

Spécificités et contraintes de la mesure des odeurs dans l'environnement par réseaux de capteurs

Jacques NICOLAS

Université de Liège (Belgique) – Site d'Arlon
Département « Sciences et Gestion de l'Environnement »
Unité « Surveillance de l'Environnement »



Principal objectif de recherche : estimer la nuisance olfactive générée dans l'environnement par différentes sources industrielles ou agricoles.



Centres d'Enfouissement Technique



Installations de compostage



Stations d'épuration



Bassins de décantation de sucrerie



Porcheries, poulaillers



Détection de moisissures dans les bâtiments

Différents outils :

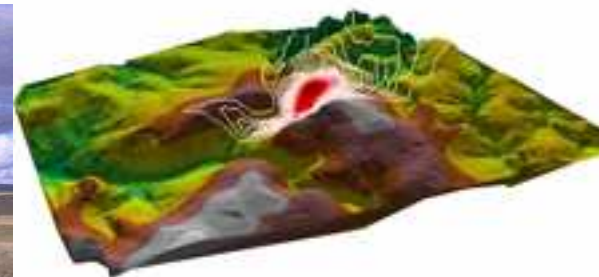
Analyse de laboratoire
(GC-MS)



Olfactométrie
dynamique



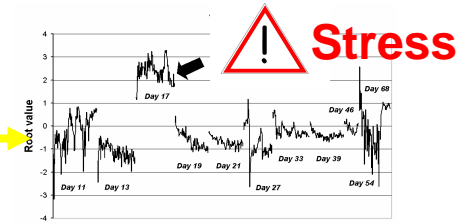
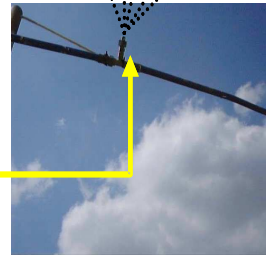
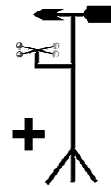
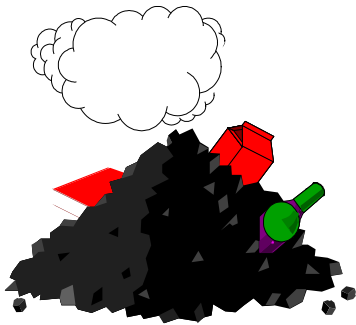
Inspection de terrain +
modélisation de la dispersion
atmosphérique



