terpéniques (0 à 500 mg/Nm³). Ces composés contribuent de manière importante aux nuisances olfactives engendrées par les biogaz, à cause notamment de leur seuil olfactif extrêmement bas.
 - composés d'origine anthropogénique (directement émis par les déchets), comme les hydrocarbures aromatiques mono- ou polycycliques et les hydrocarbures chlorés, mais aussi des composés plus communs comme les alcools, les esters, les aldéhydes, les cétones, les éthers. Leurs concentrations dans le biogaz sont de l'ordre du mg/Nm³. Ces composés sont parfois odorants et certains d'entre eux présentent une toxicité plus ou moins élevée, même en faibles concentrations.

3.2 Émissions de polluants en phase gazeuse

3.2.1 Emissions surfaciques de biogaz

L'extraction du biogaz à des fins d'élimination ou de valorisation n'est jamais totalement efficace. Le biogaz non capté s'accumule dans des poches plus perméables au sein du massif de déchets et diffuse ensuite verticalement pour atteindre l'atmosphère au travers des déchets superficiels (au droit des zones en exploitation) et/ou via des points de faiblesses dans la couverture supérieure (au niveau des zones réhabilitées). Dans certains cas, il peut arriver que les émissions de biogaz migrent également latéralement à la faveur de fissures dans le sous-sol, avant d'émerger en surface ou dans des installations souterraines (caves, égouts).

Ces émissions ou migrations peuvent occasionner diverses atteintes à l'environnement :

- risques d'explosion ;
- risques pour la santé humaine ;
- dommages à la végétation ou aux cultures ;
- nuisances olfactives.

Par ailleurs, le méthane est un gaz à effet de serre 21 fois plus actif que le dioxyde de carbone. Son émission dans l'air doit dès lors être minimisée, indépendamment de tout risque direct pour la santé ou l'écosystème.

Il a été largement démontré que le dégagement de biogaz est très sensible aux variations de pression atmosphérique. Le type de couverture, la température, le taux d'humidité et le taux de compaction des déchets sont autant de facteurs qui jouent également un rôle prédominant dans le phénomène de diffusion du biogaz. Ces paramètres étant très variables dans le temps et l'espace, ils contribuent largement à l'hétérogénéité spatiale et à l'instabilité temporelle du phénomène d'émission surfacique.

3.2.2 Émissions d'odeurs

A. Par le biogaz

On retrouve dans le biogaz toute une série de familles de composés odorants, tels que les sulfures, les mercaptans et les hydrocarbures aromatiques et terpéniques. Une étude spécifique menée sur une large période de temps par le laboratoire DCMS sur le C.E.T. de Mont-Saint-Guibert^[1] a permis de distinguer des traceurs chimiques caractéristiques des odeurs provenant non seulement du biogaz, mais également des déchets frais. D'après cette étude, un hydrocarbure monoaromatique, le p-cymène (p-isopropyltoluène), peut être choisi comme traceur spécifique du biogaz. Dans certains C.E.T., le sulfure d'hydrogène, dont la production par biodégradation est liée à la présence de sulfates dans les déchets (présence de plâtre par exemple), est également responsable de nuisances importantes ; ce composé dégage en effet une odeur caractéristique d'œuf pourri.

B. Par les déchets frais

Les déchets frais, c'est-à-dire les déchets provenant directement du versage des camions et fraîchement étalés sur le site, ne produisent pas de biogaz. Ils dégagent cependant également une odeur caractéristique (odeur de poubelle). Le plus souvent, c'est cette odeur qui prédomine en termes de nuisances produites par un C.E.T. pour les riverains. Selon l'étude de DCMS citée plus haut, l'odeur des déchets frais est traçable analytiquement par la présence d'hydrocarbures monoterpéniques, dont le limonène est le composé le plus représentatif.

3.2.3 Rejets atmosphériques des moteurs et torchères

Pour des raisons de sécurité et de préservation de l'environnement, et par intérêt économique, les biogaz produits par les C.E.T. sont captés par un système actif (mise en dépression) afin de les valoriser et/ou de les éliminer.

Une solution efficace pour valoriser le biogaz est la combustion de ce dernier dans des moteurs thermiques spécialement conçus pour ce type de combustible. Associés à des alternateurs, ces moteurs permettent de produire de l'électricité qui est partiellement utilisée sur le site et dont le surplus peut être distribué sur le réseau. La destruction des biogaz par torchère représente une solution alternative si l'on ne désire pas utiliser cette source potentielle d'énergie ou si la production ou la qualité du biogaz est insuffisante pour faire fonctionner un moteur à gaz. Elle présente l'avantage d'être relativement économique, d'avoir un très faible potentiel d'émission odorante et de rendre le risque d'explosion quasi nul.

Tant les moteurs que les torchères présents sur un C.E.T. émettent des gaz d'échappement (fumées) qui contiennent potentiellement des éléments solides ou gazeux susceptibles d'altérer, chimiquement ou olfactivement, la qualité de l'air. Contrairement aux émissions précédentes qui sont diffuses, celle-ci sont localisées précisément à la sortie des cheminées.

3.3 Immissions dans l'air ambiant

Par définition, l'immission d'un polluant est la concentration de ce dernier résultant des émissions des activités humaines et mesurée dans l'environnement (récepteurs). En ce qui concerne l'air, le réseau de contrôle aborde la surveillance à l'immission sous deux angles spécifiques :

- la qualité olfactive de l'air ambiant et les nuisances causées aux riverains par ces odeurs ;
- la qualité chimique de l'air ambiant aux abords immédiats du C.E.T. et les éventuelles conséquences pour la santé des riverains.

3.3.1 Nuisances olfactives

S'il est déjà très complexe de quantifier et de caractériser une odeur à sa source, il est encore plus difficile d'évaluer la nuisance olfactive, c'est-à-dire de quantifier l'intensité de la nuisance encourue par un riverain moyen, en fonction de la distance à laquelle il se trouve par rapport au site. En effet, la mesure de l'odeur à l'immission relève partiellement de notions subjectives.

La méthodologie d'évaluation des nuisances olfactives engendrées par l'exploitation d'un site industriel en général, et d'un C.E.T. en particulier, est loin d'être unique. Il n'existe pas de méthode parfaite, reconnue par tous, et pouvant servir de référence absolue. De nombreuses techniques et variantes, qui sont souvent complémentaires, sont appliquées par les centres de recherche et les laboratoires spécialisés dans ce domaine.

3.3.2 Qualité chimique de l'air

La qualité chimique de l'air au droit et aux environs d'un C.E.T. est le résultat additionnel des concentrations de fond (naturelles), des pollutions extérieures (non générées par lui) et des pollutions qu'il génère (dans son ensemble ou par une installation). Les polluants pris en considération sont sélectionnés en fonction de la nature des activités et/ou des matériaux utilisés sur le site. La mesure de la qualité de l'air aux alentours d'un C.E.T. est une matière très difficile à aborder puisqu'elle implique non seulement de mesurer, dans l'air atmosphérique, des polluants présents en très faibles concentrations, mais également de connaître, de manière approfondie, les différentes sources d'émissions gazeuses actives sur le C.E.T.

4 STRATÉGIE GLOBALE DE SURVEILLANCE

Étudier la qualité de l'air autour d'un C.E.T. implique, d'une part, de caractériser au mieux les rejets atmosphériques engendrés par son exploitation (notion de source) et, d'autre part, d'aborder la question de nuisances et/ou de risques potentiels ou réels pour les riverains (notion de cible). A cette dualité source/cible s'ajoute la notion de "vecteur", l'air ambiant dans le cas des émissions gazeuses, qui transporte les composants émis par la source après qu'ils se soient mélangés aux composants majeurs de l'atmosphère. C'est donc très logiquement que les volets "Air" des campagnes de contrôle abordent trois problématiques :

- l'étude de la source, à savoir la composition des biogaz générés par les C.E.T.
- la surveillance des "émissions", par des mesures aussi près que possible du point ou des zones émettrices ;
- la surveillance des "immissions", par des mesures à la cible ou dans l'air ambiant avant qu'il n'atteigne cette dernière.

Lors des campagnes réalisées dans le cadre du réseau de contrôles, la problématique des **effluents gazeux** et des nuisances potentielles pour les riverains liées à leur immission dans l'air ambiant est systématiquement traitée en 4 volets distincts :

- **Volet "émissions des installations de valorisation/destruction" :**

Cette partie de l'étude est systématiquement réalisée par la cellule émissions atmosphériques de l'ISSeP (responsable François Idczak). Il s'agit de contrôler les émissions gazeuses produites par les torchères et/ou générateurs électriques à combustion (aussi appelés moteurs) installés sur le C.E.T., afin de vérifier qu'elles sont conformes aux législations et aux normes qualitatives en vigueur. Dans le présent rapport annuel, les campagnes réalisées depuis 1999 sur l'ensemble des installations de valorisation, tous C.E.T. confondus, ont été recensées et les résultats globalisés dans la section 6 afin de donner un état de lieux complet du réseau dans ce domaine et d'en étudier l'évolution. La méthodologie spécifique à ce volet est rappelée en détail dans l'introduction de cette section.

Par ailleurs, c'est dans le cadre de ces campagnes "émissions" que des analyses chimiques sur le biogaz sont réalisées. Dans ce rapport annuel, les résultats "biogaz" ont été extraits du

volet "installations" pour les présenter dans un chapitre spécifique en début de rapport (section 4).

- **Volet "émissions surfaciques" :**

La stratégie utilisée jusqu'il y a peu consistait à réaliser, selon un maillage plus ou moins régulier, des mesures semi-quantitatives in situ de la concentration en méthane de l'air qui s'échappe à la surface des zones réhabilitées et des zones en exploitation. Ces mesures étaient prises au moyen d'un appareil FID (Flame Ionization Detector) portatif spécialement dédié à la prise de mesures in situ. Les valeurs mesurées étaient géoréférencées au GPS simultanément à la prise de mesure et traitées statistiquement afin de visualiser les zones de dégazage préférentiel. De nombreux développements ont récemment eu lieu et sont encore en cours pour améliorer cette stratégie de surveillance et tendre vers une évaluation plus précise de la quantité de biogaz qui s'échappe des déchets via la surface, couverte ou non, des C.E.T. du réseau. La section 7 du présent rapport synthétise ces développements et donne quelques chiffres globalisés sur les campagnes déjà réalisées.

- **Volet "odeurs" :**

Cette partie de l'étude est systématiquement sous-traitée à l'Université de Liège, département des Sciences et de Gestion de l'Environnement (Unité « Surveillance de l'environnement » du Professeur Jacques Nicolas). La plupart des méthodes classiques partent d'une mesure des odeurs à l'émission et tentent d'en modéliser la dispersion pour obtenir des valeurs calculées à l'immission. Dans le cadre de ce réseau, la méthode de base adoptée est celle développée par l'Université de Liège, Département des Sciences et de Gestion de l'Environnement. Elle est originale en ce sens qu'elle s'appuie sur des prises de mesures non pas à l'émission mais à l'immission. Cette méthode, ainsi que des statistiques à l'échelle régionale sur les résultats déjà obtenus, font l'objet de la section 8 du rapport.

Chaque fois que nécessaire, notamment dans un but de calibrage, l'ULg combine cette méthode de traçage d'odeurs à l'immission, à d'autres techniques complémentaires. En particulier, des échantillons de biogaz sont régulièrement prélevés à la source (dans les installations ou en surface des zones d'enfouissement) pour réaliser des analyses d'olfactométrie (évaluation de la charge odorante du gaz).

- **Volet "qualité de l'air" :**

Cette partie de l'étude est systématiquement confiée à la "cellule air" de l'ISSeP. L'analyse de la qualité de l'air atmosphérique dans l'environnement proche du C.E.T. est réalisée grâce à l'installation sur site de laboratoires mobiles durant une période suffisante et à des emplacements judicieusement choisis. Le choix des emplacements vise simultanément à :

- vérifier l'influence éventuelle du C.E.T. entre l'amont et l'aval par rapport aux vents dominants ;
- vérifier la qualité de l'air auprès des riverains potentiellement les plus exposés aux émissions du C.E.T. ;
- valider les données des appareils de mesures de l'exploitant, s'ils existent.

La méthodologie développée par l'ISSeP dans le cadre du réseau de contrôle est détaillée dans la section 9 du rapport qui fournit également des statistiques globales incluant l'ensemble des mesures réalisées depuis 1999.

5 HISTORIQUE DES CAMPAGNES DE CONTRÔLE

Le Tableau 2 présente un synoptique de toutes les campagnes réalisées sur les différents C.E.T. depuis le lancement du réseau en 1999.

Tableau 2 : historique des campagnes de contrôle réalisées par l'ISSeP

| | Biogaz | Fumées | Emissions surfaciques | Odeurs | Qualité de l'air |
|------|---|--------|-----------------------|--------|-------------------------|
| 1999 | MSG_1 (C ¹ -O ²) | MSG_1 | MSG_1 | MSG_1 | MSG_1 |
| | HAL_1 (C-O) | HAL_1 | HAL_1 | HAL_1 | HAL_1 |
| 2000 | CAB_1 (C-O) | CAB_1 | CAB_1 | CAB_1 | CAB_1 |
| | FRO_1 (C-O) | FRO_1 | FRO_1 | | FRO_1 |
| 2001 | MSG_2 (C) | MSG_2 | MSG_2 | MSG_2 | MSG_2 |
| | BEL_1 | BEL_1 | BEL_1 | | BEL_1 |
| | | | CRO_1 | | CRO_1 |
| 2002 | HAL_2 (C) | HAL_2 | HAL_2 | HAL_2 | HAL_2 |
| | CAB_2 (C) | CAB_2 | CAB_2 | CAB_2 | CAB_2 |
| | | | BEA_1 | BEA_1 | BEA_1 |
| 2003 | BEL_2 | BEL_2 | BEL_2 | BEL_1 | BEL_2 |
| | | | FRO_2 | FRO_1 | FRO_2 |
| 2004 | CAB_3 (C) | CAB_3 | CAB_3 | CAB_3 | CAB_3 |
| | CHA_1 (C) | CHA_1 | BEA_2 | BEA_2 | BEA_2 |
| | | | CHA_1 | CHA_1 | CHA_1 |
| | | | TEN_1 | TEN_1 | TEN_1 |
| 2005 | MSG_3 (C) | MSG_3 | MSG_3 | MSG_3 | MSG_3 |
| | TEN1 (C-O) | TEN_1 | CRO_2 | HAB_1 | CRO_2 |
| | | | CHA_2 | | HAB_1 |
| 2006 | HAL_3 (C) | HAL_3 | HAL_3 | HAL_3 | HAL_3 |
| | HAB_1 (C) | HAB_1 | HAB_1 | MAL_1 | MAL_1 |
| | | | CHA_3 | CHA_2 | MOR_1 |
| | | | MAL_1 | | |
| | | | MOR_1 | | |
| 2007 | CAB_4 (C) | CAB_4 | CAB_4 | CAB_4 | CAB_4 |
| | | | FRO_3 | MAL_2 | FRO_3 MAL_2 CHA_2 |
| 2008 | BEA_1 (C-O) | BEA_1 | BEA_3 | BEA_3 | BEA_3 |
| | | | | MAL_3 | MAL_3 |
| | | | | TEN_2 | CAB_5 |
| 2009 | MSG_4 (C) | MSG_4 | MSG_4 | MSG_4 | MSG_4 |
| | HAB_2 (C) | HAB_2 | HAB_2 | HAB_2 | HAB_2 |
| | | | MOR_2 | | |
| | | | CHA_3 | | |
| | | | MAL_2 | | |

Légende

| | |
|----------------|---|
| ¹ C | Analyses chimiques des composants du biogaz |
| ² O | Prélèvement de biogaz (à la source ou aux installations) pour analyse olfactométrique |
| FRO_2 | Deuxième campagne à Froidchapelle (numérotation spécifique à chaque type de campagne) |

Majoritairement complètes jusqu'en 2007, hormis sur les C.E.T. réhabilités pour lesquels certains domaines de surveillance ne sont plus pertinents, les campagnes sont maintenant de plus en plus ciblées. Pour chaque C.E.T., on sélectionne les axes de surveillance les plus pertinents sur base des campagnes antérieures, en éliminant ceux qui ne montraient aucun problème. En moyenne, le rythme des campagnes "air" est resté assez constant, incluant de 2 à 3 campagnes par an dans chaque domaine de surveillance et une fréquence bisannuelle par site.

