

Adaptation et test d'un nez électronique pour suivre en continu la nuisance olfactive générée par un centre de compostage

Ing. C. LEDENT
Ir B. DAUBY
Dr J. NICOLAS
Lic. A-C ROMAIN
GRAMME – Liège

Cet article s'adresse à toute personne susceptible d'être intéressée par la mesure et le suivi des odeurs par un instrument de type nez électronique. La source émettrice de nuisances olfactives étudiée dans ce travail est un centre de compostage de déchets ménagers.

Mots-clefs : odeur, nez électronique, compostage, capteur, environnement, nuisance, e monitoring, olfactométrie.

This article is written for any person who may be interested in the measurement and tracing of smells with an instrument of the « electronic nose » type. The source of olfactive nuisance which is considered in this paper is a composting centre for household wastes.

Keywords : smell, electronic nose, composting, sensor, environment, annoyance, monitoring, olfactometry.

1. Introduction

2002 fut, en Région Wallonne, l'année de l'air. C'était sans doute une façon d'attirer l'attention sur la fragilité de cet élément ô combien vital.

Parmi les multiples altérations de sa qualité, la nuisance olfactive dont il sera question dans cet article présente des caractéristiques assez particulières. En effet, certaines odeurs, sans nécessairement être toxiques, induisent un intense sentiment de gêne même à très faible concentration, alors que des molécules parfois gravement nuisibles ne sont que très faiblement, voire pas du tout, perçues.

Vu son potentiel d'inconfort, cette composante de l'environnement doit néanmoins de plus en plus être prise en compte dans les projets industriels. Certains d'entre eux sont particulièrement concernés comme, par exemple, les étables, porcheries et autres poulaillers intensifs, les stations d'épuration, les centres d'enfouissement technique ou les sites de traitement des déchets, les sucreries, les tanneries, ...

C'est donc en vue de mieux appréhender la problématique des odeurs environnementales et de leurs mesures que le département "Surveillance de l'Environnement" de la Fondation Universitaire Luxembourgeoise (N. B. : La FUL est devenue depuis peu le nouveau département "Sciences de l'Environnement" de l'Ulg) a développé un instrument de type "nez électronique".

Celui-ci une fois mis au point en laboratoire devait être validé sur site, en l'occurrence le centre de compostage des ordures ménagères de Habay-La-Neuve (Idelux). Cette validation comprend les étapes suivantes :

- choix de l'emplacement du système de mesure sur le site ;
- étude des différents paramètres susceptibles d'influencer la mesure in situ ;
- réalisation d'un maximum de mesures olfactométriques ;
- traitement des données et recherche de conclusion.

A terme on entrevoit plusieurs applications possibles de cette technologie :

- la caractérisation objective d'une situation environnementale en cas de conflit avec les riverains d'un site générateur d'odeur ;
- le suivi et éventuellement la régulation d'un processus industriel odoriférant (le compostage, par exemple) ;
- l'asservissement à l'appareil de mesure d'un système de correction des odeurs.

Le présent article développera donc dans un premier temps la notion d'odeur et les méthodes de mesure possibles, pour ensuite s'intéresser à la technologie adoptée et à sa mise au point. Enfin un troisième volet expliquera succinctement les procédures de traitement des données utilisées.

2. Les odeurs

L'odeur est une sensation résultant de la stimulation du système olfactif par des substances chimiques. C'est pourquoi la mesure des odeurs (notamment l'olfactométrie) se base habituellement sur les perceptions olfactives des êtres humains. De ce fait, vu la part psychologique importante dans l'appréciation de cette sensation, les résultats de ce genre d'analyse présentent généralement une excessive variabilité.

2.1. L'olfactométrie

Pour un spécialiste des études de nuisances olfactives, le terme "olfactométrie" désigne la mesure des odeurs à l'aide d'un jury de nez et d'un olfactomètre (fig.1). Par rapport à un instrument d'analyse, l'être humain fait une évaluation directe de l'odeur : le mélange est-il odorant ou non ? quelle est l'intensité de la sensation ? etc. Un jury est constitué de quatre à seize sujets sélectionnés sur leurs capacités olfactives. Ils doivent être représentatifs de la moyenne d'une population. L'olfactométrie permet ainsi de déterminer l'intensité ou la concentration d'un échantillon odorant. La détermination de la concentration de l'odeur, seul élément pris en compte ici, fait appel à un olfactomètre dynamique et doit respecter la norme européenne "pr EN 13725". L'olfactomètre présenté à la figure 1 ci-dessous répond à cette norme.