... et le nez électronique



Possibilités très prometteuses

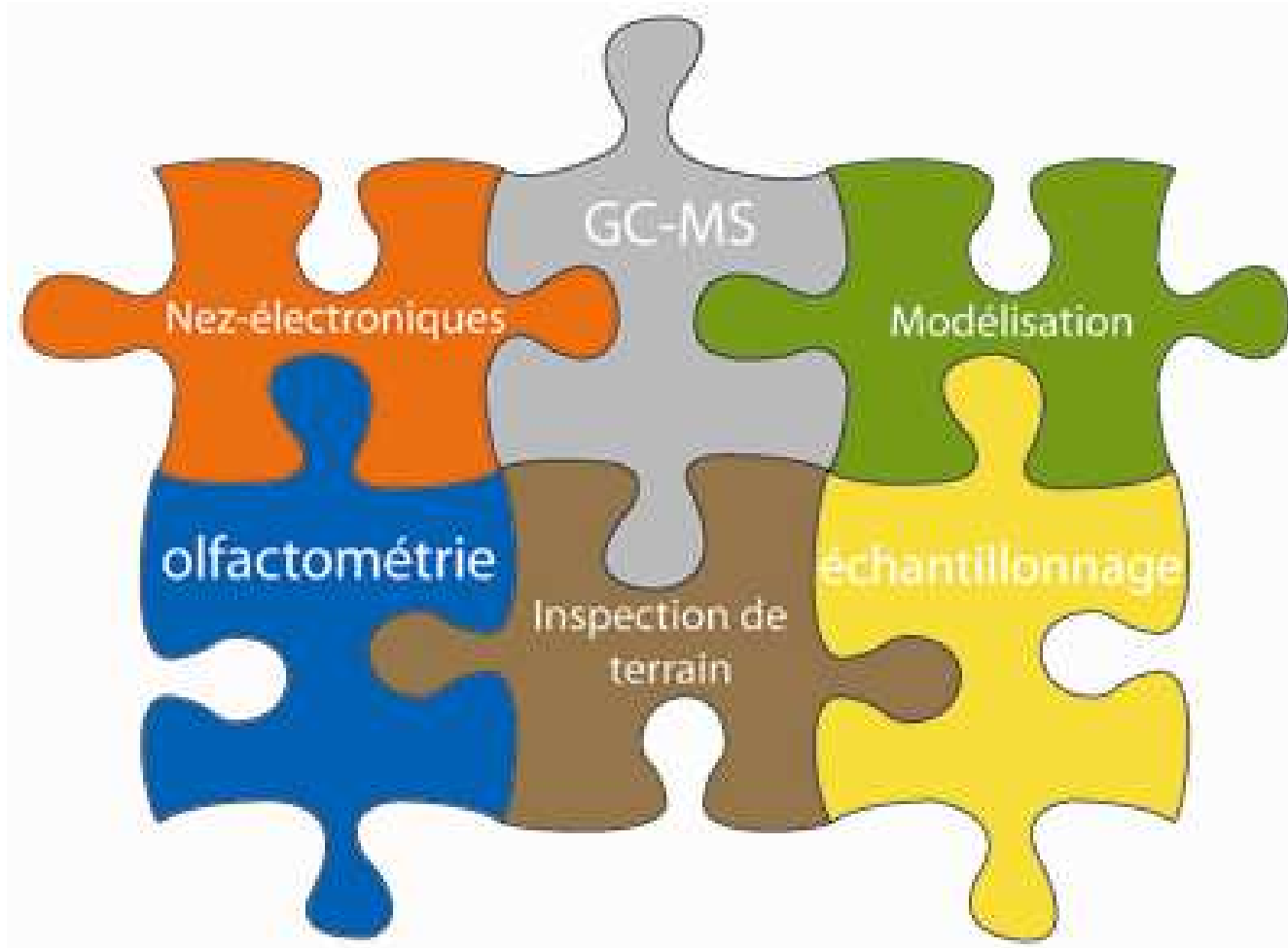


Monitoring des émissions d'odeur et prédiction de la nuisance olfactive dans l'environnement

Contrôle des systèmes d'abattement d'odeur

Utiliser l'odeur comme variable de process pour détecter des anomalies de fonctionnement

Dans le domaine des odeurs, aucune méthode ne peut être considérée comme une "référence".
Toutes les méthodes doivent être considérées comme complémentaires pour fournir une aide à la décision.



Rappel du principe de la mesure olfactométrique



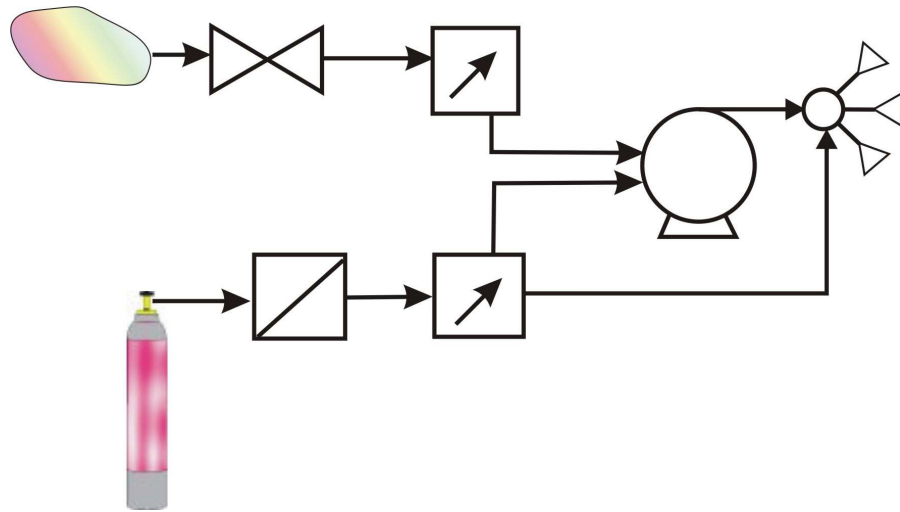
Prélèvement d'un sac (Tedlar)
sur le terrain



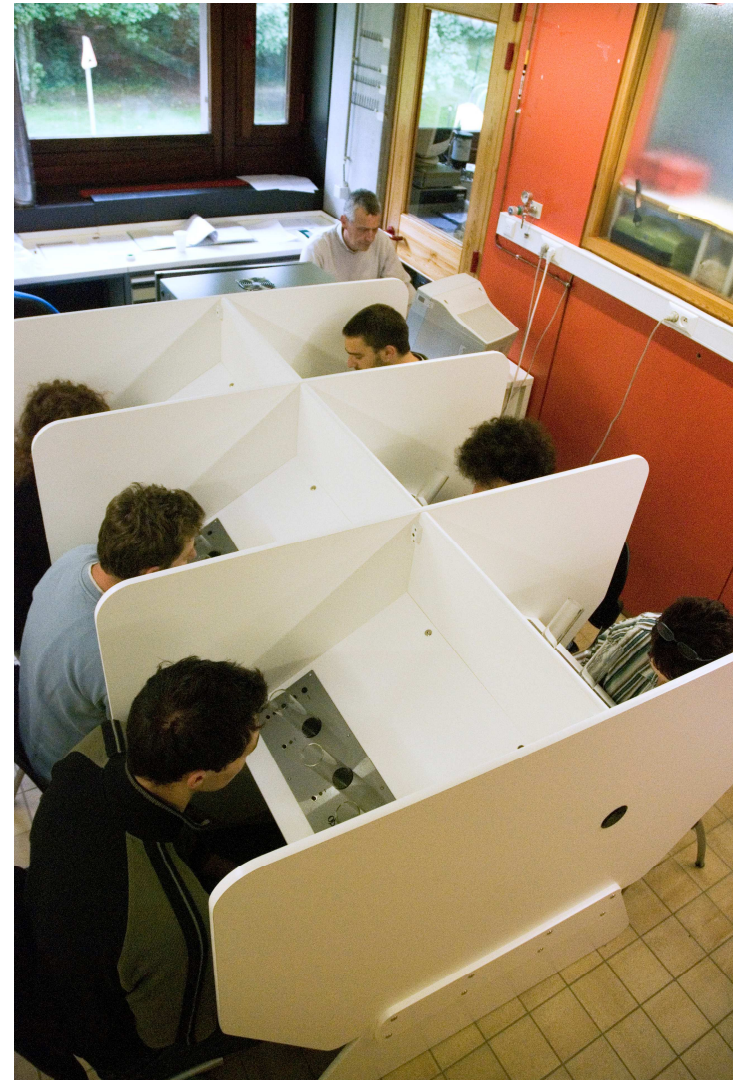
Mesure (olfactomètre) en laboratoire par
un panel de 6 personnes