6 DONNÉES SUR LES BIOGAZ

6.1 Matériel et méthodes

Lors des campagnes de contrôle des émissions (fumées) de moteurs et de torchères, il est également procédé à des prélèvements de biogaz à la sortie du réseau de collecte, avant combustion. Depuis 1999, environ 120 prélèvements ont été réalisés sur 13 moteurs et 12 torchères répartis sur 7 sites. Les valeurs reprises dans le tableau 3 sont, soit des moyennes de valeurs enregistrées en continu par des analyseurs sur une période de 2 à 5 heures, soit des échantillons prélevés en quelques minutes, à l'intérieur de la même période, dans des sacs tedlar ou sur des tubes adsorbants et analysés au laboratoire. Les méthodes de prélèvement et d'analyses chimiques se répartissent comme suit :

- Méthodes de prélèvement :
 - composés majeurs (CH₄, CO₂, O₂, H₂) : prélèvement dans un conteneur laboratoire mobile équipé de moniteurs ad hoc et de sondes d'échantillonnage spécifiques ;
 - H₂S : prélèvement par barbotage dans une solution d'acétate de cadmium ;
 - COV (BTEX, Halogénés) : fixation sur tubes adsorbants spécifiques (Carbotrap 300) ou prélèvement en sac Tedlar.
- Paramètres analysés et méthodes d'analyses :
 - CO₂ et CH₄ : analyse à l'aide de détecteurs IR ou NDIR ;
 - O₂ : analyse par paramagnétisme, détecteurs NDIR ou série d'analyseurs équipés de cellules électrochimiques ;
 - H₂S et H₂ : analyse à l'aide d'une série d'analyseurs équipés de cellules électrochimiques ;
 - COV : analyse par screening GC-MS.

6.2 Résultats

Le tableau 3 présente les statistiques sur les composés majeurs ainsi que sur les composés les plus toxiques mesurés dans les différents biogaz valorisés par les plus gros C.E.T. du réseau.

Tableau 3 : compositions des biogaz - statistiques sur l'ensemble des biogaz surveillés

| | Unités | Nb mes. | MIN | MAX | MED | MOY | P95 |
|------------------------|------------------------|---------|------|--------|-------|-------|--------|
| CO ₂ | % v/v sec | 92 | 20,1 | 42 | 35,2 | 35 | 41 |
| CH ₄ | % v/v sec | 92 | 27,2 | 60 | 49 | 48 | 56 |
| O ₂ | % v/v sec | 92 | 0,0 | 7 | 0,7 | 1,3 | 6,0 |
| H ₂ | mg/Nm ³ sec | 63 | 0,1 | 334 | 27,8 | 55 | 245 |
| H ₂ S | mg/Nm ³ sec | 91 | 0,7 | 743 | 103 | 167 | 603 |
| S | mg/Nm ³ sec | 40 | 4,0 | 220 | 68,6 | 90 | 199 |
| Benzène | µg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 18714 | 1661 | 2728 | 8498 |
| BTEX ^{abrév.} | µg/Nm ³ sec | 118 | 32,3 | 185817 | 33386 | 46138 | 138121 |
| VC ^{abrév.} | µg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 5701 | 339 | 923 | 4000 |
| ∑ Chlorés | µg/Nm ³ sec | 106 | 3,0 | 32866 | 1739 | 4278 | 11676 |

Outre les composés repris dans ce tableau, le biogaz contient également de grandes quantités d'hydrocarbures plus lourds (alcane – en moyenne 30 mg/Nm³ et alcènes – en moyenne 10 mg/Nm³). Une partie d'entre eux sont également dosés dans les échantillons de biogaz prélevés. Un tableau plus complet, fourni en Annexe 1, détaille ces résultats ainsi que ceux mesurés individuellement en toluène, éthylbenzène, xylènes et en certains solvants chlorés particuliers.

La plupart des biogaz du réseau (81%) affichent des teneurs en méthane comprises entre 40 et 55 % et un taux d'oxygène inférieur à 3%. Moyennant certaines précautions éventuelles (élimination de H₂S sur charbon actif par exemple), ces biogaz sont de qualité suffisante pour être utilisés comme combustible pour la production d'électricité. Cependant, outre la qualité, il faut que la quantité produite soit suffisante, ce qui n'est le cas que pour les plus grosses exploitations.

Comme l'indique la forte différence entre valeurs médiane et moyenne, les teneurs en H₂S sont beaucoup plus dispersées que celles des composés majeurs. Deux éléments d'explication peuvent être avancés :

- Le sulfure d'hydrogène trouve son origine dans la présence de gypse (plâtre) au sein des déchets. La quantité de ces matériaux plâtreux est extrêmement variable d'un site à l'autre en fonction de leur historique d'exploitation. Cela entraîne une variabilité des teneurs en H₂S intrinsèquement plus grande que, par exemple, celle du méthane.
- Des systèmes d'épuration du biogaz ont été installés en amont des moteurs, sur certains C.E.T. seulement. L'un des buts de ce traitement est justement d'éliminer le H₂S corrosif pour les installations de valorisation. Les teneurs en sorties sont dès lors très différentes de celles mesurées dans le biogaz brut. Pour des raisons techniques de disponibilité d'une vanne de prélèvement, lors de certaines campagnes, les biogaz ont été prélevés après filtration, avec pour conséquence une extension des gammes de concentrations mesurées vers les basses teneurs.

Le même constat sur la variabilité due aux filtres est valable pour les BTEX et les solvants chlorés, qui sont fortement retenus par les charbons actifs. Par ailleurs, les valeurs enregistrées sont assez différentes de celles annoncées dans certaines publications scientifiques. En particulier, Christensen et al. (1993)^[2] donnent des teneurs typiques pour le benzène et le chlorure de vinyle de respectivement 5.000 et 10.000 µg/m³. Dans les biogaz du réseau, on enregistre des teneurs moindres et, surtout, c'est ici le benzène qui prédomine par rapport au chlorure de vinyle et non l'inverse.

6.3 Analyses chimiques de biogaz émis en surface de C.E.T.

En marge de certaines campagnes de mesures des nuisances olfactives ou de mesures des émissions surfaciques, il a été procédé sporadiquement à des analyses chimiques sur des biogaz émis à la surface des C.E.T. et prélevés via des cannes ponctuelles ou au travers de chambres de flux. Il y a eu trop peu de prélèvements de ce type pour permettre la publication de statistiques.

6.4 Analyses olfactométriques de biogaz émis en surface de C.E.T.

Toujours en combinaison avec les campagnes de mesures des nuisances olfactives, il n'est pas rare que des prélèvements de biogaz, sur le massif de déchets ou sur andains de compost, soient réalisés pour effectuer des analyses olfactométriques. Ici aussi, le nombre limité de résultats rendrait hasardeuse toute tentative de généralisation. Le lecteur trouvera les résultats individuels dans les différents rapports odeurs publiés sur le site du réseau de contrôle des C.E.T., notamment ceux concernant Champ de Beaumont et Tenneville en 2008.

7 EMISSIONS (FUMÉES) DES MOTEURS ET TORCHÈRES

7.1 Méthodologie

Comme pour les biogaz bruts, la caractérisation chimique des fumées requiert des mesures in situ en continu pour certains paramètres et des prélèvements plus ponctuels, avec analyse au laboratoire, pour d'autres.

En pratique, l'ISSEP installe un conteneur laboratoire mobile à proximité du moteur ou de la torchère à contrôler. Ce conteneur, équipé de moniteurs ad hoc et de sondes d'échantillonnages spécifiques, permet d'analyser 8 composés des fumées directement dans la cheminée : le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone (CO₂) par infrarouge, le monoxyde d'azote (NO) et les oxydes d'azote (NO_x) par chemiluminescence, le dioxyde de soufre (SO₂) par ultraviolet, les hydrocarbures C_xH_y par ionisation de flamme, le méthane par NDIR (infrarouge), l'oxygène (O₂) par paramagnétisme et le sulfure d'hydrogène (H₂S) par barbotage dans l'acétate de cadmium et titrage. Les mesures sont effectuées toutes les 6 secondes et moyennées toutes les minutes. Les composés organiques volatils (COV) quant à eux, sont adsorbés sur tubes spécifiques Carbotrap 300 et analysés au laboratoire par chromatographie en phase gazeuse et spectromètre de masse (GC-MS).

Afin d'obtenir une bonne représentativité du fonctionnement des installations, il est généralement recommandé que chaque unité fasse l'objet de 3 journées de mesures durant au moins ½ heure en continu. En général, lors des campagnes qu'il organise, l'ISSEP augmente ces durées de mesures en continu qui atteignent de 2 à 5 heures, soit 4 à 10 fois la durée minimale recommandée.

7.2 Campagnes

Le Tableau 4 présente de manière synthétique la répartition dans le temps et dans l'espace des campagnes de contrôle réalisées par l'ISSEP sur les moteurs et torchères des différents C.E.T.

Tableau 4 : historique des campagnes d'analyses de fumées (torchères et moteurs)

| | MSG | HAL | CAB | FRO | BEL | CRO | BEA | CHA | TEN | HAB | MAL | MOR |
|----------------|--|-------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| 1999 | 1M/2T | 1M/1T | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2000 | - | - | 3M/1T | 1T | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2001 | 2M/3T | - | - | - | 1M/1T | - | - | - | - | - | - | - |
| 2002 | - | 1M/1T | 3M/1T | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2003 | - | - | - | - | 1M | - | - | - | - | - | - | - |
| 2004 | - | - | 2M | - | - | - | - | 1T | - | - | - | - |
| 2005 | 2M | - | - | - | - | - | - | - | 1M/1T | - | - | - |
| 2006 | - | 2M/ | - | - | - | - | - | - | - | 1T | - | - |
| 2007 | - | - | 3M | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2008 | - | - | - | - | - | - | 1T | - | - | - | - | - |
| 2009 | 2M | - | - | - | - | - | - | - | - | 1M | - | - |
| Légende | | | | | | | | | | | | |
| 1M/2T | Contrôle des fumées sur 1 moteur et deux torchères | | | | | | | | | | | |

Au total, fin 2009, 19 campagnes de surveillance auront été menées, permettant de contrôler 10 moteurs différents répartis sur 5 sites et 11 torchères sur 9 sites. Certains moteurs (HAL, MSG, CAB) auront subi de 3 à 4 campagnes de surveillance successives, permettant de vérifier les conséquences éventuelles du vieillissement des installations et l'influence de la fréquence et de la qualité de la maintenance sur les rejets. Les différentes campagnes sont en effet planifiées de manière aléatoire dans le temps, certaines juste avant l'entretien prévu, d'autres juste après, d'autres encore au milieu de la plage de fonctionnement.

7.3 Résultats

Le Tableau 5 et le Tableau 6 reprennent l'ensemble des statistiques à l'échelle du réseau calculées respectivement pour les fumées de moteurs et pour celles de torchères. Les chiffres globaux ont été calculés à partir des valeurs moyennes mesurées sur les différents sites. Ils intègrent toutes les campagnes et pas seulement la dernière. Les données plus anciennes restent pertinentes puisqu'elles concernent les mêmes installations, toujours en fonctionnement à l'heure actuelle à l'exception d'un moteur changé à Cour-au-Bois. Un tableau commun reprend toutes les valeurs publiées dans les rapports depuis 1999 (voir Annexe 3). Les statistiques pour tout le réseau, sans distinction, ont ensuite été calculées. Pour des raisons de clarté, les résultats sur les BTEX, les hydrocarbures chlorés, les alcanes et les alcènes ont été résumés dans les tableaux en 6 lignes : les deux plus problématiques (VC et Benzène) et la somme de chacune des 4 catégories. Les fumées contiennent également des résidus d'hydrocarbures plus communs (alcanes et alcènes) dont les concentrations sont moins critiques du point de vue de la santé. Des tableaux en annexe reprennent les résultats complets sur les composés individuels.

Tableau 5 : moteurs - statistiques sur les émissions à l'échelle du réseau

| | Unités | Nb mes. | Min | Max | Médiane | Moyenne | P95 |
|-----------------|--|---------|------|------|---------|---------|------|
| CO ₂ | % v/v sec | 67 | 9,2 | 14,8 | 12,5 | 12,5 | 14,3 |
| O ₂ | % v/v sec | 67 | 4,5 | 9,6 | 6,5 | 6,6 | 9,1 |
| CO | mg/Nm ³ (*) | 60 | 428 | 1171 | 657 | 690 | 923 |
| NO | mg/Nm ³ (*) | 58 | 32 | 552 | 153 | 179 | 502 |
| NOx | mgNO ₂ /Nm ³ (*) | 51 | 141 | 984 | 346 | 410 | 924 |
| SO ₂ | mg/Nm ³ (*) | 57 | 15,4 | 199 | 41,5 | 59 | 156 |
| Alcanes | µg/Nm ³ sec | 63 | 0,1 | 293 | 11,5 | 37,1 | 182 |
| Alcènes | µg/Nm ³ sec | 69 | 0,1 | 296 | 7,2 | 29 | 121 |
| Benzène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 557 | 14,4 | 65 | 367 |
| BTEX | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,1 | 1012 | 29 | 99 | 511 |
| VC | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 12,0 | 0,1 | 1,0 | 3,9 |
| Chlorés | µg/Nm ³ sec | 69 | 0,1 | 57 | 3,0 | 9,9 | 40,4 |
| CxHy tot | mg C/Nm ³ | 31 | 251 | 1142 | 489 | 620 | 1024 |

(*) mesures ramenées sur gaz sec, à 5%O₂.