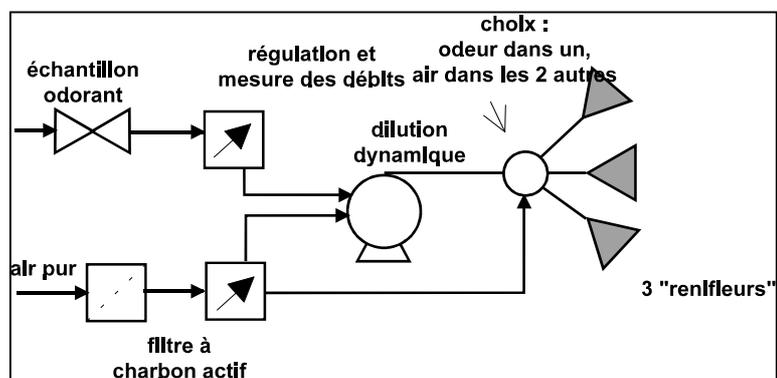


Figure 1: Schéma de principe d'un olfactomètre dynamique

La méthode consiste à diluer dynamiquement, c'est-à-dire avec un débit, l'échantillon odorant avec de l'air. Cet échantillon est ensuite présenté aux membres du jury. Par des essais successifs, la dilution maximale pour laquelle le stimulus est encore détectable est déterminée. C'est le seuil de perception du mélange odorant. On caractérisera alors la concentration de l'odeur comme étant le nombre de dilutions nécessaires. La concentration de l'échantillon est exprimée en UO_E/m^3 (Unité odeur Européenne par mètre cube).

2.2. Le nez électronique

Principe

Le nez électronique - instrument de mesure ne faisant pas intervenir la perception humaine - regroupe un petit nombre de senseurs chimiques organisés en réseau, et considère comme signal de sortie le "motif" (en anglais : "pattern") formé par l'ensemble des signaux des senseurs du réseau.

Dans ce genre d'appareil, on choisit préférentiellement des capteurs non-spécifiques, en ce sens que si chaque senseur réagit à pratiquement tous les composés il présente néanmoins un signal plus élevé pour une famille particulière de composés gazeux, tels que les composés soufrés, les vapeurs et solvants organiques, les vapeurs alimentaires, les gaz toxiques ou les hydrocarbures. Un mélange gazeux particulier va donc générer sur le réseau formé de n senseurs, un groupe de n signaux particuliers qui permettra de le caractériser.

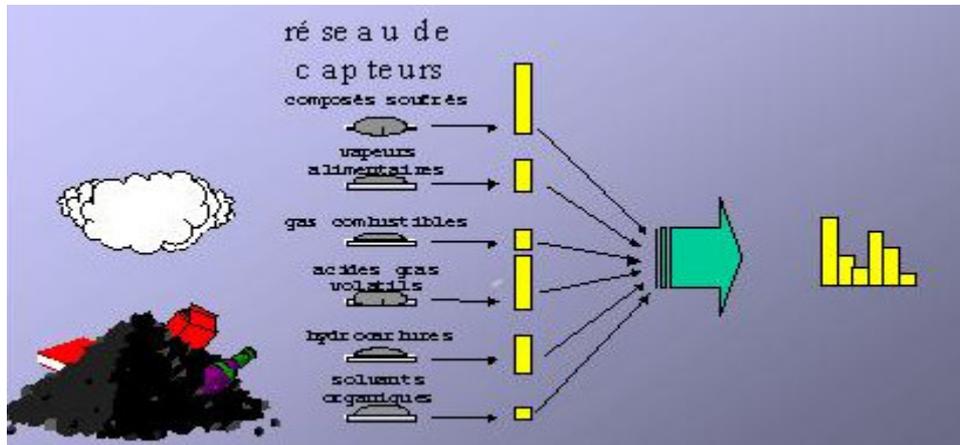


Figure 2: Exemple de motif d'une odeur particulière

Dans une phase d'apprentissage, un grand nombre de mélanges gazeux est présenté au système. Chacune de ces substances générera un motif particulier en sortie du réseau de capteurs. Si, dans cette série de mélanges, certains proviennent de sources équivalentes, ils devraient générer des motifs qui se ressemblent. Chaque type de motif devient dès lors une signature caractéristique d'un groupe particulier de mélanges gazeux.