Principe de l'olfactométrie dynamique

Echantillon odorant prélevé sur le terrain

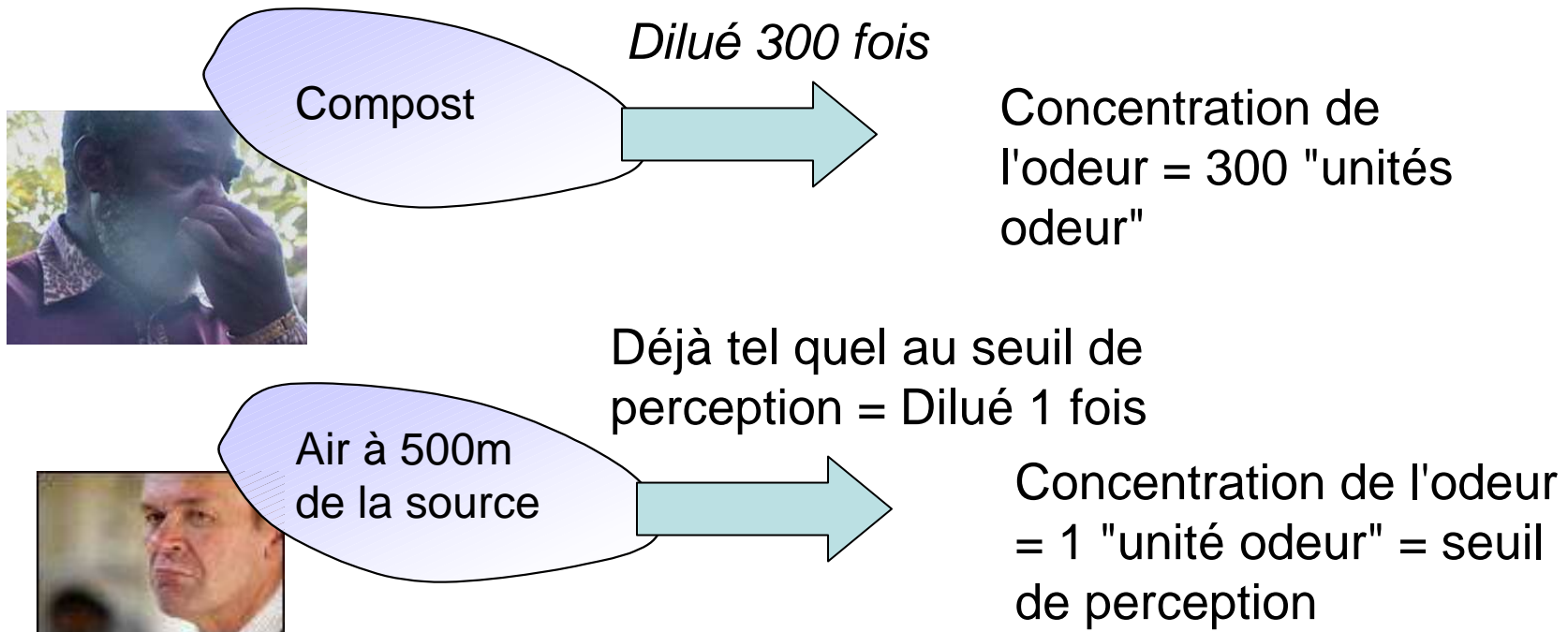


Air pur



l'olfactométrie

Le "niveau" d'odeur est défini par le nombre de fois qu'il faut diluer l'échantillon odorant avec de l'air pur pour arriver au seuil de perception olfactive (50% des personnes sentent et 50% ne sentent plus)



l'olfactométrie

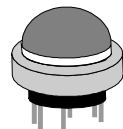
- La seule méthode normalisée pour mesurer une concentration d'odeur.
 - Reconnue au niveau européen par la norme EN 13725
 - Définie par un protocole rigoureux
- ➔ le niveau de l'odeur est défini par sa concentration en uo_E/m^3 (unité-odeur européenne par mètre cube)

Pour rappel : $1\ uo_E/m^3$
correspond à la
concentration au seuil de
perception

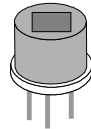


Rappel : Le nez électronique

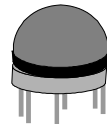
Principe : réseau de capteurs-gaz non spécifiques