Tableau 6 : torchères - statistiques sur les émissions à l'échelle du réseau

| | Unités | Nb mes. | Min | Max | Médiane | Moyenne | P95 |
|-----------------|--|---------|------|-----|---------|---------|------|
| CO ₂ | % v/v sec | 32 | 8,3 | 15 | 11,0 | 11,1 | 14,0 |
| O ₂ | % v/v sec | 32 | 4,0 | 11 | 7,6 | 7,7 | 10,5 |
| CO | mg/Nm ³ (*) | 32 | 1,0 | 101 | 3,7 | 11 | 52 |
| NO | mg/Nm ³ (*) | 31 | 16,6 | 105 | 44,0 | 46,4 | 92 |
| NOx | mgNO ₂ /Nm ³ (*) | 31 | 28,1 | 164 | 64,5 | 71 | 138 |
| SO ₂ | mg/Nm ³ (*) | 32 | 3,5 | 200 | 54,3 | 69 | 180 |
| Alcanes | µg/Nm ³ sec | 30 | 0,3 | 75 | 1,1 | 7 | 37 |
| Alcènes | µg/Nm ³ sec | 30 | 0,1 | 27 | 0,8 | 2,9 | 9,6 |
| Benzène | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 2,2 | 0,3 | 0,6 | 2,0 |
| BTEX | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,2 | 32 | 1,5 | 4,2 | 17 |
| VC | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,1 |
| Chlorés | µg/Nm ³ sec | 30 | 0,1 | 12 | 0,5 | 1,7 | 6,6 |

(*) mesures ramenées sur gaz sec, à 5%O₂.

Les **hydrocarbures émis par les moteurs** sont composés à 98,5 % de méthane. Les concentrations en méthane dans les fumées sont de l'ordre de 350 mg C/Nm³ sec à 5% O₂, ce qui est négligeable par rapport à celle dans le biogaz (50%). Les autres hydrocarbures dosés dans les fumées de moteurs sont présents à l'état de traces (jusqu'à quelques dizaines de µg/Nm³ sec pour les composés les plus représentatifs). Le benzène est probablement le composé le plus problématique puisque sa concentration est relativement haute en comparaison avec les autres composés. Les valeurs médiane et moyenne sont très différentes pour la plupart des hydrocarbures. Ces différences traduisent une importante dispersion des concentrations, principalement dans les valeurs élevées. Une explication, au moins partielle, à cette variance élevée réside dans le fait que certaines campagnes de mesures ont été réalisées durant des périodes de tests et/ou de réglage des unités de valorisation. Durant ces périodes, les installations ne fonctionnaient pas, ou pas encore, de manière optimale.

La variance des **valeurs mesurées sur les torchères** est nettement moins grande car, pour ces dernières, peu de paramètres ont un impact significatif sur le rejet. La température de flamme est quasiment l'unique source de différence entre installation et on a éliminé du set de données les résultats de deux campagnes clairement non représentatifs (mesures dans la flamme - et non au-dessus - à Mont-Saint-Guibert en 1999 et mesures sur une torchère provisoire, fonctionnant mal et n'existant plus actuellement, à Froidchapelle en 2000).

Seules 4 valeurs normatives existent en matière de rejets atmosphériques pour des générateurs électriques comme ceux mis en place sur les C.E.T. Ces valeurs limites concernent le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x), les poussières (PM 10) et les hydrocarbures non méthaniques (CxHy). Elles ont été publiées dans les guides méthodologiques allemands (TA-Luft, 2002^[3]) mais jusqu'à présent, n'ont fait l'objet d'aucune législation européenne ou régionale. Par ailleurs, la TA-Luft suggère de donner une liberté plus grande aux installations spécifiquement dédiées à l'utilisation de gaz de décharge. Le Tableau 7 reprend les statistiques de dépassement de ces normes.

Tableau 7 : moteurs - comparaison avec les valeurs normatives

| Paramètres | Norme TA-Luft 2002 | | Nb mes. | Med | Max | Nb val> norme | % non conforme | |
|-------------------|--------------------|---------|---------|-------|------|---------------|----------------|----|
| | V1 >3MW | V2 <3MW | | | | | V1 | V2 |
| CO | 650 | 2000 | 60 | 690,2 | 1171 | 30 | 50,0% | 0% |
| NO _x | 500 | 1000 | 51 | 409,7 | 984 | 13 | 25,5% | 0% |
| Poussières | 100 | 100 | 9 | 2,8 | 5,7 | 0 | 0% | 0% |
| CxHy hors méthane | 150 | 150 | 8 | 5,1 | 9,6 | 0 | 0% | 0% |

On remarque que les dépassements pour les NO_x et surtout le CO sont relativement fréquents si l'on considère la valeur de référence V1 la plus sévère (valable pour les grosses installations). Il n'y a aucun dépassement des normes plus permissives proposées pour les installations de taille plus modeste. La plupart des C.E.T. n'atteignent pas, même en combinant la puissance totale des moteurs, la limite de 3 MW. On peut donc dire que **globalement, les installations du réseau fonctionnent de manière correcte**. Les campagnes les plus récentes ont par ailleurs permis de constater des améliorations nettes sur bon nombre d'installations. Il reste cependant que l'amélioration de la qualité des rejets de ces moteurs doit être considérée, encore aujourd'hui, comme un but à atteindre, notamment dans le cadre des procédures de management environnemental mises en route chez la plupart des exploitants. Du point de vue de la surveillance, la mise en œuvre d'un contrôle plus systématique du paramètre "Hydrocarbures non méthaniques" est un impératif à court terme. L'ISSeP ne dispose en effet que de peu de valeurs, qui semblent néanmoins nettement sous la norme jusqu'à présent.

A titre purement indicatif, le Tableau 8 reprend un comparatif moteur-torchère du point de vue des "rendements de combustion", ce rendement (R_x) pour le composé X étant défini par le rapport suivant, exprimé en pourcents :

$$R_x \equiv 1 - \frac{MED[X]_{fumée} \cdot TD}{MED[X]_{biogaz}}$$

Où TD est le taux de dilution (par entrée d'air pour la combustion) calculé pour la campagne de correspondante sur base des débits mesurés à l'entrée du moteur et dans sa cheminée. Ces taux de dilution sont en général légèrement supérieurs dans les torchères, où la valeur moyenne atteint 7,6 alors qu'elle n'est que de 6,6 dans les moteurs. Mais on observe aussi une plus grande dispersion des valeurs de taux de dilution pour les torchères (TD varie de 4,3 à 11). Dans les moteurs, la fourchette de variation est beaucoup plus réduite (5,4 à 7,6).

Tableau 8 : moteurs et torchères - rendements de combustion

| | Unités | Biogaz | Émissions Moteurs | | | Émissions Torchères | | | M_m/M_t |
|--|---------------------------------------|--------|------------------------------|----------------------|--|--------------------------------|----------------------|----------------------|-----------|
| | | | TD _m moteur = 6,6 | | | TD _m torchère = 7,6 | | | |
| | | | M_b | MED _{mes,m} | MED _{cor,m} | R_m | MED _{mes,t} | MED _{cor,t} | |
| Σ Alcanes | $\mu\text{g}/\text{Nm}^3 \text{ sec}$ | 25353 | 11,5 | 75,8 | 99,70% | 1,24 | 9,4 | 99,96% | 8,04 |
| Σ Alcènes | $\mu\text{g}/\text{Nm}^3 \text{ sec}$ | 8183 | 7,19 | 47,4 | 99,42% | 0,8 | 6,1 | 99,93% | 7,80 |
| Benzène | $\mu\text{g}/\text{Nm}^3 \text{ sec}$ | 1661 | 14,39 | 94,9 | 94,29% | 0,36 | 2,7 | 99,84% | 34,67 |
| BTEX | $\mu\text{g}/\text{Nm}^3 \text{ sec}$ | 33386 | 29 | 191,2 | 99,43% | 2,07 | 15,7 | 99,95% | 12,15 |
| VC | $\mu\text{g}/\text{Nm}^3 \text{ sec}$ | 339 | 0,05 | 0,3 | 99,90% | 0,05 | 0,4 | 99,89% | 0,87 |
| Σ Chlorés | $\mu\text{g}/\text{Nm}^3 \text{ sec}$ | 1739 | 3 | 19,8 | 98,86% | 0,5 | 3,8 | 99,78% | 5,20 |
| Légende | | | | | | | | | |
| M_b médiane des concentrations dans les biogaz | | | | | | | | | |
| $M_{mes,m}$ médianes des concentrations mesurées dans les fumées de moteurs (donc "après dilution") | | | | | $M_{mes,t}$ médianes des concentrations mesurées dans les fumées de torchères (donc "après dilution") | | | | |
| $M_{cor,m}$ médianes des concentrations corrigées pour les fumées de moteurs (donc "avant dilution") | | | | | $M_{cor,t}$ médianes des concentrations corrigées pour les fumées de torchères (donc "avant dilution") | | | | |
| R_m rendement de combustion médian des moteurs | | | | | R_t Rendement de combustion médian des torchères | | | | |

Dans un premier temps, pour simplifier, on a utilisé les taux de dilution moyen, respectivement des moteurs et des torchères pour calculer les rendements individuels des différents composés surveillés. L'Annexe 3 en fournit une liste complète, seuls les principaux sont repris au Tableau 8. Ce dernier montre que la combustion dans les moteurs élimine en moyenne plus de 94 % du benzène, plus de 98 % des hydrocarbures chlorés (DCM, DCA et TCA étant les plus "récalcitrants" : voir annexe 3) et au moins 99 % des autres hydrocarbures dosés. Au niveau des torchères, comme pour le méthane, les rapports de concentrations "sortie/entrée" peuvent être considérés comme négligeables. Les rendements de combustion mesurés sont en moyenne supérieurs à 99 % quel que soit le composé. Ces valeurs sont entre de 1 à près de fois supérieures à celles des moteurs en fonction des composés). Ce résultat est logique puisque la température de flamme est très supérieure dans une torchère), ce qui diminue les quantités d'imbrûlés. Mais cet avantage apparent de la torchère ne doit pas oblitérer le fait que le moteur permet de valoriser la combustion en électricité, là où la torchère détruit simplement le gaz.

Il est intéressant de constater que le benzène est très nettement le composé le plus problématique pour les moteurs alors que, pour les torchères, cette "récalcitrance particulière" est moins nette. Cela se traduit par une très forte différence de rendement entre torchères et moteurs pour ce paramètre. Par ailleurs, le chlorure de vinyle est le composé qui présente la plus faible différence de rendement entre torchères et moteurs.

L'ISSeP n'a pas encore réalisé de recherche pour tenter d'expliquer la cause de ces deux dernières observations.

8 EMISSIONS SURFACIQUES DE BIOGAZ

8.1 Méthodologie

8.1.1 Méthode et stratégie d'échantillonnage

Une manière simple et efficace d'appréhender l'intensité des émissions de biogaz à la surface des zones d'enfouissement est le quadrillage systématique du site à l'aide d'un détecteur de méthane à haute sensibilité, la mesure se faisant à fleur de sol.

Il s'agit de réaliser, selon un maillage plus ou moins régulier, des mesures semi-quantitatives in situ de la concentration en méthane et/ou en CO₂ dans l'air qui s'échappe à la surface des zones réhabilitées et des zones en exploitation. Ces mesures sont prises au moyen d'appareils portatifs, équipés de sondes spécifiques et adaptés au travail sur site. Les valeurs mesurées sont géoréférencées simultanément puis traitées statistiquement afin de visualiser les zones de dégazage préférentiel.

L'expérience engrangée au fil du temps ainsi que l'acquisition progressive de matériel de plus en plus performant a fait évoluer la stratégie d'échantillonnage à plusieurs points de vue :

- **Du point de vue de la localisation et de la répartition spatiales des points de mesures**
 - Jusqu'en 2004, l'ISSeP ne possédait pas d'appareil GPS permettant de positionner de manière exacte, chaque point de mesure individuellement. On procédait alors à un quadrillage (mailles carrées) tracé physiquement sur le terrain (cordeau) et dont on callait la position par rapport à des points de repère connus (puits de dégazage, bornes topographiques, ...). La position absolue des points de mesure n'était donc, au final, connue que de manière approximative.
 - De 2004 à 2005, un maillage théorique (toujours carré) était réalisé et les points de ce maillage étaient implantés sur site au moyen d'un GPS de précision. En fonction des observations, il était possible d'ajouter des points a posteriori en profitant de la souplesse de l'implantation par GPS.
 - Depuis 2006, les points de prélèvement sont positionnés avec le même GPS selon un maillage de densité "uniforme" par zone, dont la forme et la taille des mailles s'adapte en fonction de la topographie des zones d'enfouissement et de la "connaissance a priori" du site (zones émissives détectées antérieurement, présence de puits de dégazage, de limites de cellule, de ruptures de pentes, d'observation sur le terrain...). En particulier, des points de mesures sont systématiquement ajoutés lorsqu'une zone émissive est détectée afin de mieux la caractériser et de la délimiter avec plus de précision.
- **Du point de vue de la valeur prise en compte pour l'interpolation**
 - Jusqu'en 2007, les valeurs prises en compte pour le traitement géostatistique étaient des moyennes de 3 à 5 mesures prises tout autour de chaque point. Cette manière de travailler n'ayant pas de réelle justification scientifique ou technique a été abandonnée.
 - Actuellement, chaque point positionné au GPS fait l'objet d'une seule mesure.

Des travaux, en collaboration avec des experts de l'INERIS (Institut National français de l'Environnement industriel et des RISques), d'EPHESIA-Consult et de KIDOVA, sont en cours depuis 2008 afin d'encore améliorer et de fixer définitivement un protocole de surveillance optimal. Ces travaux visent notamment à régler le temps et les paramètres d'acquisition du système de mesure (débit et durée du pompage, hauteur de l'embout d'aspiration par rapport à la surface, taille de la cloche d'intégration,...). Mais le but principal de ces développements consiste à coupler les mesures de concentrations, réalisées en grand nombre, donc en forte densité, avec des mesures de flux, moins nombreuses mais donnant accès à une quantification directe des émissions de biogaz. La pertinence de ce couplage réside dans la recherche d'une relation empirique entre mesures de flux et de concentration, et à la détermination des paramètres significatifs régissant sa validité.

8.1.2 Appareils de mesures

Pour la mesure du méthane, l'ISSEP travaille depuis 1999 avec un appareil portable à ionisation de flamme (FID) – PORTAFID M3K. Ce détecteur est muni d'une pompe de prélèvement intégrée, reliée par un système en téflon à une canne ventouse de prélèvement appliquée directement sur le sol. Initialement, la gamme de concentrations mesurables variait de 0 à 14.000 ppm. L'appareil a ensuite été calibré de manière spécifique pour augmenter sa précision dans les faibles concentrations. Ce qui a eu pour conséquence une réduction de sa valeur maximale de mesure à 10.000 ppm.

Pour la mesure du méthane dans les hautes concentrations, du CO₂ et de l'O₂, l'ISSEP utilise un ECOPROBE 5, appareil portable multicanaux, qui possède les caractéristiques suivantes :

- CH₄, TP et CO₂ : par IR → gamme de mesure : de 50-70 (théorique) à 500.000 ppm ;
- O₂ : par paramagnétisme → gamme de mesure : 0 - 100 % ;
- COV : par détecteur PID* → gamme de mesure : de 0,1 à 4.000 ppm.

*Photo-Ionisation Detector

L'appareil dont dispose l'ISSEP a été modifié par le constructeur pour réduire le seuil de détection des canaux CH₄ et TP entre 50 et 100 ppm. En pratique sa limite de quantification est aux alentours de 300 ppm. L'avantage de cet appareil est double : non seulement il permet de mesurer plusieurs paramètres en même temps, mais il mesure également les hautes concentrations, notamment pour le méthane.