Figure 3: Pattern de différentes odeurs

En phase d'utilisation, lorsqu'un mélange inconnu sera présenté au réseau, le système sera capable de le classer dans un groupe particulier de sources gazeuses par une reconnaissance du motif généré sur le réseau de senseurs. Une fois ce motif définitivement intégré, le système permet ensuite le suivi continu de ce mélange en examinant plus particulièrement l'évolution du groupe de signaux au cours du temps.

Les appareils disponibles sur le marché de l'instrumentation permettent des mesures en laboratoire et sont essentiellement utilisés dans des domaines d'application précis, comme le contrôle de qualité dans des procédés de fabrication (l'agroalimentaire par exemple) plutôt que pour des mesures en environnement.

3. Les mesures

3.1. L'appareil de mesure utilisé

Vue d'ensemble

Dans le cadre de ses recherches, la F. U. L. a opté pour une technique de type "nez électronique". Néanmoins, par rapport aux appareils commerciaux, l'approche se veut mieux adaptée à une finalité "terrain" plutôt que laboratoire. Par conséquent, l'appareil utilisé a dû être adapté en vue d'assurer le contrôle de paramètres variables tels que la température ou l'humidité. Il doit en outre répondre aux exigences spécifiques du site choisi et pouvoir y fonctionner en continu.

Concrètement, il est constitué de trois parties :

- l'enceinte des capteurs chimiques ;
- le système de prélèvement d'air ;
- le système d'alimentation, de pilotage et d'acquisition des données.

L'enceinte et le système de prélèvement d'air sont intégrés dans le boîtier d'un ordinateur (fig. 4). La carte mère, le disque dur et le bloc alimentation de ce PC sont exploités pour le fonctionnement du nez électronique.

Celui-ci a donc l'apparence d'une unité centrale d'ordinateur et est facilement transportable vu que toute l'instrumentation est intégrée dans le

boîtier. La seule exigence de ce système est de disposer d'une alimentation de 220 volts.

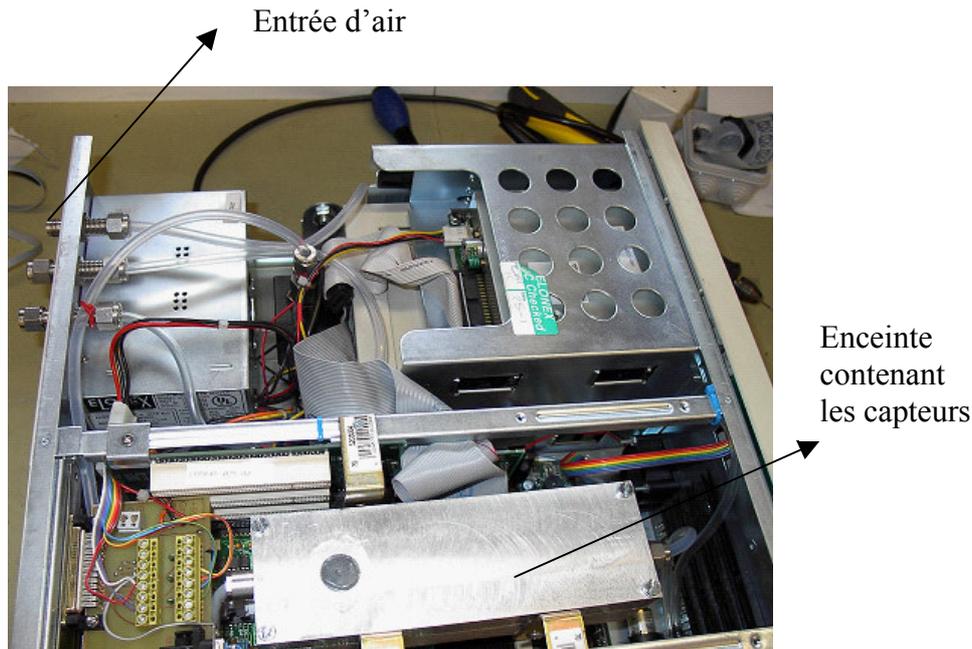


Figure 4 : Nez électronique ouvert

Le réseau de capteurs

Dans un nez électronique, le choix des senseurs constituant le réseau est prépondérant. Les capteurs utilisés ici sont dits résistifs, du type oxydes métalliques.