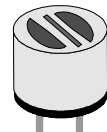
C1 : Composés soufrés, H₂S



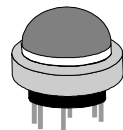
C2 : Solvants organiques, alcools



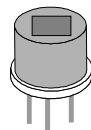
C3 : Contaminants de l'air, CO, hydrogène, fumée de cigarette



C4 : Vapeur d'eau



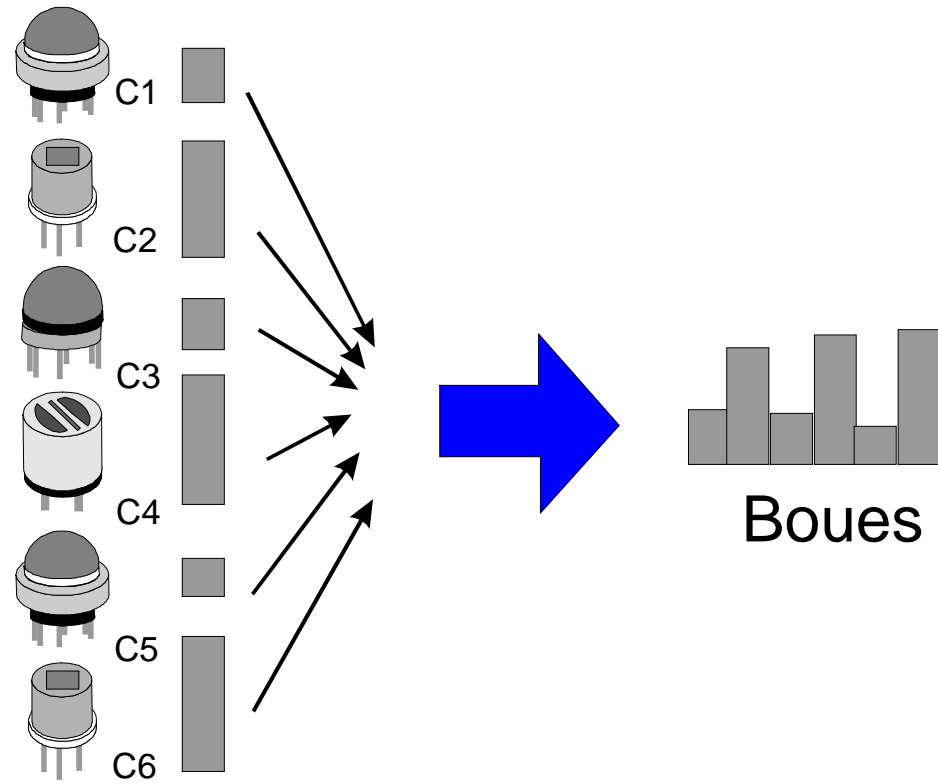
C5 : Gaz combustibles, propane, butane



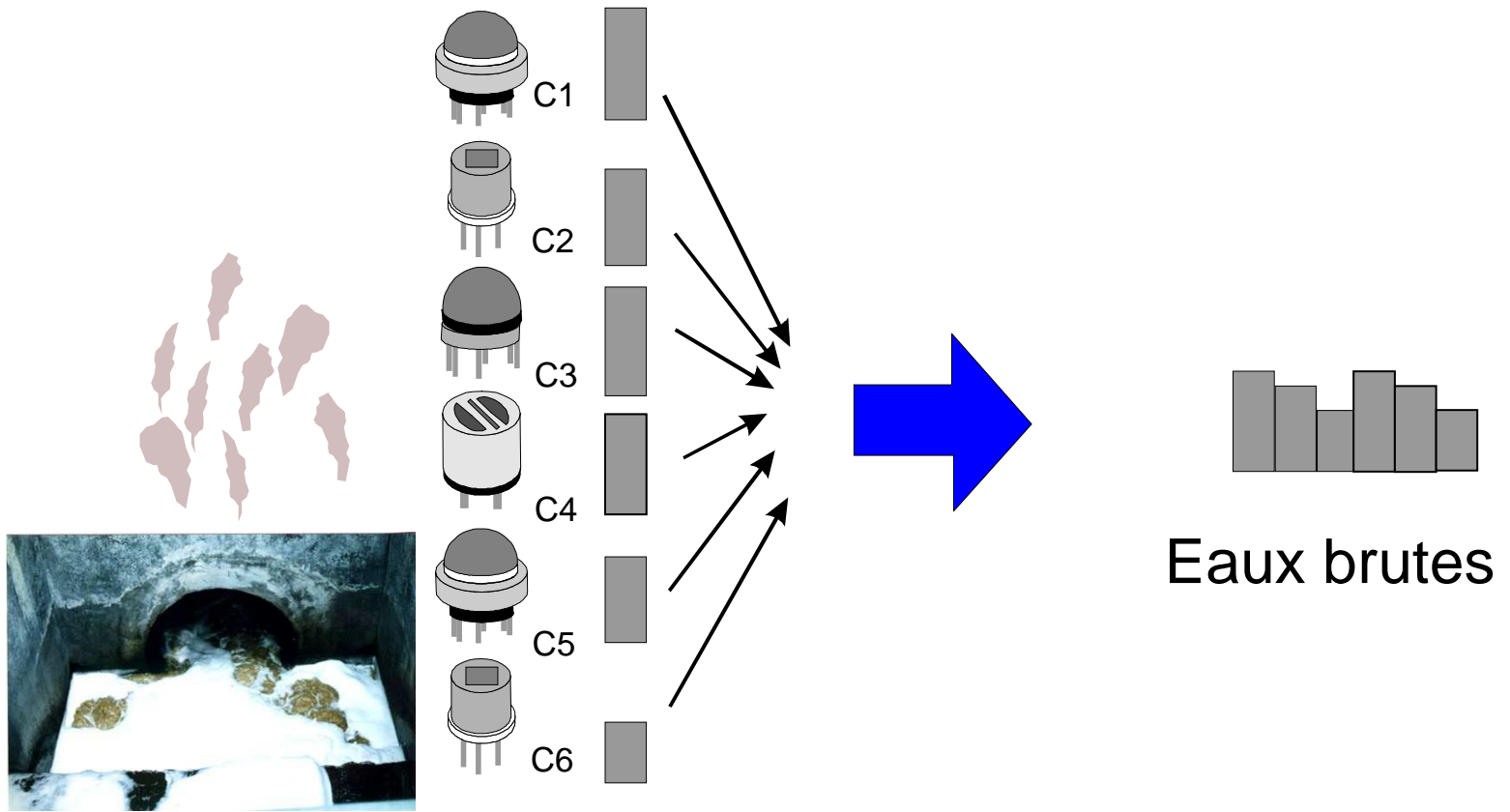
C6 : Composés aminés, NH₃

Dans notre cas: capteurs à oxydes d'étain commerciaux (Figaro, FIS, Capteur)

Le nez électronique → ex. dans une station d'épuration