Depuis 2008, les campagnes de surveillance des émissions surfaciques sont peu réalisées avec mesures FID et ECOPROBE simultanées sur chaque point.

Pour les mesures de flux, autrement dit de la quantité de biogaz émise par unité de surface et par unité de temps au travers de la couverture des C.E.T., l'ISSEP dispose, depuis 2008, du système breveté par l'INERIS (Institut National français de l'Environnement industriel et des RISques). Il s'agit d'une chambre normalisée en plexiglas dite "chambre d'accumulation" munie de plusieurs entrées-sorties de gaz (Son volume est d'environ 0,03 m³, pour une emprise au sol de 0,25 m²). Posée sur le sol, la chambre collecte et accumule les biogaz qui s'échappent de la couverture superficielle du C.E.T. au travers d'une section normalisée. La concentration C en biogaz dans la chambre dont le volume est connu est mesurée en continu. Après avoir été analysé, le gaz est réinjecté dans la chambre et homogénéisé par une hélice. Dans ces conditions particulières, la pente à l'origine de la courbe représentant la concentration en fonction du temps n'est autre que le flux de biogaz au travers de l'interface "C.E.T./chambre".

L'implantation des points de mesure, que ce soit par chambre de flux ou via les détecteurs portables, est assurée par un GPS Trimble 5700 dont la précision est topographique (cm).

8.1.3 Méthodes de traitement des données

Jusqu'à aujourd'hui, les résultats des mesures de concentrations sont traités par une méthode géostatistique appelée "krigeage linéaire".

Cette méthode permet d'estimer la valeur d'un paramètre en tout point du site à partir des valeurs de ce paramètre mesurées sur des points proches. Cette estimation géostatistique part du principe que chaque point de mesure est influencé à plus ou moins grande distance par ses voisins. La précision de l'estimation en un point est d'autant meilleure que les points de mesures sont nombreux et proches du point d'estimation. Dans les zones où, pour des raisons techniques, la densité des mesures est plus faible (zones de versage, zones inaccessibles, bordures de casiers, zones humides,...), les valeurs sont estimées avec une erreur plus importante. Le résultat d'un krigeage est une matrice qui donne, en tout point du site, la valeur la plus probable du paramètre. On peut dès lors construire la fonction $S(2)_p = f(x,y)$ donnant en tout point (x,y) la valeur la plus probable du paramètre. Pour représenter graphiquement la

manière dont varie le paramètre dans l'espace, on définit des classes de valeurs. En trois dimensions, ces classes sont donc des surfaces séparées par des courbes d'iso-valeurs, le long desquelles la valeur la plus probable du paramètre est constante. Au moyen d'un logiciel de cartographie, ces courbes peuvent être projetées, en surimpression d'un fond de plan, en appliquant un code couleur pour chaque classe. En appliquant cette technique aux concentrations en CH₄ et en CO₂, il est possible de visualiser les zones caractéristiques, en particulier celles où le dégazage est plus intense qu'ailleurs.

Tant qu'à présent, le but principal de ces cartes est l'identification et la localisation des zones à plus fort dégazage. Elles permettent de guider l'exploitant dans ses actions correctrices, à savoir d'éventuelles modifications de couverture sur les zones réhabilitées ou l'implantation de puits supplémentaires de dégazage en zones réhabilitées ou exploitées.

La réalisation de cartes similaires à partir des mesures directes d'émission pour estimer les quantités de biogaz émises vers l'atmosphère constitue le but ultime des travaux de recherche en cours. Il s'agira de traiter simultanément les valeurs de concentration et de flux par des méthodes d'interpolation conjointe (co-krigeage). On obtiendra alors des cartes de flux dont l'intégration sur tout le domaine du C.E.T. fournira, par unité de temps, la quantité de biogaz émise par la totalité de la surface du C.E.T.

8.2 Campagnes

Le Tableau 9 présente l'historique complet des campagnes de mesure des émissions surfaciques déjà réalisées sur les différents C.E.T. depuis 1999.

Tableau 9 : historique des campagnes de mesures d'émissions surfaciques réalisées par l'ISSeP

| | MSG | HAL | CAB | FRO | BEL | CRO | BEA | CHA | TEN | HAB | MAL | MOR |
|----------------|--|-----|-----|------|-----|------|---------------|---------------|-----|---------------|------------|------------|
| 1999 | MCA | MCA | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2000 | - | - | MCA | MCA | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | DLat | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2001 | MCA | - | - | - | MCA | MCA | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | DLat | - | - | - | - | - | - |
| 2002 | - | MCA | MCA | - | - | DLat | MCA | - | - | - | - | - |
| 2003 | - | - | - | MCA | MCA | DLat | - | - | - | - | - | - |
| 2004 | - | - | MCE | - | - | DLat | MCA | MCE | MCE | - | - | - |
| 2005 | MCE | - | - | - | - | MCE | - | MCE | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | DLat | - | - | - | - | - | - |
| 2006 | - | MUE | - | - | - | DLat | - | MUE | - | MUE | MUE | MUE Eco |
| 2007 | - | - | MUE | MUE | - | DLat | - | - | - | - | - | - |
| 2008 | - | - | - | - | - | DLat | MUE Eco-cf | - | - | - | - | - |
| 2009 | MUE Eco-cf | - | - | - | - | DLat | - | MUE Eco-cf | - | MUE Eco-cf | MUE Eco | - |
| Légende | | | | | | | | | | | | |
| MCA | Détection des émissions surfaciques selon un maillage carré approximatif | | | | | | | | | | | |
| MCE | Détection des émissions surfaciques selon un maillage carré exact (GPS) | | | | | | | | | | | |
| MLE | Détection des émissions surfaciques selon un maillage uniforme par zone et exact (GPS) | | | | | | | | | | | |
| DLat | Détection de fuite latérale de biogaz par ceinture de puits | | | | | | | | | | | |
| Eco | Campagne combinée FID-Ecoprobe5 | | | | | | | | | | | |
| cf | Campagne intégrant des mesures de flux au moyen de la chambre Inéris | | | | | | | | | | | |

Sans tenir compte de la surveillance régulière sur les puits de gaz périphériques à Cronfestu, 30 campagnes de détection des émissions surfaciques ont d'ores et déjà été réalisées jusqu'à

aujourd'hui sur l'ensemble du réseau. Cela correspond, en moyenne, à environ 3 campagnes par an. Tous les sites ont fait l'objet d'au moins une campagne complète et, sur certains d'entre eux, jusqu'à 4 campagnes successives sont disponibles pour étudier l'évolution temporelle à long terme de la situation.

8.3 Résultats

Le Tableau 10 donne un aperçu des résultats obtenus au fil des campagnes. Il reprend le nombre de campagnes réalisées sur chaque C.E.T, le nombre de points de mesures utilisés durant la dernière campagne en date ainsi que les proportions de surfaces calculées en fonction de l'intensité des concentrations mesurées. On peut qualifier arbitrairement de "très émissives" les zones à la surface desquelles la concentration en méthane dépasse 500 ppm, de "peu émissives", celles où cette concentration est entre 100 et 500 ppm et de "non émissives", celles où le méthane ne dépasse pas 100 ppm. Il est alors possible de calculer pour chaque C.E.T. les superficies relatives de ces différentes zones. Des lettres de A à L en lieu et place des abréviations de C.E.T. ont été utilisées pour éviter la tentation de comparer les performances des différents sites entre eux, ce qui sort des objectifs de ce rapport. Les chiffres ont été calculés en hectares sur base des cartes d'isoconcentrations réalisées lors de la dernière campagne en date sur chaque C.E.T. Ces valeurs sont indicatives puisque, comme mentionné plus haut, elles sont tirées de courbes calculées aux moyens de techniques de géostatistique qui font, depuis 2008, l'objet de travaux d'optimisation. Elles seront, bien entendu, remises à jour lorsque la méthodologie optimale aura été définie et que chaque site aura fait l'objet d'une campagne avec la nouvelle stratégie. Il sera alors, et alors seulement, possible de fournir en plus des mesures de surfaces émissives, des évaluations des flux de méthane. En attendant, les valeurs actuelles donnent une image "instantanée" de l'étendue totale de zones émissives et, surtout, offrent une possibilité de suivre d'année en année l'évolution de ces dernières. Cela permet notamment de mesurer l'impact des actions correctrices prises par les exploitants et/ou de l'évolution de la maturation des déchets et/ou encore des variations de niveau d'activité sur les sites.

Tableau 10 : statistiques sur les émissions surfaciques à l'échelle du réseau

| | aire totale (ha) | Nb. de campagnes | Nb. de pts dernière campagne | aire non émissive ¹ (ha) | aire peu émissive ² (ha) | aire très émissive ³ (ha) |
|---|---------------------|---------------------|------------------------------------|---|---|--|
| A | 9,0 | 2 | 250 | 9,0 | 0,0 | 0,0 |
| B | 23,5 | 3 | 830 | 15,7 | 2,5 | 5,3 |
| C | 4,1 | 4 | 380 | 3,6 | 0,4 | 0,1 |
| D | 17,5 | 2 | 470 | 16,7 | 0,6 | 0,2 |
| E | 11,8 | 3 | 350 | 9,8 | 0,6 | 1,4 |
| F | 13,3 | 3 | 500 | 8,2 | 1,8 | 3,4 |
| G | 17,2 | 3 | 665 | 11,0 | 2,2 | 3,9 |
| H | 1,2 | 1 | 200 | 0,1 | 0,2 | 0,9 |
| I | 8,5 | 3 | 667 | 6,0 | 1,0 | 1,5 |
| J | 1,9 | 2 | 125 | 1,7 | 0,1 | 0,1 |
| K | 32,5 | 4 | 747 | 29,9 | 1,7 | 0,9 |
| L | 14,0 | 2 | 800 | 11,2 | 1,8 | 1,0 |
| Moyenne | 12,87 | 3 | 499 | - | - | - |
| TOTAL | 154,43 | 32 | 5984 | 122,8 | 13,0 | 18,6 |
| Proportions de la surface totale | | | | 79,55% | 8,39% | 12,06% |

¹ Concentration en méthane < 100 ppm

² 100 ppm < Concentration en méthane < 500 ppm

³ Concentration en méthane > 500 ppm

Au Tableau 10 on voit que le nombre de points de prélèvement varie, en fonction de la taille des sites et de la proportion de zones réhabilitées, de 125 à plus de 800 points. Cela représente, pour l'ensemble du réseau, près de 6.000 points de mesure avec une moyenne de 500 points par site.

Sur la totalité des 154 ha que couvrent les 12 C.E.T surveillés, la grande majorité de la surface est non émissive (124 ha soit 80 %). Les zones peu émissives cumulées n'atteignent que 10 ha, soit moins de 10%. Enfin, les 19 ha qui restent (12% environ) peuvent être qualifiés de "très émissifs". L'avenir, via les résultats des travaux d'optimalisation, dira si ces quelques pourcents de zones très émissives contribuent majoritairement ou non à l'émission globale vers l'atmosphère ou si les zones peu émissives apportent une contribution significative au flux total. Parmi les améliorations à envisager, on notera notamment le problème suivant : lorsque l'on examine attentivement les tracés des contours sur les différents plans publiés dans les rapports de campagne, la proportion relative entre zones très émissives et peu émissives semble surévaluée en raison d'une trop faible densité de points de mesure à proximité de certains points très émissifs. Ce problème est surtout présent sur les plans de campagnes les plus anciennes où les méthodes d'adaptation de la taille des mailles en fonction des observations n'étaient pas encore effectives.

Par ailleurs, les cartes d'isoconcentrations publiées au fil des ans par l'ISSeP ont souvent été utilisées par les exploitants. La localisation de points de faiblesse dans les couvertures ou de zones moins bien drainées par les puits de récupération des gaz permet de pointer les améliorations possibles dans le processus de confinement et de valorisation du biogaz. Certains travaux de couverture additionnelle ou de forages de puits complémentaires ont ainsi été initiés et/ou guidés par ces cartes. Les résultats de ces actions ont ensuite pu, ou pourront être, évalués via les campagnes de surveillance ultérieures.

Enfin, par l'expérience acquise durant les 10 ans de surveillance, deux observations ont pu être faites :

- Les pentes abruptes, les ruptures de pente en bas et en sommet de talus et les jonctions entre cellules sont souvent le siège d'un dégazage plus intense qu'ailleurs. Ces fuites sont notamment les conséquences de la difficulté technique de mettre en œuvre dans ces zones une étanchéité correcte et/ou d'y implanter des puits de dégazage performants. Des chemins préférentiels de circulation de biogaz s'y développent, créant en surface des "points chauds". La présence de contraintes mécaniques plus importantes au sein d'un talus abrupt joue probablement aussi un rôle, en augmentant la perméabilité du matériau (microfissures notamment).
- Sur de nombreux sites, les abords immédiats des puits de dégazage constituent également des "points chauds". Cette observation démontre qu'il est extrêmement délicat d'implanter des puits de dégazage: si l'étanchéité sommitale des puits est mal assurée, il n'est pas rare que la colonne de massif filtrant installée autour des puits devienne également une voie de dispersion non contrôlée de biogaz.

9 EVALUATION DES NUISANCES OLFACTIVES

9.1 Méthodologie générale - les "tours odeurs"

Depuis 2000, les études de nuisances olfactives générées par les C.E.T. du réseau sont intégralement confiées à l'Université de Liège, Département des Sciences et de Gestion de l'Environnement (unité Surveillance de l'Environnement du Professeur Nicolas).

La méthode se base sur l'établissement, par des mesures qualitatives sur site, d'une dizaine de "**courbes de perception olfactive**" correspondant chacune à un jour d'observations, et à partir desquelles un débit d'odeur moyen est estimé. Ce débit est ensuite utilisé avec le climat annuel moyen pour délimiter des "**zones de nuisances**". Il s'agit de périmètres à l'intérieur desquels une odeur d'intensité définie (habituellement $1 \text{uo}/\text{m}^3$ correspondant au seuil de perception olfactive) est statistiquement perçue à une fréquence donnée (habituellement plus de 2 % du temps = percentile 98). Un choix méthodologique primordial consiste à ne considérer que l'odeur de déchets frais et/ou l'odeur résultant d'une activité particulière au C.E.T. telle qu'un centre de compostage y attendant (*cf* C.E.T. de Habay-la-Neuve et de Tenneville) et/ou l'odeur générée par les rampes d'aspersion de produits neutralisants ou désodorisants (*cf* C.E.T. de Hallembaye, de Cour-au-Bois et Champ de Beaumont).

9.1.1 Courbes de perception olfactive

Les courbes de perception olfactive sont tracées à partir de mesures relevées par un panel d'observateurs-experts qui parcourent en équipe la région affectée par la pollution olfactive ("tours odeurs"). Dans un premier temps, chaque observateur se déplace en zigzagant au travers du panache d'odeur, en général perpendiculairement à la direction du vent. Il note les endroits exacts où il ne perçoit plus l'odeur de la source. Chaque tour odeur dure une à deux heures. Des points "odeur" et des points "non-odeur" sont ainsi identifiés et positionnés sur une carte, en intégrant la moyenne des observations. Les points "odeur" sont ceux où une odeur émanant du C.E.T. est perçue au moment du passage de l'opérateur, parfois furtivement, mais confirmée par un second, voire un troisième passage. Un point "non odeur" n'est valide qu'après plusieurs passages durant la même période de mesures, confirmant l'absence d'odeur.