Leur mode de fonctionnement est le suivant. Un oxyde semi-conducteur, le plus souvent du SnO_2 , est déposé en couche épaisse sur un support en céramique. Le SnO_2 est un semi-conducteur de type n : à l'état naturel, il est peu conducteur mais présente un excès d'électrons disponibles. Lorsqu'il est exposé à l'air, les atomes d'oxygène se placent dans les vacances du réseau de l'oxyde d'étain et profitent des électrons disponibles pour créer des ions O^- . Dès lors, ces électrons qui auraient pu participer à la conduction sont "capturés" par l'oxygène, ce qui, globalement, entraîne une diminution de la conductivité. Si, ensuite, le SnO_2 est placé en présence d'un gaz combustible (c'est-à-dire un gaz qui peut se combiner à l'oxygène pour produire de la

chaleur : essentiellement, il s'agit des gaz qui comprennent des atomes de carbone et qui peuvent produire du CO_2 et de l'eau au contact de l'oxygène), l'oxygène présent dans le SnO_2 est consommé en rendant à nouveau disponibles les électrons. Ainsi, la conductivité va se rétablir à des valeurs plus élevées, la résistance diminuant en fonction de la concentration du gaz combustible (réducteur) étudié.

En pratique, la résistance de l'oxyde d'étain est mesurée entre deux électrodes ; on peut le voir sur la figure 5.

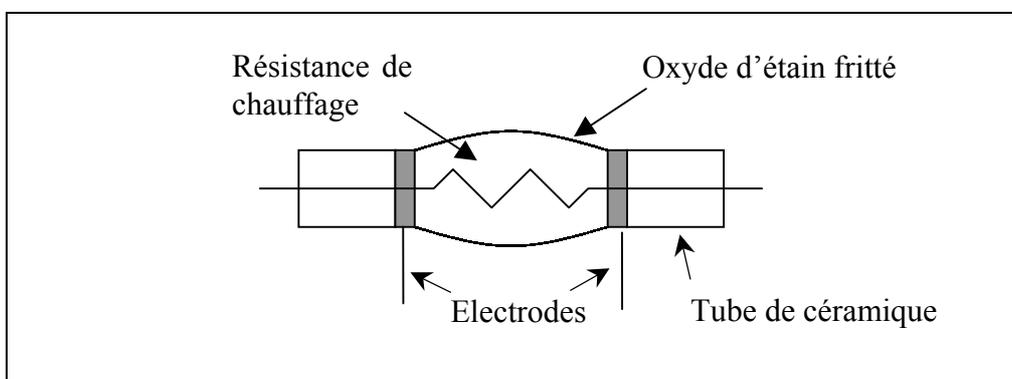


Figure 5 : Capteur gaz de type SnO_2

Ce type de capteur reste le plus employé dans les nez électroniques car il n'est pas cher et est facile à mettre en œuvre. On trouve sur le marché différents types de senseurs SnO_2 , sensibles à différentes familles de composés gazeux.

Les capteurs sont choisis en fonction de leur sensibilité à des composés ou à des familles de composés présents dans les odeurs que l'on veut suivre. Certains sont en outre intégrés au réseau en raison de leur spécificité vis-à-vis de la vapeur d'eau.

Le réseau de senseurs est enfermé dans une enceinte dans laquelle passe le flux gazeux. Les performances des capteurs étant liées à la température, il est nécessaire de prévoir un système de chauffage via une résistance. Par ailleurs, il faut également y placer le processus de mesure de la résistance des senseurs ainsi que le matériel de stockage des informations sur support informatique.



Figure 6 : Enceinte ouverte contenant les capteurs

Parmi les capteurs testés par l'équipe de recherche, il s'avère que six peuvent être utilisés pour le suivi en continu de l'odeur de compost. Le nombre de capteurs résulte d'un compromis entre l'efficacité de la mesure, l'encombrement minimum et la consommation électrique.

Les sondes annexes et système de prélèvement d'air

Diverses sondes sont intégrées au système, essentiellement pour contrôler l'humidité et la température.

L'air est aspiré par une pompe à membrane placée en aval des capteurs. Un débitmètre massique de petite taille, situé en amont de la pompe, mesure en continu le débit sortant de la chambre.