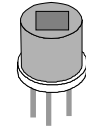
Le nez électronique



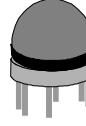
Le nez électronique



C1



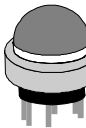
C2



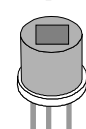
C3



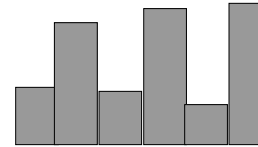
C4



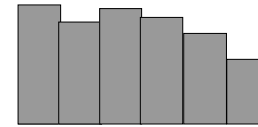
C5



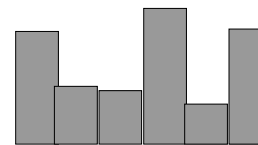
C6



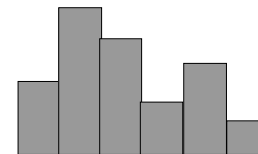
Boues



Eaux brutes

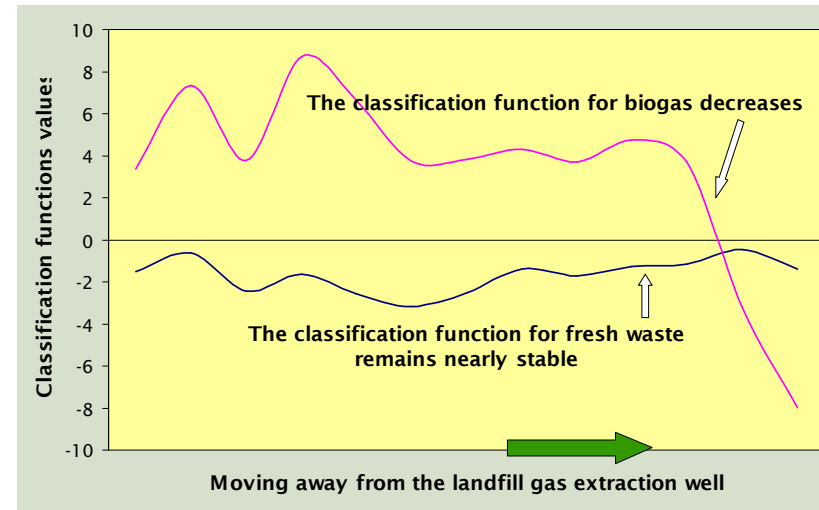
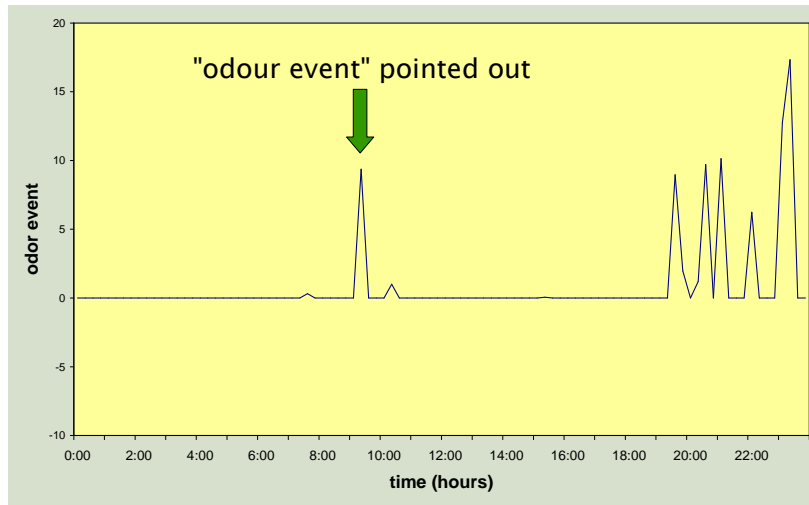