Les tours odeurs sont étalés dans le temps et si possible réalisés lors de différentes conditions de climat et d'exploitation. Durant chaque période, les données météorologiques sont enregistrées (vitesse et direction du vent, humidité relative, température et radiation solaire). Chaque période ou tour odeur sera donc défini(e) par une date et un intervalle horaire, et caractérisé(e) par les paramètres météorologiques enregistrés.

Les résultats de chaque tour odeur sont introduits individuellement dans un modèle de dispersion bi-gaussien. La simulation vise alors à ajuster itérativement le débit d'émission d'odeur jusqu'à ce qu'il produise, dans les conditions météorologiques du moment, une courbe de perception calculée la plus proche possible de celle observée sur le terrain. A chaque tour odeur sont ainsi associés une et une seule courbe de perception olfactive et un débit d'émission caractéristique du jour où le tour odeur a été réalisé.

9.1.2 Principe "worst case"

L'expérience montre que la principale cause d'émission de mauvaises odeurs est la manipulation des déchets. Or, celle-ci n'est effective que quelques heures durant la journée, lorsque le C.E.T. est en activité. C'est pourquoi les tours odeurs sont toujours effectués en période d'activité du C.E.T.

Par ailleurs, en raison notamment du relief accidenté aux alentours de certains C.E.T., les odeurs de déchets frais (ou autres lorsque tel est le cas) ne sont ni continues dans l'espace, ni constantes dans le temps. Elles peuvent survenir par bouffées et ne permettent pas toujours de définir

rigoureusement une zone de perception. Un point où une odeur est perçue par bouffées est systématiquement indiqué comme point "odeur".

De ces deux choix méthodologiques, il résulte que, conformément aux principes de précaution des études environnementales, **la nuisance évaluée correspond à la pire des situations que l'on extrapole à une année entière, avec des zones de nuisances qui sont par conséquent systématiquement surévaluées.**

9.1.3 Zones de nuisances

Une fois que suffisamment de tours odeurs ont été réalisés et que les débits caractéristiques correspondants ont été ajustés, le débit d'odeur typique du site est calculé (moyenne arithmétique des débits caractéristiques). Ce débit typique est introduit une nouvelle fois dans le modèle de dispersion en utilisant le "climat moyen" de la station du réseau synoptique de l'IRM la plus proche du C.E.T. Ce climat moyen est un ensemble d'occurrences de combinaisons de vitesses de vent, de directions de vent et de classes de stabilité, basé en général sur une trentaine d'années d'observations. Cette modélisation permet de calculer des "zones de nuisances", aux approximations près dues à l'utilisation du climat moyen et aux limitations du modèle. Il s'agit de périmètres à l'intérieur desquels un riverain est soumis à une odeur d'intensité égale ou supérieure à I (uo/m³) durant plus de X % du temps, la valeur X étant égale à 100-P avec P le percentile d'occurrence d'odeur.

Par exemple, en fixant I = 1 uo/m³ (concentration d'odeur à la limite de perception du nez humain moyen) et X = 2 (c'est-à-dire P = 98), on peut calculer la **courbe de percentile 98 à 1uo/m³**. Il s'agit d'une zone à l'intérieur de laquelle l'odeur est détectable par un nez humain moyen pendant plus de 2% du temps (soit 175 heures sur l'année).

L'utilisation de cette courbe de percentile 98 à 1 uo/m³ comme estimateur de la zone de nuisances est une recommandation du Ministère néerlandais de l'Environnement, tout au moins pour les entreprises existantes. Plusieurs pays européens et le Canada se dirigent également vers une réglementation proche de cette norme néerlandaise. En l'absence d'une réglementation belge définitive concernant les odeurs, l'ULg suit ce même principe dans ses rapports.

De récents résultats tendraient cependant à démontrer que le niveau de nuisance pour une odeur de déchets n'est pas égal au seuil de perception (1 uo/m³) mais serait proche de 5 fois ce seuil. A nouveau, l'utilisation du P98 à 1 uo/m³ va donc dans le sens du principe de précaution.

9.2 Etudes complémentaires optionnelles

Au cours d'une campagne de mesure des odeurs, d'autres approches peuvent être utilisées conjointement à la méthode générale décrite plus haut. Elles sont en général complémentaires. La décision de les mettre en œuvre ou non dépend des caractéristiques spécifiques du site et de son environnement et/ou des résultats obtenus par la méthode générale.

Dans le cadre du réseau de contrôle, l'ULg a déjà réalisé les compléments d'enquête suivants :

- caractérisation physico-chimique d'"échantillons d'odeurs" ;
- étude de l'influence des conditions météorologiques ;
- modélisation tridimensionnelle de la dispersion des odeurs sous l'influence du relief ;
- adaptation de la méthodologie pour les sites combinés "enfouissement - compostage" ;
- évaluation de la concentration d'odeur par olfactométrie dynamique ;
- enquêtes auprès des riverains.

Ces différentes études complémentaires sont décrites de manière détaillée ci-dessous.

9.2.1 Analyses physico-chimiques sur "échantillons d'odeurs"

Un appareil de prélèvement d'air est placé à proximité immédiate de la zone de déversement dans le but d'identifier les principaux composés chimiques générés par les déchets.

Les prélèvements sont réalisés simultanément sur deux cartouches adsorbantes, l'une en Tenax, particulièrement adaptée au piégeage des composés dont le nombre d'atomes de carbone est supérieur à 6 et l'autre en Tenax/Spherocarb, pour adsorber les plus petites molécules comportant de 3 à 6 atomes de carbone (notamment le benzène). L'air ambiant est prélevé, par temps sec, à deux mètres de la zone exploitée, en léger contrebas par rapport au niveau des déchets et "sous le vent", pendant qu'ils sont déversés et étalés. Ce prélèvement est donc représentatif non pas uniquement de l'émission des déchets mais bien de l'ensemble des émissions, y compris celles des engins travaillant sur la zone.

Les analyses sont généralement effectuées au laboratoire d'Arlon, au moyen d'un chromatographe en phase gazeuse (GC) couplé à un spectromètre de masse (MS), par thermo-désorption (TD) des composés piégés dans les cartouches (analyse TD-GC-MS). La technique d'analyse utilisée ne permet cependant pas d'identifier deux molécules souvent responsables des odeurs, à savoir l'ammoniac (NH_3) et le sulfure d'hydrogène (H_2S). C'est pourquoi, complémentairement aux analyses TD-GC-MS, des tubes colorimétriques Dräger sont parfois utilisés (Monceau-sur-Sambre), en particulier pour H_2S (limite de détection : 200 ppm) et NH_3 . Les analyses réalisées au laboratoire d'Arlon sont semi-quantitatives, c'est-à-dire que les divers composés ne sont pas dosés mais ils sont identifiés et leur abondance relative est calculée.

Cette technique a d'ores et déjà été utilisée pour les dernières études sur les C.E.T. de de Mont-Saint-Guibert, Tenneville, Beaumont, Habay-la-Neuve et Malvoisin.

9.2.2 Influence des conditions météorologiques

Il s'agit d'utiliser un algorithme permettant d'estimer la classe de stabilité du climat pendant la durée des observations et de mesurer l'influence de ces classes sur la quantification du flux d'odeur.

La méthode se base sur la mesure de la radiation solaire (en W/m^2) et de la vitesse du vent (en m/s). Les valeurs correspondant à ces deux variables sont classées en intervalles de valeurs. Chaque classe de stabilité est définie par des croisements d'intervalles de radiation solaire et de vitesse du vent (selon le schéma de Pasquill) et est applicable durant la journée.

Par exemple, l'étude réalisée par l'ULg à Mont-Saint-Guibert en 2005 a permis de constater qu'entre les valeurs extrêmes de classes de stabilité, le débit d'odeur estimé peut être multiplié par un facteur proche de 30.

9.2.3 Etude tridimensionnelle et effets du relief

Dans ces études intégrant une modélisation tridimensionnelle, l'ULg donne une liste non exhaustive d'effets possibles du relief sur la direction et la vitesse des déplacements d'air, et donc sur la forme et la taille du panache d'odeurs. Pour une description complète de ces effets, le lecteur consultera, par exemple les pages 29 à 32 de l'annexe 7 du rapport de campagne du C.E.T. d'Hallembaye (2006).

En résumé, l'ULg propose de retenir que le relief, et particulièrement les obstacles, peuvent parfois fortement influencer la propagation du panache de manière locale. Néanmoins, à l'échelle de travail d'une étude sur un C.E.T., c'est-à-dire sur une zone s'étendant de 1 à 4 km environ autour de la source, les effets très locaux, comme la perturbation due à un bâtiment, à une haie... peuvent être négligés. L'objectif est en effet de définir une zone globale d'influence. Si la taille de cette zone est importante pour évaluer le nombre de riverains potentiellement gênés, la détermination rigoureuse de sa forme n'est quant à elle pas nécessairement requise. De

très légères variations locales dues à la présence d'obstacles particuliers pourront être assimilées aux imprécisions engendrées par les incertitudes diverses.

Une méthodologie particulière nécessite cependant d'être mise en œuvre lors des tours odeurs lorsque le relief est accidenté. Il s'agit de ne pas se limiter à un seul point "non odeur" pour délimiter le panache, mais de rechercher les odeurs plus en aval en tentant de prédire les effets dus au relief. Cette adaptation requiert essentiellement du bon sens et surtout une longue expérience dans cet exercice des tours odeurs.

Lorsque l'ULg le juge opportun, c'est-à-dire lorsque le relief est particulièrement accidenté ou que les courbes de nuisances calculées par modélisation bi-gaussienne ne "collent" pas suffisamment aux observations, des simulations du panache à l'aide du logiciel IBS Urban peuvent être réalisées. Il s'agit d'un modèle mettant en œuvre des équations de dynamique des fluides et de dispersion atmosphérique très complexes (équations différentielles du transport de chaleur et de matière : Navier-Stokes, Reynold et équation de convection et diffusion). La solution numérique de ce système complet d'équations est évaluée par itération dans un réseau maillé en trois dimensions. Ce modèle est particulièrement complet et est annoncé comme pouvant prendre en compte la turbulence locale autour d'obstacles et la topographie du terrain. Outre pour le C.E.T. de Hallembaye, cette étude 3D a récemment été mise en œuvre lors de la campagne 2008 à Beaumont.

9.2.4 Adaptation de la méthode aux sites mixtes C.E.T. + centre de compostage

Un premier choix méthodologique consiste généralement à ne considérer que l'odeur de déchets frais. Ce choix est justifié par les constatations de terrain : l'odeur principale perçue aux alentours d'un C.E.T. est pratiquement toujours celle générée par les déchets frais, notamment lorsqu'ils sont déversés et remués par les engins de manutention. D'autres odeurs peuvent être également perceptibles : odeurs de biogaz, de lixiviats, de compost... qui sont facilement identifiables et différenciables de l'odeur de déchets frais.

L'expérience des campagnes de mesures confirme que c'est bien l'odeur de déchets qui est la plus présente et la plus gênante (dans l'espace et dans le temps) lorsque l'on s'éloigne un peu des sources spécifiques. En outre, les autres odeurs étant beaucoup plus occasionnelles et souvent dues à des problèmes d'exploitation (fuites dans les réseaux de récupération du biogaz par exemple), il est pratiquement impossible d'en modéliser les émissions. Par ailleurs, elles sont très souvent limitées à l'intérieur même du site.

La situation est un peu différente dans les cas spécifiques des C.E.T. de Habay-la-Neuve et Tenneville. Sur ces sites, l'odeur des centres de compostage attenants aux C.E.T. émerge en général par rapport à l'odeur propre aux déchets mis en décharge. Cette odeur de compost a été prise en compte lors des campagnes de mesure des odeurs, puisqu'il s'agit d'une odeur résultant d'une activité liée à l'exploitation du C.E.T.

9.2.5 Evaluation de la concentration d'odeur par olfactométrie dynamique

L'olfactométrie dynamique permet d'évaluer, selon la norme européenne EN13725, la variable "concentration d'odeur" d'un échantillon prélevé dans un sac. La mesure se fait à l'aide d'un olfactomètre et d'un jury de nez humains dans un local adapté. Les membres du jury sont préalablement testés par rapport à un standard, en l'occurrence du *n*-butanol. La concentration d'odeur d'un échantillon gazeux de substances odorantes est déterminée par présentation de cet échantillon à ce jury en faisant varier la concentration par dilution avec un gaz neutre, afin de déterminer le facteur de dilution correspondant au seuil de détection du jury. Ce dernier est la moyenne géométrique des seuils individuels mesurés pour chaque participant au jury.

La valeur de la concentration d'odeur correspond à ce facteur de dilution. Par exemple, si l'échantillon a du être dilué 1.000 fois pour atteindre ce seuil de détection, sa concentration d'odeur sera, en moyenne pour les membres d'un jury, de 1.000 unités odeur européennes par m³

(uoE/m³). En conséquence, on en déduit également la notion essentielle suivante : 1 uoE/m³ est la concentration d'odeur correspondant à la limite de perception d'un nez moyen pour une odeur donnée.

La mesure est réalisée grâce à un olfactomètre dynamique, appareil de dilution d'échantillons gazeux. Après être mélangé à un flux d'air inodore, le flux d'échantillon dilué avec précision est présenté au jury par l'intermédiaire de masques d'inhalation. Différentes dilutions sont ainsi soumises au jury. La procédure employée dans le cadre de cette étude est de partir d'une dilution élevée, puis de présenter au jury des concentrations croissantes selon une progression géométrique d'ordre 2. La réponse des assesseurs est dite "à choix forcé", c'est-à-dire que chaque personne a le choix entre trois ports de flairage, l'odeur diluée n'étant présente que dans un seul. L'olfactomètre utilisé est l'appareil ODILE de la firme canadienne Odotech.

Le mode de prélèvement consiste à remplir d'air odorant un sac de 60 à 80 litres en tedar. Le sac est placé dans un caisson rigide mis en dépression par une pompe. La prise d'air vers l'ambiance est un tuyau en téflon connecté au sac. Celui-ci se gonfle donc par simple différence de pression, sans contact avec la pompe. La durée du prélèvement généralement est fixée à une dizaine de minutes.

De tels compléments ont récemment été réalisés lors des campagnes à Malvoisin (2007) et à Champ de Beaumont (2008).

9.2.6 Enquêtes par questionnaires auprès des riverains

L'enquête auprès de la population constitue un bon moyen d'investigation pour évaluer la gêne ou la nuisance d'une source d'odeur chez les riverains. Dans ce cadre, il est toutefois essentiel de bien cibler les questions, de manière à obtenir des réponses aussi peu biaisées que possible. Ainsi, il n'est pas inutile de "détourner" l'attention de la personne interrogée, en lui posant des questions sur d'autres types de nuisances, comme la nuisance sonore, et de lui demander de comparer les deux.