3.2. Mise au point du nez électronique

Vu la sensibilité des senseurs à la température, il est impératif d'assurer au sein de l'enceinte des capteurs une stabilité thermique régulée à la température optimale, c'est à dire celle pour laquelle on obtient une réponse fiable des capteurs indépendamment de la température extérieure. Il a été décidé de n'agir que sur le chauffage et non sur le refroidissement de l'enceinte des capteurs. Le refroidissement demande en effet des moyens plus encombrants et plus consommateurs d'énergie. Comme toute régulation exige néanmoins une action "vers le haut" et une action "vers le bas", l'action "vers le bas", est ici assurée par un refroidissement naturel, par les déperditions thermiques de l'enceinte. L'idée est donc de réguler la température à quelques degrés au dessus de la température ambiante

maximum qu'on peut atteindre dans l'enceinte des capteurs. Cette température maximum est atteinte lorsque la température ambiante extérieure est très élevée, c'est la raison pour laquelle "un optimum" a dû être trouvé. Pour ce faire, le nez électronique a été soumis à différentes températures (de -10°C à 50°C) en chambre climatique et l'évolution des capteurs avec et sans régulation a été étudiée. A l'issue de ces essais, trois résistances en série, ont été installées. Cette configuration présente l'avantage de bien répartir l'apport de chaleur vu la place occupée par les résistances dans la chambre de mesure.

Par ailleurs, il apparaît que le choix des matériaux mis en œuvre est essentiel : ceux-ci doivent être parfaitement inertes vis à vis des composés volatils à tester, y compris en ce qui concerne les vannes et les pompes. De plus, l'appareil doit être totalement étanche.

4. Mesures sur le terrain

Comme indiqué précédemment, les prélèvements d'odeurs ont été réalisés dans l'atmosphère ambiante régnant dans l'entrepôt contenant les andains de compost en formation sur le site de compostage d'ordures ménagères de Habay-La-Neuve. Ces mesures de terrain visaient deux objectifs. D'une part tenter d'établir une corrélation entre les informations enregistrées par le nez électroniques et les perceptions humaines en conditions réelles (phase dite de validation) et d'autre part fournir au nez électronique une base de données suffisamment étoffée pour lui permettre de discriminer les différentes odeurs du site (phase dite d'apprentissage).

Le premier objectif des mesures était donc d'associer les signaux électriques des capteurs du nez électronique à l'odeur perçue par l'opérateur ainsi qu'à différentes variables susceptibles d'influencer les capteurs (vent, émanation de vapeur, gaz d'échappement des engins de chantier, etc.). Pour ce faire il a fallu déterminer l'emplacement le plus représentatif pour installer le dispositif (nez électronique, prise d'air à hauteur du nez humain, ordinateur portable connecté au nez électronique pour suivre l'évolution instantanée des capteur), tout en tenant compte des contraintes matérielles (source de courant, passage des engins de retournement des andains, etc.).

Au cours de plusieurs journées, des mesures continues ont été réalisées à l'aide du nez électronique par passage de l'air ambiant dans l'enceinte des capteurs. Simultanément, à l'aide d'une grille d'évaluation reprenant toutes les informations susceptibles d'expliquer une fluctuation de l'odeur, l'opérateur a noté systématiquement les perceptions olfactives ressenties tant en qualité (type d'odeur) qu'en intensité. De plus, ces mesures ont été méthodiquement accompagnées de relevés des conditions météorologiques (humidité, température).

En ce qui concerne l'appréciation "humaine" réalisée par l'opérateur, il est à noter que les variations d'odeur perçues, aussi minimes soient-elles, étaient toujours simultanément (ou presque, vu le temps de réponse des capteurs) accompagnées par une réaction des capteurs. Pourtant tenter un suivi d'odeur en continu sur le terrain n'est pas aussi simple que l'on pourrait l'imaginer. En effet, la sensation d'odeur dépend d'un grand nombre de paramètres externes qu'il est très malaisé de cerner. De plus, il est clair que l'utilisation d'observateurs humains pose des problèmes pratiques, quand on sait que la perception olfactive montre une importante variabilité en fonction de facteurs aussi divers que l'état physiologique de l'observateur, sa culture, son histoire ou les conditions de perception. Ces mesures d'ambiance doivent donc être interprétées avec prudence.