Gaz
d'échappement

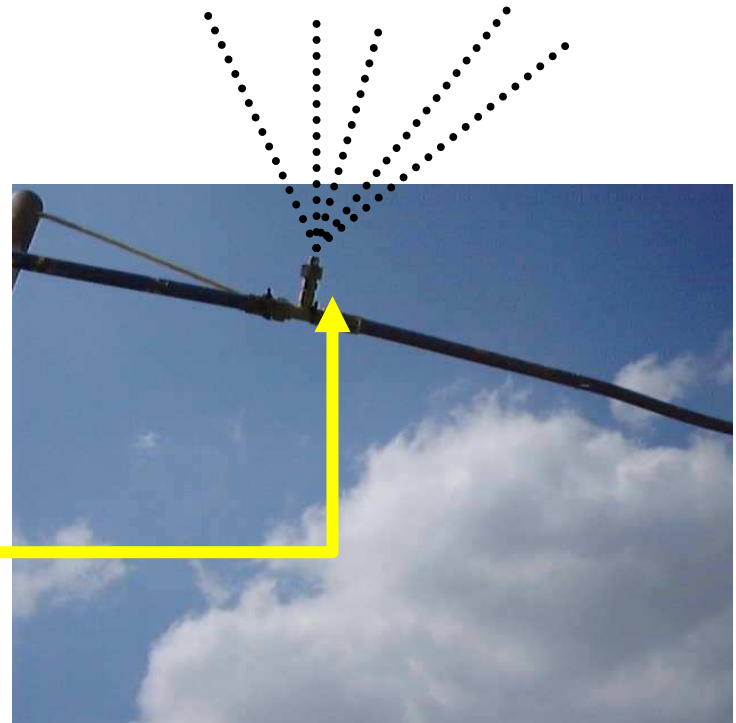
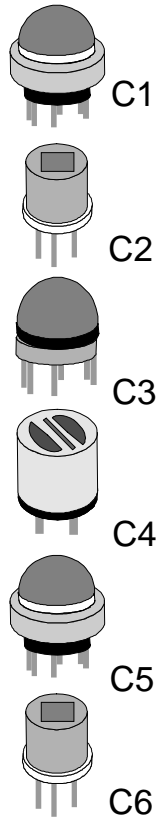


Produit
désodorisant

Le nez électronique : détection de l'émergence d'une odeur → un des problèmes = trouver un indice "global", image de l'odeur



Si indice "global" → suivi continu possible

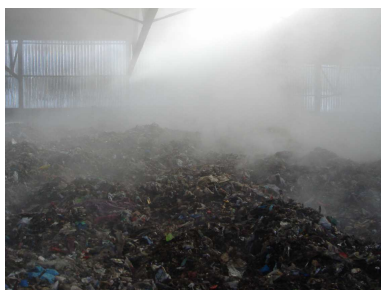


Autre problème : La concentration descend sous la limite de détection des capteurs



Au niveau de l'émission, ou à proximité de la source, un nez électronique est capable de détecter et de reconnaître une odeur, mais pas dans l'environnement

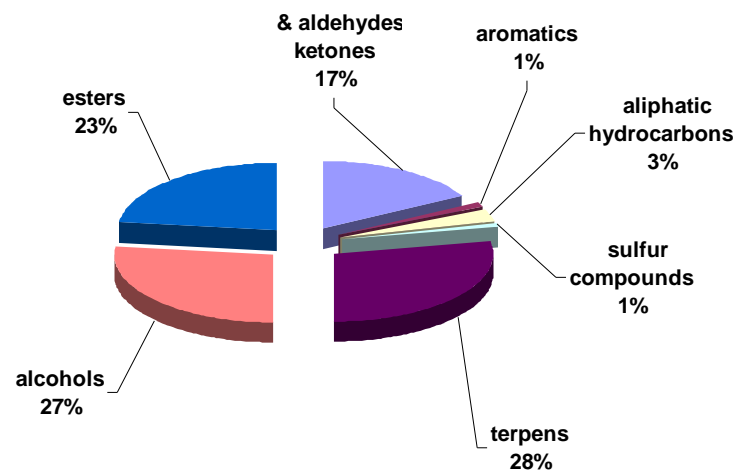
Composition chimique typique ?