C'est le sens de la recommandation allemande VDI 3883 (part 1) "*Effects and assessment of odours, psychometric assessment of odour annoyance*" dont s'inspire l'ULg dans ses études. L'objectif de la VDI 3883 est d'évaluer, en faisant appel aux riverains, l'importance de la nuisance dans une zone géographique donnée et de comparer la nuisance de différentes zones, en vue d'évaluer la situation moyenne. Elle n'a pas pour objectif le suivi continu de la nuisance en fonction du temps. Le questionnaire qu'elle propose porte donc sur la situation générale. La nuisance considérée ici est la nuisance perçue par la communauté sondée. Elle est évaluée par le pourcentage de personnes extrêmement gênées. Le questionnaire-type est constitué d'une quinzaine de questions générales sur le niveau de pollution du quartier (y compris le bruit), les effets de l'éventuelle pollution, la fréquence de celle-ci, le type d'odeur perçue... et d'un volet plus personnel destiné à caractériser les riverains, sous couvert d'anonymat. Le questionnaire proprement dit est accompagné d'une lettre de présentation ou directement proposé aux riverains par voie orale.

L'ULg a mené ce type d'enquête lors des études de Malvoisin et de Cour-au-Bois, toutes deux en 2007.

9.2.7 Riverains vigies

Cette méthode n'a jusqu'à présent été mise en œuvre que sur le C.E.T. de Cour-au-Bois. Il s'agit de confier à des riverains très consciencieux, le soin de consigner à heures fixes et pendant de très longues périodes, leur perception ou absence de perception des odeurs. Dans le cas de Cour-au-Bois, plus de 1.000 observations régulières ont été consignées par les vigies et communiquées périodiquement à l'exploitant.

9.3 Campagnes

Le Tableau 11 recense l'ensemble des campagnes réalisées par le CERTECH (jusqu'en 2001) puis par l'ULg. Au total, 18 études réalisées selon la méthodologie de l'ULg, avec ou sans complément, ont été réalisées. Hormis à Froidchapelle, à Cronfestu, à Belderbusch et à Morialmé, qui sont des sites soit totalement réhabilités donc non générateurs d'odeurs, soit tellement isolés qu'aucun riverain ne peut subir de nuisance, l'ensemble des sites à d'ores et déjà fait l'objet de plus d'une campagne de surveillance. En moyenne, l'ULg se voit confier de 2 à 3 études par an, ce qui permet de revenir sur les sites pertinents tous les 3 ou 4 ans environ.

Tableau 11 : historique des campagnes de nuisances olfactives réalisées depuis 1999

| | MSG | HAL | CAB | FRO | BEL | CRO | BEA | CHA | TEN | HAB | MAL | MOR |
|----------------|---|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-----|
| 1999 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | SP-SD | SP | | | | | | | | | | |
| 2000 | - | - | SP | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2001 | TO | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2002 | - | TO | TO | - | - | - | TO-3D | - | - | - | - | - |
| 2003 | - | - | - | TO | TO | - | - | - | - | - | - | - |
| 2004 | - | - | TO-SD | - | - | - | TO-SD | TO | TO-3D | - | - | - |
| 2005 | TO | - | - | - | - | - | - | - | - | TO-ER | - | - |
| 2006 | - | TO-3D | - | - | - | - | - | TO | - | - | TO-ER | - |
| 2007 | - | - | TO | - | - | - | - | - | - | - | RV-ER | - |
| | - | - | ER-RV | - | - | - | - | - | - | - | SD | - |
| 2008 | - | - | - | - | - | - | TO-3D | - | TO-3D | - | RV-ER | - |
| | - | - | - | - | - | - | SD | - | SD-SP | - | - | - |
| 2009 | TO-ER | - | - | - | - | - | - | - | - | TO/ER | - | - |
| Légende | | | | | | | | | | | | |
| SP | Prélèvement à une source ponctuelle pour analyse olfactométrique | | | | | | | | | | | |
| SD | Prélèvement à une source diffuse (chambre de flux) pour analyses olfactométriques (analyses physico-chimiques ou olfactométrie dynamique) | | | | | | | | | | | |
| TO | Traçage d'odeurs (méthode ULg-FUL) | | | | | | | | | | | |
| 3D | Modélisation 3D de la dispersion des odeurs | | | | | | | | | | | |
| EP | Enquête auprès des riverains par un questionnaire | | | | | | | | | | | |
| RV | Monitoring par un "riverain vigie" | | | | | | | | | | | |

Le Tableau 11 montre clairement les initiatives de plus en plus fréquentes de l'ULg visant à diversifier les techniques mises en œuvre dans le domaine des odeurs au sens large. Les campagnes les plus récentes démontrent clairement l'utilité et la complémentarité des approches. Par exemple, les résultats d'une longue surveillance par des riverains vigies (Cour-au-Bois, 2007) a récemment permis de calibrer, par des observations objectives sur le terrain, les périmètres de nuisances. Ce travail semble montrer, comme cela a déjà été publié dans des articles spécialisés, que le seuil de nuisances réelles - c'est-à-dire la concentration d'odeurs à partir de laquelle les riverains, non seulement perçoivent l'odeur, mais la considèrent comme gênante, n'est pas à 1 uo/m³ mais plutôt proche de 5 uo/m³.

9.4 Résultats

Le Tableau 12 regroupe les statistiques à l'échelle du réseau obtenues à partir des études de l'ULg réalisées sur les différents sites, en ne retenant que la dernière campagne. Les C.E.T réhabilités ne générant plus d'odeur n'ont pas été intégrés au tableau. Pour les autres sites, les noms ont été remplacés par des lettres de A à I de manière à éviter toute comparaison, non pertinente, d'un C.E.T. par rapport à l'autre. La dernière ligne du tableau reprend le total qu'on aurait obtenu en réalisant un état des lieux fin 2007, soit en ne considérant pas les résultats des deux campagnes réalisées en 2008.

Tableau 12 : statistiques sur les nuisances olfactives à l'échelle du réseau

| C.E.T | nb de camp. | dernière campagne | | | | | |
|------------------|-------------|-------------------|----------------|------------------|------------------|------------------------|-------------------------------|
| | | année | débit uo/s | | | périmètre P98 à 1 uo/s | |
| | | | min | moy | max | Distance (m) | Superficie (km ²) |
| A | 3 | 2007 | 60.300 | 78.400 | 105.300 | 1.800 | 5 |
| B | 2 | 2006 | 457.000 | 120.600 | 182.000 | 1.500 | 9,5 |
| C | 1 | 2003 | 9.900 | 39.300 | 69.000 | 1.200 | 3 |
| D | 1 | 2005 | 66.400 | 362.900 | 956.400 | 3.400 | 22,6 |
| E | 2 | 2006 | 102.000 | 148.800 | 200.000 | 1.350 | 5,3 |
| F | 1 | 2007 | 8.000 | 21.800 | 46.800 | 800 | 1,4 |
| G | 3 | 2008 | 21.000 | 78.200 | 155.000 | 1.300 | 4,3 |
| H | 2 | 2005 | 30.600 | 111.100 | 231.840 | 2.000 | 8 |
| I | 3 | 2008 | 65.700 | 127.000 | 429.000 | 1.800 | 6,5 |
| Tot. 2008 | 18 | - | 409.700 | 1.088.100 | 2.375.300 | - | 65,6 |
| Min | 1 | - | 8.000 | 21.800 | - | 800 | 1,4 |
| Moy | 2,0 | - | - | 120.900 | - | 1.700 | 7 |
| Max | 3,0 | - | - | 362.900 | 956400 | 3.400 | 22,6 |
| Tot. 2007 | 16 | | 355.200 | 1.203.100 | 3.656.300 | | 76,9 |

Afin d'évaluer l'impact global en matière de nuisances olfactives de tous les C.E.T. réunis, les débits des dernières campagnes en date ont été additionnés pour obtenir un débit total. La même opération a été réalisée pour les superficies des zones de nuisances, ce qui permet d'estimer l'étendue cumulée des zones de nuisances olfactives générées par les C.E.T. de classe 2 pour l'ensemble de la Région wallonne.

On observe de cette manière que le débit cumulé varie de 410.000 à 2.400.000 unités odeur par seconde. Le débit cumulé moyen s'établit à environ 1.100.000 uo/s. Par C.E.T., la valeur moyenne générale d'émission d'odeur s'établit à environ 121.000 uo/s (valeur pondérée par les nombres de journées de mesures). Cependant, la variabilité de ce débit moyen par site est très importante (de 22.000 à plus de 360.000 uo/s). L'étendue de cette gamme de variation est somme toute logique : les sites sont très différents en termes de volume d'activité mais également en fonction de la présence, sur certains d'entre eux, d'activités annexes qui contribuent à l'émission d'odeurs (centres de compostage, sécheur de boues, containers, ...).

A propos de ce dernier point, des améliorations récentes apportées au mode de gestion des centres de compostage de Tenneville et Habay (arrêt des retournements d'andains) ont permis de diminuer les débit d'odeurs générés par ces derniers. Cependant, seul le site de Tenneville à d'ores et déjà fait l'objet d'une campagne "post-amélioration", avec une diminution moyenne des émissions d'environ 165.000 uo/s. La campagne à Habay est en phase terminale et devrait probablement montrer une amélioration du même ordre de grandeur. Si l'on ajoute à cela la fermeture récente du site de Malvoisin et la diminution des activités à Froidchapelle, on peut raisonnablement affirmer que le niveau moyen du débit d'odeurs total généré par l'ensemble des C.E.T. du réseau est en nette décroissance depuis deux ans.

Etonnamment, le lien entre la taille des C.E.T. et l'étendue des zones de nuisances (périmètres P98) n'est pas toujours très net. Par contre, il est clair que les sites mixtes compostage/C.E.T. génèrent un flux d'odeur combiné plus important et donc des zones de nuisances plus étendues que les C.E.T. classiques. Les études de l'ULg ont également permis de démontrer, sur plus d'un site, que les rampes d'aspersion de produits neutralisants ou masquants, avaient pour effet d'augmenter les distances de perception d'émanations odorantes. Par exemple, les chiffres repris dans le Tableau 12 pour le C.E.T. de Beaumont n'intègrent que les flux d'odeurs de déchets frais. Si on considère que l'odeur de produits masquants est également gênante (notion subjective), on aurait, à Beaumont comme sur d'autres sites, des chiffres significativement plus élevés (jusqu'à + 60 % en débit et + 80 % en surface de zone de nuisances). Le choix de ne pas considérer cette source olfactive s'appuie sur le constat suivant : l'utilisation des rampes d'aspersion a pour effet de diminuer le nombre de plaintes et non de les augmenter. Ce constat semble démontrer par la pratique que l'effet des substances vaporisées dans l'air par les exploitants est bel et bien d'atténuer la nuisance et non de l'aggraver.

Les derniers constats intéressants mis en évidence par les chiffres globaux du Tableau 12 concernent l'étendue des zones de nuisances. La distance maximale de propagation des odeurs n'excède 2 km que dans de très rares cas. L'étendue totale du territoire que l'on peut qualifier de "potentiellement atteint" par des nuisances olfactives est de l'ordre de 65 km², soit à peine 0,4 % de la Wallonie. En pondérant ce résultat par la densité de population, nettement inférieure à la moyenne wallonne aux alentours des C.E.T., on obtient une fraction encore plus faible en termes de proportion de la population gênée par les odeurs.

10 "QUALITÉ DE L'AIR" - ANALYSES D'AIR EXTÉRIEUR

10.1 Contrôles par prélèvements directs

Entre 1999 et 2001, des campagnes de prélèvement ont été réalisées à l'aide d'échantillonneurs automatiques sur tubes à phases spécifiques Carbotrap. Les composés adsorbés, par période de 24 heures, sont ensuite désorbés thermiquement en laboratoire et analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la détection par spectrométrie de masse. Cela permet de doser les hydrocarbures volatiles, notamment les BTEX et les hydrocarbures chlorés.

Récemment (Cour-au-Bois, 2007), une campagne de plus grande ampleur a été organisée selon un protocole légèrement modifié. Les échantillons ne sont plus prélevés sur 24 heures au moyen de pompes mais diffusés lentement durant une longue période, au travers de tubes, dit "passifs".

10.2 Surveillance par laboratoires mobiles

Depuis 1999 et encore actuellement, la qualité de l'air atmosphérique dans l'environnement proche des C.E.T. est étudiée via l'installation de laboratoires mobiles durant une période suffisante (plusieurs mois) et à des emplacements judicieusement choisis. Ces cabines sont équipées de moniteurs analytiques permettant des analyses en continu de plusieurs paramètres ; l'une d'entre elles dispose par ailleurs d'une station météorologique.

Mise en place des laboratoires

En général, ces mesures sont au moins réalisées en deux points situés directement en bordure du site étudié :

- le premier, situé en amont par rapport aux vents dominants, doit permettre de mesurer la pollution de fond pour la région ;
- le second, en aval immédiat, permet de mesurer la pollution maximale engendrée par le C.E.T. dans son très proche environnement.

En fonction des caractéristiques locales et des contraintes techniques, cette configuration théorique peut varier d'un site à l'autre. De manière générale, le choix des emplacements vise à :

- vérifier l'influence éventuelle du C.E.T. entre amont et aval par rapport aux vents dominants ;
- vérifier la qualité de l'air auprès des riverains potentiellement les plus exposés aux émissions du C.E.T. ;
- valider les données des appareils de mesure de l'exploitant, s'ils existent.

Paramètres analysés

Pour un C.E.T., les paramètres suivants sont ordinairement utilisés comme traceurs de la pollution atmosphérique induite :

- le méthane (CH_4), qui est un excellent traceur de l'évolution de la biodégradation des déchets organiques enfouis et, par conséquent, de l'activité du C.E.T. ;
- le sulfure d'hydrogène (H_2S), servant de traceur pour les odeurs de biogaz ;
- le monoxyde et le dioxyde d'azote (NO et NO_2) et le dioxyde de soufre (SO_2), qui peuvent être émis par les torchères et les moteurs ;
- les BTEX, et plus spécifiquement le benzène, importants pour l'analyse toxicologique ;
- le limonène ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$) (pinène ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$) en 1999), traceur(s) de l'odeur des déchets frais ;
- les particules en suspension dans l'air (jusqu'en 2001).

En parallèle, les paramètres météorologiques que sont la direction et la vitesse du vent ainsi que la température et le degré d'humidité de l'air sont mesurés en continu.

10.3 Méthodes d'analyses

Les méthodes d'analyses utilisées dans les laboratoires mobiles sont les suivantes :

- CH₄ : analyseur HC51M, détection par ionisation de flamme ;
- SO₂ et H₂S : analyseur AF21M (en 1999), analyseur 45C (2002), analyseur API-101A (2006), détection par fluorescence dans l'UV ;
- BTEX et COV : analyseur Chrompack (1999), analyseur Syntech Spectras GC955 (2002), détection par chromatographie avec une préconcentration préalable ;
- NO et NO₂ : analyseur AC31M, réaction de chimi-luminescence du NO en présence d'ozone ;
- poussières : analyseur MP101M ou MPSI100, mesure de la masse de poussières récoltées sur ruban de papier filtre par absorption sur papier Bêta.