Quoi qu'il en soit, indépendamment des variations contextuelles (météorologie, activité dans le hall de compostage, sensibilité de l'opérateur, ...), pour établir un modèle de reconnaissance des odeurs sur le terrain, il était également impératif de mettre en œuvre une phase d'apprentissage. C'était là le second objectif des prélèvements de terrain. Ceci a été réalisé en injectant à de multiples reprises des odeurs caractéristiques au site, sur le nez électronique. Dans cette optique, les différentes émanations prises en compte sont :

- l'odeur forte de compost (prélevée au moment du retournement d'un tas)
- l'odeur de produit masquant (prélevée en plaçant le nez électronique à proximité d'un asperseur de produit masquant en activité) ;
- l'odeur de l'air en amont (prélevée à quelques centaines de mètres du site) ;
- l'odeur de gaz d'échappement des machines (prélevée à la sortie du tuyau d'échappement d'un véhicule de chantier).

5. Traitement des données

Le traitement des données a été réalisé en temps différé, sur ordinateur, à partir du fichier d'acquisition de données, en utilisant des outils logiciels commerciaux, tels que Statistica pour les procédures statistiques et Excel pour la préparation et la classification des données. L'objectif de ce traitement est l'apprentissage des motifs caractéristiques des odeurs analysées. En d'autres termes : peut-on faire correspondre un ensemble caractéristique de signaux provenant des capteurs du réseau à une source particulière d'odeur ?

5.1. Procédures statistiques

L'identification d'une odeur par un nez artificiel s'appuie sur une procédure statistique ou mathématique appartenant au groupe des méthodes de reconnaissance de formes (PARC = pattern recognition).

Deux types de méthodes peuvent être employées : les procédures non supervisées ou les procédures supervisées. Dans le premier cas, on laisse la procédure fabriquer elle-même ses propres groupes à partir des données d'entrée. Elle bâtit donc son modèle sur base de "similitudes" entre les ensembles de signaux provenant du réseau de capteurs. En général, ce type de procédure servira à mettre en évidence des similitudes de "motifs" ou des différences typiques entre eux, mais pas réellement à les classer. Il s'agit davantage de méthodes exploratoires capables notamment de qualifier les performances du réseau de capteurs employé par rapport à un autre.

A l'inverse, les techniques supervisées possèdent un "guide" leur indiquant la réponse idéale en regard de signaux d'entrée particuliers. Ainsi, tous les ensembles de signaux provenant d'odeurs du même type seront affectés à la même classe. La procédure construira son modèle de classification sur base des relations entrées/sorties qu'on lui aura imposées.

Les méthodes statistiques généralement considérées sont capables de prendre en compte un grand nombre de variables (ici, en l'occurrence, les signaux normalisés provenant de chaque capteur appartenant au réseau). Elles sont basées sur des notions de similitude entre des groupes de mesure : distances dans l'espace des variables ou corrélations entre celles-ci. Elles impliquent pratiquement toutes une représentation graphique, souvent en deux ou trois dimensions, permettant l'identification des groupes en un simple coup d'œil.

5.2. Préparation des données

Comme expliqué auparavant, les mesures sur le terrain ont été scindées en deux parties :

- une partie concerne le suivi en continu de l'odeur ambiante qui se dégage dans le hall de compostage et la validation des évènements susceptible de l'influencer ;
- la seconde partie de ces mesures consiste à soumettre au nez électronique un très grand nombre de fois des odeurs connues à des moments connus.

Après ces campagnes de mesures sur le terrain et les expériences au laboratoire, il faut répertorier toutes ces mesures et les regrouper par type d'odeur dans un même fichier. L'analyse statistique tentera ensuite de vérifier un des objectifs de la présente étude, à savoir de montrer qu'une reconnaissance de l'odeur par un nez électronique est possible sur le terrain en dépit de la variabilité des conditions ambiantes d'un prélèvement à l'autre.

6. Analyse et résultats

Le traitement des nombreuses données recueillies donne des résultats intéressants.