Installation de compostage



Station d'épuration



| | |
|-------------------|---|
| Composés azotés | Ammoniac Diméthylamine Méthylamine Ethylamine Scatole Indole Cadavérine |
| Composés soufrés | Sulfure de diméthyle Methanthiol Ethanethiol Sulfure d'hydrogène |
| Acides organiques | Acide acétique Acide butyrique Acide valérique |
| Aldéhydes | Méthanal Ethanal Butanal |
| Cétones | Acétone |

Concentrations typiques à l'émission ?



Installation de compostage

| Exemples de composés | ppm(v) |
|--------------------------------|--------|
| 3-methyl-butanal | 0.022 |
| Ethyl ester d'acide butanoïque | 0.019 |
| 2-butanol | 0.038 |
| Phénol | 0.044 |
| Acétate d'éthyl | 0.065 |
| 1-propanol | 0.114 |
| 2-butanone | 0.116 |
| Limonène | 3.340 |
| Ethanol | 1.155 |



Station d'épuration
(*stabilisation des boues*)

| Exemples de composés | ppm(v) |
|----------------------|--------|
| Ammoniac | 25 |
| Toluène | 0.290 |
| Sulfure de diméthyle | 0.360 |



Abattoir

| Exemples de composés | ppm(v) |
|-----------------------|--------|
| Sulfure de diméthyle | 0.007 |
| Sulfure de triméthyle | 0.005 |
| Tétraméthyle pyrazine | 0.001 |
| Acétone | 0.001 |

➔ Rarement au dessus de 1 ppm(v)

➔ Mais le nez électronique réagit à l'émission **globale** (pas aux composés individuels)

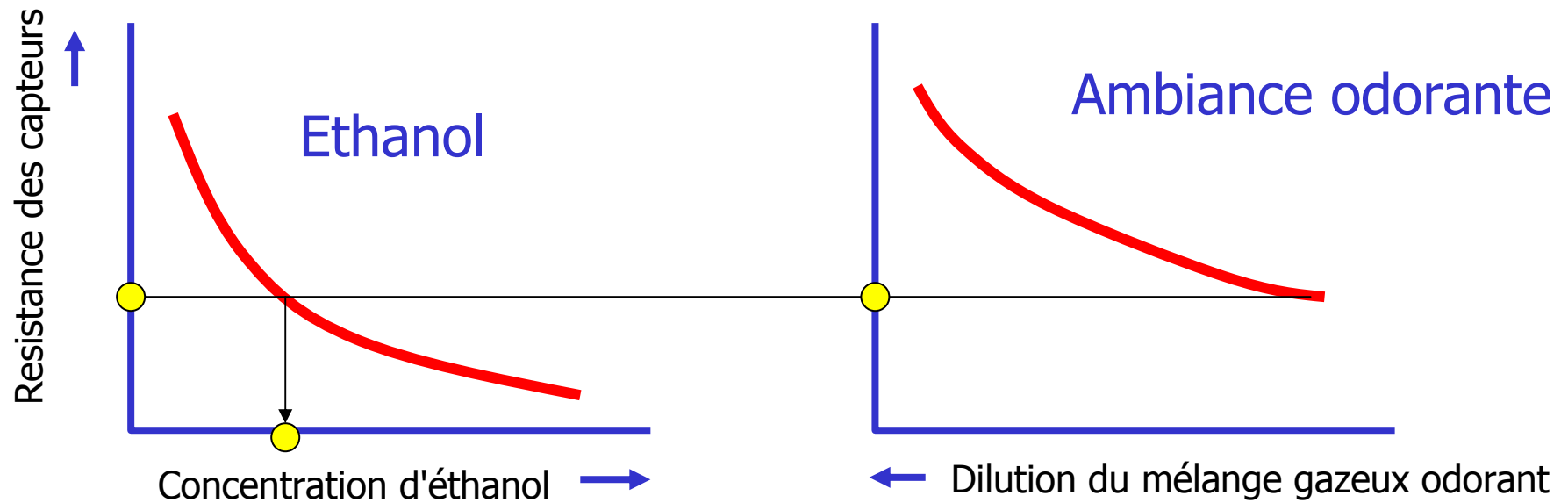
➔ Somme ?