10.4 Méthode interprétative

La première démarche interprétative en matière de qualité de l'air consiste à comparer les valeurs mesurées à des normes internationalement reconnues (tant en termes de santé que de gêne olfactive). Quatre paramètres sont particulièrement importants et mesurables au vu de la méthodologie employée : l'existence de dépassements, leur importance, leur durée et leur fréquence. En fonction de ces paramètres, des recommandations peuvent être émises visant à minimiser ces dépassements.

Outre cette analyse comparative, la manière la plus parlante d'interpréter les résultats d'analyses collectés pendant la période de mesures est de représenter graphiquement les concentrations moyennes en fonction de la direction du vent, sous forme de "roses de pollution". Une rose de pollution est une représentation, pour une station et un polluant donnés, de la concentration moyenne en ce polluant associée à chaque direction du vent. On calcule donc, pour chaque secteur géographique, la moyenne des valeurs mesurées pour toutes les directions de vents correspondant à ce secteur. On obtient alors une répartition secteur par secteur, dont la valeur radiale est proportionnelle à la concentration du polluant arrivant au point de mesure lorsque le vent provient de la direction dudit secteur.

10.5 Campagnes

Le Tableau 13 recense toutes les campagnes de surveillance de la qualité de l'air réalisées depuis 1999. Au total, 30 campagnes ont été menées, au rythme de 2 à 3 par an, ce qui permet de revenir sur chaque site tous les 3 à 4 ans. En fonction de la disposition des lieux, il est fréquent de déplacer les laboratoires mobiles durant une partie de la période de mesures afin de contrôler certaines cibles spécifiques (riverains proches). Il n'est dès lors pas rare que les campagnes englobent 3 ou quatre "stations", c'est-à-dire localisations du laboratoire mobile.

En 2009, deux C.E.T. auront fait l'objet de 4 campagnes consécutives dans le temps et trois autres en seront à 3. Cette répétition des campagnes, avec la plupart du temps des stations localisées aux mêmes points, donne une vision intéressante de l'évolution temporelle de la qualité de l'air sur les différents sites étudiés. Comme expliqué à la section suivante, la méthodologie a subi quelques ajustements au cours du temps. Les campagnes combinées laboratoires mobiles – échantillonneurs automatiques ont été abandonnées à partir de 2002. Dès 2003, les analyses du pinène et du limonène, composés aromatiques notamment émis par les déchets frais, ont été ajoutées aux sets de paramètres contrôlés.

Tableau 13 : historique des campagnes d'analyses d'air extérieur réalisées par l'ISSeP

| | MSG | HAL | CAB | FRO | BEL | CRO | BEA | CHA | TEN | HAB | MAL | MOR |
|----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1999 | 2S/4P | 2S/4P | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 4TPr | 3TPr | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2000 | - | - | 2S/4P | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | 5TPr | 2S/4P | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2001 | 3S/3P | - | - | - | 2S/4P | 1S3P | - | - | - | - | - | - |
| | 1TPr | - | - | - | 4TPr | - | - | - | - | - | - | - |
| 2002 | - | 2S/4P | 2S/4P | - | - | - | 2S/3P | - | - | - | - | - |
| 2003 | - | - | - | 2S/3P | 2S/3P | - | - | - | - | - | - | - |
| 2004 | - | - | 2S/4P | - | - | - | 2S/4P | 2S/4P | 2S/4P | - | - | - |
| 2005 | 3S/4P | - | - | - | - | 1S/3P | - | - | - | 3S/4P | - | - |
| 2006 | - | 2S/4P | - | - | - | - | - | - | - | - | 2S/4P | 2S/4P |
| 2007 | - | - | 4S/4P | 1S/4P | - | - | - | 1S/1P | - | - | 1S/1P | - |
| 2008 | - | - | 15TP | - | - | - | 2S/4P | - | - | - | 1S/1P | - |
| 2009 | 3S/4P | - | - | - | - | - | - | - | - | 3S/4P | - | - |
| Légende | | | | | | | | | | | | |
| 2S/4P | Analyse par laboratoire mobile, 2 stations, 4 paramètres ou groupes de paramètres | | | | | | | | | | | |
| 3COVr | Prélèvement actif de COV chez les riverains et analyses labo, 3 points de prélèvement | | | | | | | | | | | |
| 15TP | Prélèvement passif de COV et analyses labo, 15 points de prélèvement | | | | | | | | | | | |

10.6 Résultats

Le Tableau 14 reprend les statistiques globales calculées sur l'ensemble des campagnes de surveillance réalisées depuis 1999. Lors du calcul, une distinction entre position amont et aval a été faite. Lorsque les laboratoires étaient placés directement sur le C.E.T., à proximité des déchets, la position a été classée dans la catégorie "aval". Les trois dernière lignes du tableau donnent des informations sur des dépassements de "valeur guide" (VG dans le tableau). Pour le méthane, il s'agit de la concentration considérée comme normale dans un environnement exempt de pollution. Pour le sulfure d'hydrogène et le limonène, il s'agit des seuils olfactifs, donc les seuils à partir desquels il pourrait y avoir une gêne pour les riverains. Pour le benzène il s'agit de la valeur maximale admissible dans l'air (5 µg/m³ à partir de 2010) fixée par la Directive 2000/69/CE, traduite dans un AGW du 5/12/2002. Pour les poussières enfin, il s'agit du seuil limite fixé par la Directive 2008/50 sur la qualité de l'air en Europe, à ne pas dépasser plus de 35 jours par an, soit 10 % du temps environ.

Tableau 14 : statistiques sur les résultats d'analyses d'air extérieur à l'échelle du réseau

| | CH ₄ (mg/Nm ³) VG*=1,35 | | H ₂ S (µg/Nm ³) VG=7 | | Benzène (µg/Nm ³) VG=5 (moy /an) | | Limonène (µg/Nm ³) VG = 10 | | Poussières (µg/Nm ³) VG = 50 (35j/an) | |
|-------------------|--|--------|---|--------|--|--------|--|--------|---|-------|
| | amont | aval | amont | aval | amont | aval | amont | aval | amont | aval |
| tps de mesure (H) | 20.680 | 38.154 | 27.987 | 33.828 | 21.001 | 30.801 | 10.254 | 19.332 | 6.576 | 9.960 |
| nb de campagnes | 20 | 27 | 21 | 25 | 18 | 23 | 9 | 14 | 8 | 6,0 |
| Moyenne Min | 1,2 | 1,4 | 1,0 | 1,0 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 14,0 | 17,0 |
| Moyenne | 2,9 | 4,8 | 1,5 | 2,1 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 2,8 | 23,2 | 24,8 |
| Moyenne Max | 9,4 | 30,0 | 5,0 | 5,0 | 1,6 | 2,6 | 8,0 | 14,9 | 33,0 | 34,0 |
| Maximum | 100 | 96 | 157 | 62 | 37 | 257 | 139 | 442 | 217 | 196 |
| > VG (%t) min | 21% | 30% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% |
| > VG (%t) moy | 58% | 65% | 2% | 5% | 0% | 0% | 4% | 7% | 10% | 20% |
| > VG (%t) max | 100% | 100% | 15% | 21% | 0% | 0% | 23% | 40% | 33% | 38% |

L'un des premiers constats que l'on peut faire en observant les chiffres, en particulier ceux relatifs au méthane, est la relativement faible différence de qualité d'air entre l'amont et l'aval des C.E.T. Il ne faut pas trop vite en déduire que les C.E.T. n'ont aucune influence sur la qualité de l'air, puisque les teneurs moyennes en méthane sont globalement plus importantes que le niveau de fond, et ce, dans les deux positions. Par contre, cela montre que les notions mêmes d'amont et d'aval telles que définies à la section 10.2, séduisantes a priori, n'ont pas de réelle signification. Il n'est pas rare, malgré la durée importante des campagnes de mesures, que les vents enregistrés soient orientés en direction opposée aux vents dominants pendant une forte proportion du temps des mesures. La distinction des emplacements "amont" et "aval" dans le tableau étant, jusqu'à présent du moins, prédéfinie sur base des vents dominants et non déduite de la direction du vent mesurée au moment de chaque mesure, il en résulte que les stations théoriquement nommées "amont" et "aval" ont souvent des significations réelles inversées. Ce constat fait en ce moment l'objet d'une réflexion qui pourrait conduire à une adaptation du traitement des données lors des futures campagnes (voir section 11).

En attendant ce changement méthodologique, ce n'est qu'à la lumière des roses de pollution, systématiquement calculées pour les stations de surveillance, que l'on peut identifier ou non le C.E.T. comme source significative d'un polluant dans l'air. Ce constat d'impact a été fait de manière très fréquente pour le méthane mais, la plupart du temps, jusqu'à des distances assez faibles des zones d'enfouissement, et de manière sporadique pour le H₂S et les terpènes. A l'inverse, il n'est pas rare que les campagnes de surveillance révèlent la présence de sources polluantes extérieures aux C.E.T. Parfois, ces sources extérieures sont identifiables (par exemple, l'influence d'une voirie sur les concentrations en benzène, due aux gaz d'échappement des véhicules ou celle d'un zoning industriel émettant des fumées chargées de composés semblables). Parfois elles demeurent inconnues.

Un autre bilan très important que permet d'établir le Tableau 14 concerne les risques pour la santé. Aucune campagne n'a jusqu'à présent permis de démontrer la présence de tels risques liés à l'air ambiant aux alentours des C.E.T. Bien entendu, cette affirmation ne s'appuie que sur un set, ciblé certes mais aussi limité, d'analyses en continu. L'extension de la surveillance à d'autres contaminants cités dans la littérature scientifique (notamment le chlorure de vinyle et les bioaérosols) est l'un des challenges pour le futur du réseau. Ce projet fera prochainement l'objet d'une étude de faisabilité au sein de l'Institut.

Enfin, durant la plupart des campagnes, les pics de pollution ont été enregistrés par temps calme, les vents faibles diminuant la capacité de dilution et de dispersion des contaminants. La soirée et les petites heures du matin sont également pointées comme "moments préférentiels" pour les anomalies de composition de l'air. Ces éléments semblent indiquer que les facteurs climatiques prédominent sur les autres paramètres (comme par exemple le niveau d'activité du site) en termes d'influence sur la qualité de l'air.

De nombreux rapports de campagnes concluent qu'il n'est pas suffisant de surveiller quelques substances aromatiques comme les terpènes et le H₂S pour appréhender complètement les potentielles nuisances olfactives perçues par les riverains. Par contre, à plus d'une reprise, le placement d'un laboratoire mobile chez les riverains se plaignant d'odeurs a permis de relativiser et/ou d'objectiver la nuisance par des mesures. Lorsque de telles campagnes ciblées ont pu être organisées, on a obtenu une assez bonne corrélation entre les "épisodes odeurs" recensés par les riverains et les pics de concentrations mesurés par les laboratoires. Sur le plan des odeurs, l'expérience acquise par le réseau de contrôle tend dès lors à confirmer le caractère très complémentaire des approches "nuisances olfactives" et "qualité de l'air".

11 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion, le présent rapport tente d'interpréter les données acquises depuis 1999 durant les campagnes de surveillance du réseau en élevant le point de vue et en élargissant le champ de vision. Les statistiques calculées, valables pour l'ensemble du réseau, ne visent nullement à focaliser l'attention sur les défauts ou qualités des résultats obtenus par les différents exploitants. Il a pour objectif de fixer une base commune, permettant à chacun d'évaluer ses impacts environnementaux par rapport à des valeurs moyennes. Il constitue, pour la Région en général et pour le DPC en particulier, un nouvel outil très prometteur car il permet un suivi évolutif globalisé de la situation environnementale de l'air aux alentours des C.E.T.

En obligeant l'ISSeP à une réinterprétation des données, la rédaction de ce rapport a ouvert de nouvelles perspectives d'amélioration dans les protocoles de surveillance et d'interprétation des données :

Bien sûr, le projet d'optimisation de la méthodologie de contrôle des émissions surfaciques initié en 2008 va se poursuivre. Le chapitre consacré plus haut à ces émissions a mis en lumière tout l'intérêt de cette recherche.

L'extension du contrôle de la qualité de l'air à de nouveaux paramètres, le groupement des résultats en fonction de la position instantanée réelle des stations par rapport au vent lors de chaque mesure et le calcul de statistiques sur les rejets de fumées ne tenant compte que des dernières campagnes sont autant de pierres d'achoppement qui devraient permettre, dans un futur plus ou moins proche, d'améliorer encore la qualité des interprétations fournies à la Région.

Dans le domaine des biogaz, il serait également utile de regrouper les chiffres des différents exploitants en termes de quantités de biogaz produits et d'évolution de ces volumes afin d'obtenir des statistiques de rentabilité des installations de valorisation.

Enfin, la réalisation d'un rapport similaire sur les eaux souterraines est en projet depuis le début de l'année. Ce projet a pris quelque retard lié à l'adaptation des conditions sectorielles dont le texte, préalable indispensable à un tel rapport, tarde à être publié. Il est cependant raisonnable de fixer l'horizon de la mi-2010 pour la réalisation dudit rapport.