6.1 Analyse statistique

La figure 7 ci-dessous présente le graphique obtenu par une analyse discriminante. Cette méthode - de type supervisée - permet de calibrer un modèle de reconnaissance et fournit des fonctions fiables pour identifier l'appartenance d'une observation à un groupe. L'analyse discriminante part d'un échantillon d'observations dans lequel sont présentées à la fois des informations sur un certain nombre de grandeurs mesurées (variables indépendantes) et des informations sur le résultat escompté, c'est-à-dire la classe ou la décision à prendre (variable de classement). Pour cette analyse, les variables indépendantes prises en compte sont les capteurs et la variable de classement est le type d'odeur. L'intérêt de calibrer un modèle, alors que l'on connaît la réponse (ici la classe "amont", "masquant", "échap" ou

"comp") est qu'une fois ce modèle calibré, il devra par la suite être capable de reconnaître une odeur pour laquelle on ne lui fournira plus la réponse. Et notamment, en continu sur le site. Lorsque l'analyse est lancée, elle cherche des relations permettant, à partir des valeurs mesurées pour les capteurs, de trouver la classe dans laquelle ranger une observation donnée. Pour ce faire, la méthode va composer un modèle en cherchant de nouveaux "facteurs", appelés ici racines, qui sont des combinaisons linéaires des variables initiales. La procédure choisira les combinaisons dans l'espace desquelles les classes proposées sont rendues bien distinctes les unes des autres.

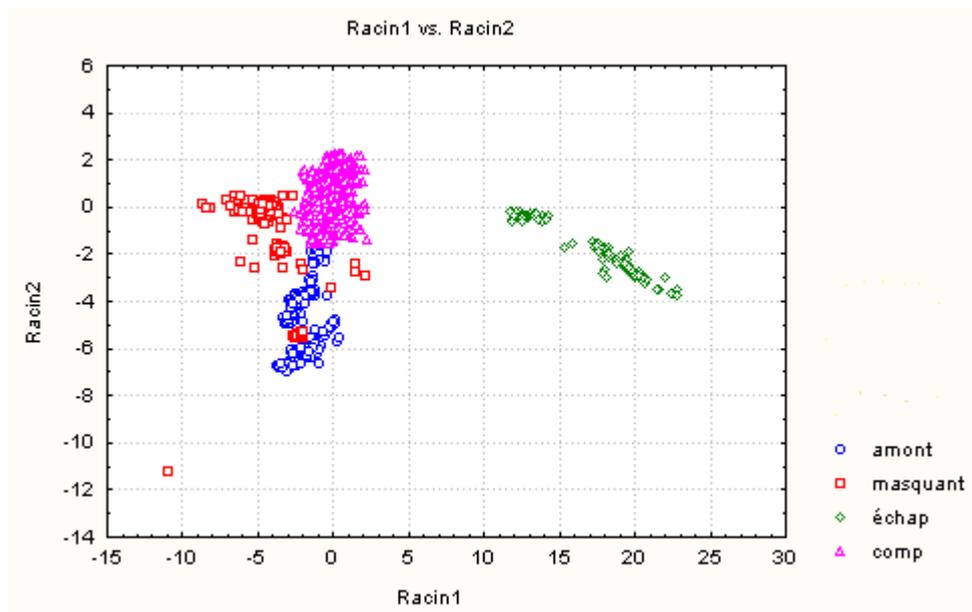


Figure 7 : Représentation des observations dans le plan des deux premières racines

Le graphique de la figure 7 montre une séparation bien distincte entre les différents groupes.

La procédure peut livrer énormément de détails. Entre autres, elle fournit séparément la classification de chaque observation. Cela permet de voir quelle donnée a été mal classée et dans quel groupe elle a été mise par erreur. En se référant aux remarques faites lors des mesures, on peut voir par exemple si l'erreur de classement a un rapport avec le type de prélèvement.

La calibration d'un modèle avec toutes les sources d'odeurs caractéristiques du site a été réalisée et a permis de détecter l'émergence de l'odeur de compost dans l'ambiance. Reconnaître l'odeur de compost (à 98.5%) était l'un des objectifs fondamentaux de l'étude. Sur les quatre types d'odeurs choisies pour représenter les différentes caractéristiques olfactives du site (compost, produit masquant, air et gaz d'échappement) seule l'odeur de masquant n'a pas pu vraiment être reconnue. Par contre les autres ont pu toutes être identifiées par des techniques de reconnaissance de forme. Ce résultat négatif concernant le produit masquant ne semble pas être un obstacle pour la suite. En effet, l'objectif fondamental d'exploitation du nez électronique serait de laisser l'appareil en continu sur le terrain en vue de reconnaître exclusivement l'odeur de compost et en négligeant les odeurs qui s'écartent de celle-ci.

Par ailleurs, les différentes analyses ont pu donner quelques indices quant au rôle joué par chaque capteur dans la discrimination des différentes odeurs.