Références

- ¹ DCMS 1993 "Décharge de Mont-Saint-Guibert, caractérisation des composés organiques volatiles à l'émission" rapport d'expertise 8pp.
- ² Christensen T. H., Cossu, R., Stegmann R. 1996 "Landfilling of Waste : Biogas", E & FN Spon ed, 840 pp.
- ³ TA-Luft 2002 "First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act", Federal Ministry for Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Germany

V. Lebrun
Attaché,
Cellule Déchets & SAR.

| | | | |
|--|---|---|---|
| C. Collart Attachée, Cellule Déchets & SAR | A. Kheffi Attaché, Cellule Déchets & SAR. | M. Monin Attaché, Cellule Déchets & SAR | E. Bietlot, Attachée, Cellule Déchets & SAR |
|--|---|---|---|



ANNEXES

**Annexe 1 : Statistiques complètes sur la composition des biogaz du réseau
(1 page)**

| BIOGAZ | Unités | Nb mes. | Min | Max | MED | MOY | P95 |
|--------------------------------|--------------------------|---------|------|--------|-------|-------|--------|
| CO ₂ | % v/v.sec | 92 | 20,1 | 42 | 35,2 | 35 | 41 |
| CH ₄ | % v/v.sec | 92 | 27,2 | 60 | 49 | 48 | 56 |
| O ₂ | % v/v.sec | 92 | 0,0 | 7 | 0,7 | 1,3 | 6,0 |
| H ₂ | mg/N.m ³ .sec | 63 | 0,1 | 334 | 27,8 | 55 | 245 |
| H ₂ S | mg/N.m ³ .sec | 91 | 0,7 | 743 | 103 | 167 | 603 |
| S | mg/N.m ³ .sec | 40 | 4,0 | 220 | 68,6 | 90 | 199 |
| Butane | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 27408 | 3590 | 7221 | 20275 |
| 2-Méthylbutane | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 57013 | 1118 | 4124 | 15389 |
| Isobutane | μg/Nm ³ sec | 112 | 0,1 | 19420 | 93 | 3218 | 15265 |
| Pentane | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 35861 | 1663 | 5265 | 22664 |
| 2-méthyl-Pentane | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 12074 | 273 | 709 | 1958 |
| 2,2,4-Triméthylpentane | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 2844 | 404 | 597 | 2234 |
| Hexane | μg/Nm ³ sec | 106 | 0,1 | 11165 | 1271 | 2177 | 8878 |
| Heptane | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 22701 | 3208 | 4935 | 17000 |
| Octane | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 13088 | 3037 | 3821 | 11007 |
| Hydrocarbures saturés | μg/Nm ³ sec | 12 | 9969 | 61752 | 27329 | 28514 | 51569 |
| ∑ Alcanes | μg/Nm ³ sec | 100 | 28,7 | 100791 | 25353 | 32695 | 81823 |
| 1-Butène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 23712 | 2420 | 5388 | 21075 |
| E-Butène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 9763 | 343 | 757 | 2476 |
| Z-Butène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,0 | 25616 | 811 | 1599 | 3771 |
| 2-Méthyl-2-Butène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 3978 | 444 | 547 | 1665 |
| 1,3-Butadiène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,0 | 8546 | 839 | 1447 | 5725 |
| Propène | μg/Nm ³ sec | 12 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-Pentène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 11506 | 180 | 642 | 2738 |
| 2-Pentène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 1218 | 118 | 249 | 942 |
| 1-Hexène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 2368 | 119 | 241 | 1037 |
| Hydrocarbures insaturés | μg/Nm ³ sec | 12 | 1980 | 9481 | 4798 | 5041 | 8635 |
| ∑ Alcènes | μg/Nm ³ sec | 106 | 31 | 51666 | 8183 | 11402 | 29236 |
| Benzène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 18714 | 1661 | 2728 | 8498 |
| Toluène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 59321 | 15481 | 17908 | 41332 |
| Ethylbenzène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 35366 | 7217 | 9977 | 29433 |
| Xylènes | μg/Nm ³ sec | 118 | 8 | 74269 | 19085 | 23463 | 57601 |
| BTEX | μg/Nm ³ sec | 118 | 32,3 | 185817 | 33386 | 46138 | 138121 |
| Dichlorométhane | μg/Nm ³ sec | 82 | 0,1 | 3742 | 246 | 568 | 2554 |
| 1,2-Dichloroéthane | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,0 | 956 | 73,4 | 203 | 864 |
| 1,1,1-Trichloroéthane | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 4318 | 8,9 | 254 | 526 |
| Trichloroéthylène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 16205 | 471 | 1751 | 12676 |
| Tétrachloroéthylène | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 19531 | 391 | 1669 | 8227 |
| Chlorure de vinyle | μg/Nm ³ sec | 118 | 0,1 | 5701 | 339 | 923 | 4000 |
| Hydrocarbures chlorés | μg/Nm ³ sec | 12 | 1694 | 32653 | 9726 | 11969 | 30741 |
| ∑ Chlorés | μg/Nm ³ sec | 106 | 3,0 | 32866 | 1739 | 4278 | 11676 |

Annexe 2 : Statistiques complètes sur la composition des fumées de torchères et de moteurs

(2 pages)

| ÉMISSIONS MOTEURS | Unités | Nb mes. | Min | Max | MED | MOY | P95 |
|------------------------|--|---------|------|------|------|------|------|
| CO ₂ | % v/v sec | 67 | 9,2 | 14,8 | 12,5 | 12,5 | 14,3 |
| O ₂ | % v/v sec | 67 | 4,5 | 9,6 | 6,5 | 6,6 | 9,1 |
| CO | mg/Nm ³ (*) | 60 | 428 | 1171 | 657 | 690 | 923 |
| NO | mg/Nm ³ (*) | 58 | 32 | 552 | 153 | 179 | 502 |
| NOx | mgNO ₂ /Nm ³ (*) | 51 | 141 | 984 | 346 | 410 | 924 |
| SO ₂ | mg/Nm ³ (*) | 57 | 15,4 | 199 | 41,5 | 59 | 156 |
| | | | | | | | |
| 1-Butène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 39 | 0,1 | 5,1 | 33 |
| E-Butène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 3,5 | 0,1 | 0,7 | 2,7 |
| Z-Butène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 210 | 0,2 | 12,7 | 74 |
| 2-Méthyl-2-Butène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 4,1 | 0,1 | 0,6 | 2,7 |
| 1,3-Butadiène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 57 | 0,1 | 2,7 | 10,4 |
| 1-Pentène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 100 | 0,1 | 2,7 | 7,3 |
| 2-Pentène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 9,0 | 0,1 | 0,5 | 1,9 |
| 1-Hexène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 41 | 0,1 | 1,8 | 6,1 |
| ∑ Alcènes | µg/Nm ³ sec | 69 | 0,1 | 296 | 7,2 | 29 | 121 |
| | | | | | | | |
| Butane | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 54 | 0,6 | 4,2 | 15,6 |
| Isobutane | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 21,8 | 0,1 | 2,6 | 16,7 |
| 2-Méthylbutane | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 11,2 | 0,1 | 1,3 | 7,6 |
| Pentane | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 66 | 0,1 | 1,5 | 2,9 |
| 2-méthylpentane | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 38 | 0,1 | 3,3 | 26 |
| 2,2,4-Triméthylpentane | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 10,0 | 0,1 | 0,4 | 1,2 |
| Hexane | µg/Nm ³ sec | 69 | 0,0 | 57 | 0,3 | 3,3 | 11,7 |
| Heptane | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 247 | 0,5 | 15,0 | 101 |
| Octane | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 29 | 0,1 | 2,0 | 11,8 |
| ∑ Alcanes | µg/Nm ³ sec | 63 | 0,1 | 293 | 11,5 | 37,1 | 182 |
| | | | | | | | |
| Benzène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 557 | 14,4 | 65 | 367 |
| Toluène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,1 | 404 | 2,4 | 30,2 | 266 |
| Ethylbenzène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,1 | 113 | 0,2 | 5,2 | 36,3 |
| Xylènes | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,1 | 173 | 0,6 | 8,0 | 57 |
| BTEX | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,1 | 1012 | 29 | 99 | 511 |
| | | | | | | | |
| Dichlorométhane | µg/Nm ³ sec | 54 | 0,1 | 41 | 1,1 | 5,0 | 15,1 |
| 1,2-Dichloroéthane | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 12,0 | 0,2 | 1,8 | 9,2 |
| 1,1,1-Trichloroéthane | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 6,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Trichloroéthylène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 12,0 | 0,1 | 1,2 | 6,3 |
| Tétrachloroéthylène | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 9,0 | 0,1 | 1,2 | 6,4 |
| Chlorure de vinyle | µg/Nm ³ sec | 75 | 0,0 | 12,0 | 0,1 | 1,0 | 3,9 |
| Chlorés | µg/Nm ³ sec | 69 | 0,1 | 57 | 3,0 | 9,9 | 40,4 |
| | | | | | | | |
| CxHy tot | mg C/N.m ³ | 31 | 251 | 1142 | 489 | 620 | 1024 |

| TORCHÈRES | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------|------|-----|------|------|------|
| | Unités | Nb mes. | Min | Max | MED | MOY | P95 |
| CO ₂ | % v/v sec | 32 | 8,3 | 15 | 11,0 | 11,1 | 14,0 |
| O ₂ | % v/v sec | 32 | 4,0 | 11 | 7,6 | 7,7 | 10,5 |
| CO | mg/Nm ³ (*) | 32 | 1,0 | 101 | 3,7 | 11 | 52 |
| NO | mg/Nm ³ (*) | 31 | 16,6 | 105 | 44,0 | 46,4 | 92 |
| NO _x | mgNO ₂ /Nm ³ (*) | 31 | 28,1 | 164 | 64,5 | 71 | 138 |
| SO ₂ | mg/Nm ³ (*) | 32 | 3,5 | 200 | 54,3 | 69 | 180 |
| | | | | | | | |
| Butane | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 4,9 | 0,1 | 0,2 | 0,5 |
| Isobutane | µg/Nm ³ sec | 30 | 0,0 | 4,8 | 0,1 | 0,2 | 0,5 |
| 2-Méthylbutane | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Pentane | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 1,8 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| 2-Méthylpentane | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 22 | 0,1 | 1,1 | 5,1 |
| 2,2,4-Triméthylpentane | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Hexane | µg/Nm ³ sec | 30 | 0,0 | 14 | 0,1 | 1,0 | 5,1 |
| Heptane | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 42 | 0,1 | 2 | 9 |
| Octane | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 24 | 0,1 | 1,5 | 7,3 |
| ∑ Alcanes | µg/Nm ³ sec | 30 | 0,3 | 75 | 1,1 | 7 | 37 |
| | | | | | | | |
| 1-Butène | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 4,1 | 0,1 | 0,3 | 1,1 |
| E-Butène | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 5 | 0,1 | 0,6 | 3,3 |
| Z-Butène | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 12 | 0,1 | 0,7 | 4,3 |
| 2-Méthyl-2-Butène | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 5,6 | 0,1 | 0,3 | 1,0 |
| 1,3-Butadiène | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 10 | 0,1 | 0,4 | 0,6 |
| 1-Pentène | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 0,8 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| 2-Pentène | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 3,5 | 0,1 | 0,2 | 0,8 |
| 1-Hexène | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 5,7 | 0,1 | 0,4 | 1,4 |
| ∑ Alcènes | µg/Nm ³ sec | 30 | 0,1 | 27 | 0,8 | 2,9 | 9,6 |
| | | | | | | | |
| Benzène | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 2,2 | 0,3 | 0,6 | 2,0 |
| BTEX | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,2 | 32 | 1,5 | 4,2 | 17 |
| Chlorure de vinyle | µg/Nm ³ sec | 36 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,1 |
| ∑ Chlorés | µg/Nm ³ sec | 30 | 0,1 | 12 | 0,5 | 1,7 | 6,6 |

Annexe 3 : Rendement de combustion par torchères et moteurs des principaux composants/polluants des biogaz

(1 page)

| | Unités | Biogaz | Émissions Moteurs | | Émissions Torchères | | Rapport M/T |
|------------------------|---|--------|-------------------|---------|---------------------|---------|-------------|
| | | Med | Med | R | Med | R | |
| CO2 | % v/v.sec | 35,2 | 12,49 | - | 11,0 | - | 1,1 |
| O2 | % v/v.sec | 0,7 | 6,53 | - | 7,6 | - | 0,9 |
| CO | mg/N.m ³ (*) | - | 657,13 | - | 3,7 | - | 178,8 |
| NO | mg/N.m ³ (*) | - | 152,74 | - | 44,0 | - | 3,5 |
| NOx | mgNO ₂ /N.m ³ (*) | - | 346,13 | - | 64,5 | - | 5,4 |
| SO2 | mg/N.m ³ (*) | - | 41,48 | - | 54,3 | - | 0,8 |
| | | | | | | | |
| Butane | µg/Nm ³ sec | 3590 | 0,61 | 99,887% | 0,1 | 99,989% | 12,3 |
| Isobutane | µg/Nm ³ sec | 93 | 0,05 | 99,646% | 0,1 | 99,592% | 1,0 |
| 2-Méthylbutane | µg/Nm ³ sec | 1118 | 0,05 | 99,971% | 0,1 | 99,966% | 1,0 |
| Pentane | µg/Nm ³ sec | 1663 | 0,05 | 99,980% | 0,1 | 99,977% | 1,0 |
| 2-Méthylpentane | µg/Nm ³ sec | 273 | 0,10 | 99,759% | 0,1 | 99,861% | 2,0 |
| 2,2,4-Triméthylpentane | µg/Nm ³ sec | 404 | 0,05 | 99,918% | 0,1 | 99,906% | 1,0 |
| Hexane | µg/Nm ³ sec | 1271 | 0,28 | 99,855% | 0,1 | 99,970% | 5,6 |
| Heptane | µg/Nm ³ sec | 3208 | 0,53 | 99,890% | 0,1 | 99,976% | 5,3 |
| Octane | µg/Nm ³ sec | 3037 | 0,14 | 99,970% | 0,1 | 99,975% | 1,4 |
| ∑ Alcanes | µg/Nm ³ sec | 25353 | 11,50 | 99,701% | 1,12 | 99,967% | 10,3 |
| | | | | | | | |
| 1-Butène | µg/Nm ³ sec | 2420 | 0,05 | 99,986% | 0,05 | 99,984% | 1,0 |
| E-Butène | µg/Nm ³ sec | 343 | 0,10 | 99,808% | 0,05 | 99,889% | 2,0 |
| Z-Butène | µg/Nm ³ sec | 811 | 0,23 | 99,816% | 0,05 | 99,953% | 4,5 |
| 2-Méthyl-2-Butène | µg/Nm ³ sec | 444 | 0,12 | 99,815% | 0,05 | 99,914% | 2,5 |
| 1,3-Butadiène | µg/Nm ³ sec | 839 | 0,05 | 99,961% | 0,05 | 99,955% | 1,0 |
| 1-Pentène | µg/Nm ³ sec | 180 | 0,10 | 99,633% | 0,05 | 99,789% | 2,0 |
| 2-Pentène | µg/Nm ³ sec | 118 | 0,05 | 99,721% | 0,05 | 99,679% | 1,0 |
| 1-Hexène | µg/Nm ³ sec | 119 | 0,05 | 99,724% | 0,05 | 99,682% | 1,0 |
| ∑ Alcènes | µg/Nm ³ sec | 8183 | 7,19 | 99,421% | 0,83 | 99,923% | 8,7 |
| | | | | | | | |
| Benzène | µg/Nm ³ sec | 1661 | 14,39 | 94,290% | 0,25 | 99,885% | 57,1 |
| Toluène | µg/Nm ³ sec | 15481 | 2,37 | 99,899% | 0,64 | 99,968% | 3,7 |
| Éthylbenzène | µg/Nm ³ sec | 7217 | 0,20 | 99,982% | 0,16 | 99,984% | 1,3 |
| Xylènes | µg/Nm ³ sec | 19085 | 0,60 | 99,979% | 0,23 | 99,991% | 2,7 |
| BTEX | µg/Nm ³ sec | 33386 | 29,00 | 99,428% | 1,47 | 99,966% | 19,7 |
| | | | | | | | |
| Dichlorométhane | µg/Nm ³ sec | 246 | 1,05 | 97,190% | 0,05 | 99,846% | 21,0 |
| 1,2-Dichloroéthane | µg/Nm ³ sec | 73 | 0,24 | 97,841% | 0,05 | 99,482% | 4,8 |
| 1,1,1-Trichloroéthane | µg/Nm ³ sec | 9 | 0,05 | 96,290% | 0,05 | 95,722% | 1,0 |
| Trichloroéthylène | µg/Nm ³ sec | 471 | 0,05 | 99,930% | 0,05 | 99,919% | 1,0 |
| Tétrachloroéthylène | µg/Nm ³ sec | 391 | 0,10 | 99,832% | 0,05 | 99,903% | 2,0 |
| Chlorure de vinyle | µg/Nm ³ sec | 339 | 0,05 | 99,903% | 0,05 | 99,888% | 1,0 |
| ∑ Chlorés | µg/Nm ³ sec | 1739 | 3,00 | 98,863% | 0,50 | 99,782% | 6,0 |

(*) mesures ramenées sur gaz sec, à 5%O₂.

Taux de dilution moyen des fumées de moteur: 6,59

Taux de dilution moyen des fumées de torchères: 7,60