L'interprétation de ces analyses n'est pas aisée et elle fera l'objet d'études futures plus poussées. Cela permettra éventuellement de remettre en question la pertinence du choix des capteurs pour l'odeur de compost.

7. Conclusion et perspectives

Les nuisances olfactives générées aux alentours de sites industriels sont un problème d'actualité. Les chefs d'entreprise sont souvent confrontés à cette problématique des odeurs (syndrome Nimby) et il leur serait très utile de pouvoir disposer de moyens de mesure et de suivi objectif des odeurs.

Dans cette optique le développement d'un outil de mesure de type "nez électronique" semble présenter un intérêt non négligeable, dans la mesure où il évite les influences psycho-sociales liées à une appréciation humaine.

Toutefois, les nombreux facteurs de variation des mesures imposent une grande prudence au niveau de l'interprétation des résultats, même si certains outils statistiques performants permettent une exploitation intéressante de ceux-ci (choix des meilleurs capteurs, prise en compte d'une odeur spécifique).

De plus, la corrélation "mesure électronique" - "appréciation humaine" demeure difficile à établir car outre la subjectivité du facteur humain, intervient également la physiologie de l'odorat qui induit une saturation progressive des "capteurs cellulaires" voire une adaptation psychologique à l'odeur pouvant induire une atténuation progressive de la sensibilité.

Ceci dit, à l'issue de ce travail, il apparaît que l'appareil mis au point fonctionne de manière satisfaisante et semble être une solution intéressante pour un suivi continu des odeurs émanant d'un centre de compostage. La mise en œuvre de l'instrument n'impose pas de contraintes excessives et les capteurs ainsi que l'électronique s'avèrent fiables dans le temps.

Enfin, pour donner suite à ce travail, il conviendrait de poursuivre la recherche en étudiant plus particulièrement l'intensité de l'odeur émise. Celle-ci pourrait être associée à une certaine valeur de la résistance des capteurs. A ce moment, le nez électronique pourrait servir à la surveillance des émissions olfactives sur le site considéré, notamment dans le but de déterminer un seuil olfactif à ne pas dépasser et ainsi de pouvoir y asservir une technique d'abattement d'odeur.

8. Lexique

Compost : Le compostage est un processus naturel de transformation de matière organique en une substance organique humifiée, plus stable, appelée "compost", analogue à de l'humus forestier. Le compostage consiste essentiellement à stabiliser les déchets organiques en éliminant une partie du carbone sous forme de CO₂ volatil et en fixant le reste de carbone dans des molécules difficilement biodégradables. Ce processus nécessite de l'oxygène et de l'eau, deux conditions de vie limitantes des principaux agents microbiens responsables de la production du compost.

Produit masquant : substance pulvérisée sur des matières odorantes (en l'occurrence les tas de compost) en vue d'en diminuer l'impact olfactif.

Syndrome Nimby : (NIMBY = Not In My BackYard)

Attitude de refus de la population riveraine vis à vis de projets industriels susceptibles de polluer (ou considérés comme tels).

9. Références bibliographiques

Sites internet

- [1] <http://www.ful.ac.be>
- [2] <http://www.ecoconso.org/05lire/Cahiers/Dechets/prevention-gestion.htm>
- [3] <http://www.figarosensors.com/>
- [4] <http://www.leffingwell.com/olfaction.htm>
- [5] http://users.swing.be/compost/Main_ccM.htm

Ouvrages

- [6] DESACHY, c., *Les déchets sensibilisation à une gestion écologique*, aghm, 1996.
- [7] LELOIREC, p., *Traitement des odeurs, Techniques de l'ingénieur, Traité environnement*, G2 971.
- [8] NICOLAS, j. *Outils statistiques et mathématiques pour le traitement des données environnementales*, ful, 2001.
- [9] ROGNON, C., POURTIER, I., *Mesurer les odeurs, Techniques de l'ingénieur, Traité environnement*, G2 940.

Rapports

- [10] NICOLAS, j., ROMAIN, a.c., *Nez électronique adapté aux odeurs de sucrerie*, Programme FIRST, Convention n°2925, Rapport final, 1998.
- [12] NICOLAS, j., ROMAIN, a.c, WIERTZ, v., MATERNOVA j., *Convention relative au Développement de Techniques d'Identification d'Odeurs dans l'Environnement*, FUL, 1998.