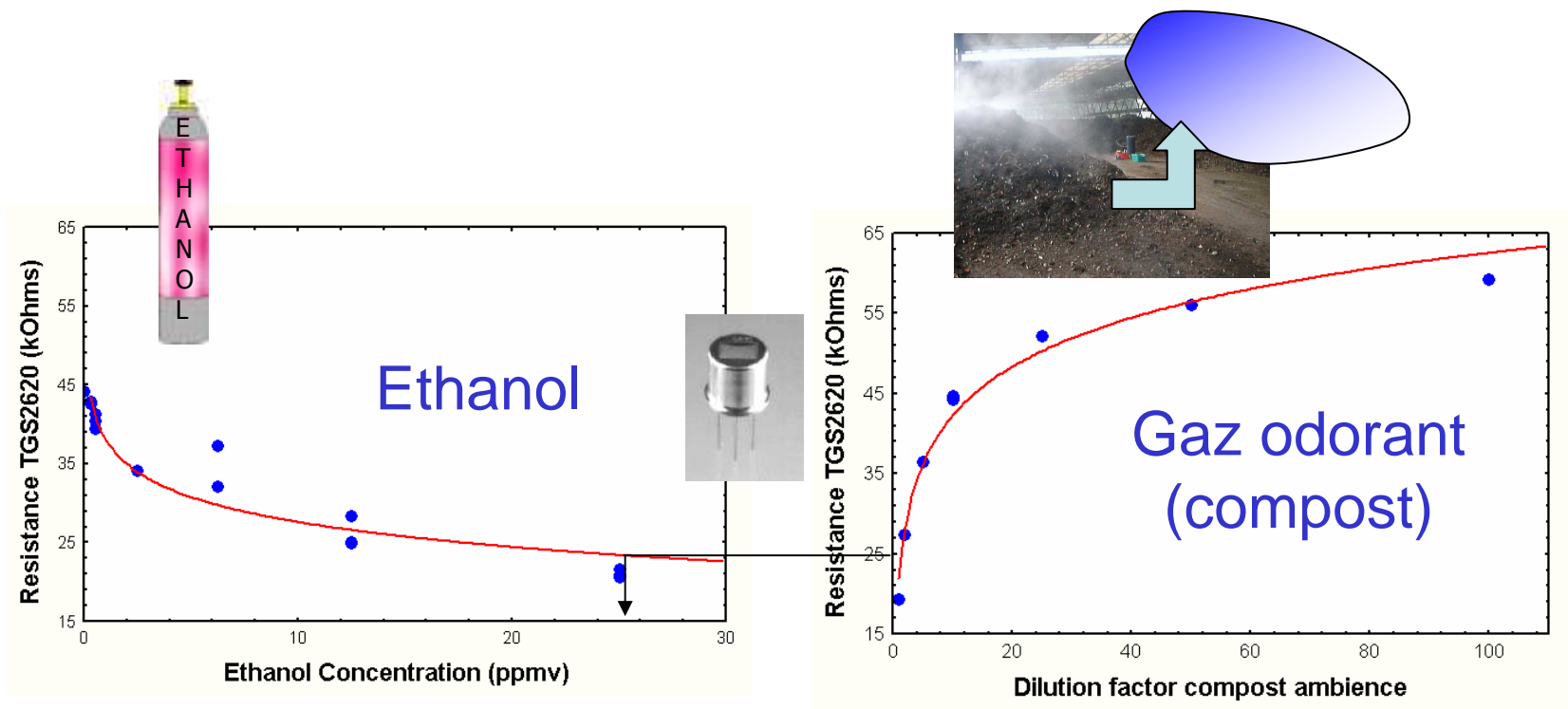
- pas représentative de la réponse globale du réseau de capteurs
- pas représentative de la concentration d'odeur (en uo/m³)

Pour avoir une idée de l'ordre de grandeur de la "concentration chimique globale" détectée par le réseau de capteurs



- Trouver une équivalence entre la "concentration chimique globale" du mélange odorant et la concentration de vapeur d'éthanol
- Caractéristique commune = signaux des capteurs





→ 1 ... 25 ppmv équivalents-éthanol

Quelle est la limite de détection en "équivalents-éthanol" ?

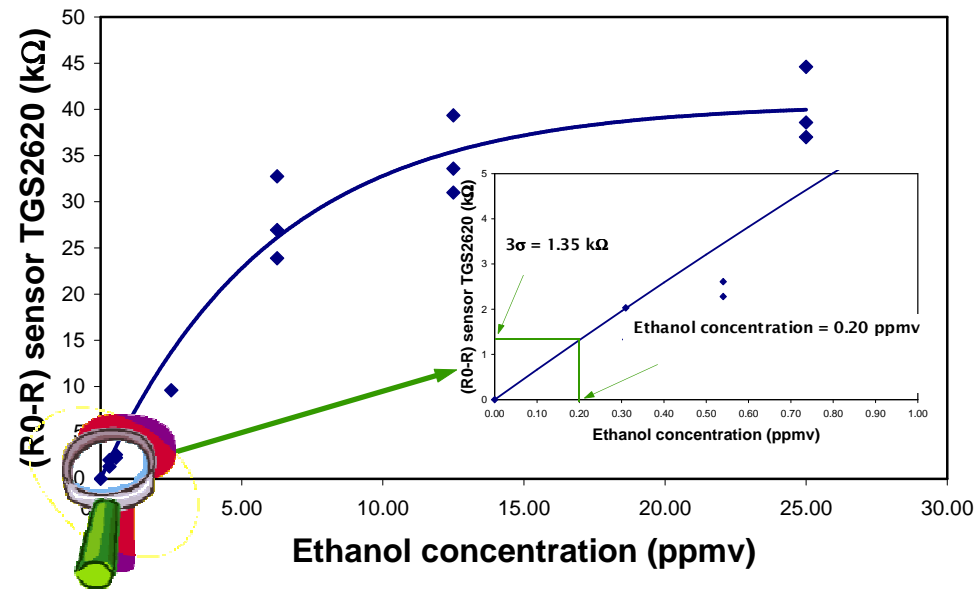
Limite de détection → rapport signal-bruit S/N = 3

Bruit = écart-type σ du signal stabilisé (p.ex. en $k\Omega$)

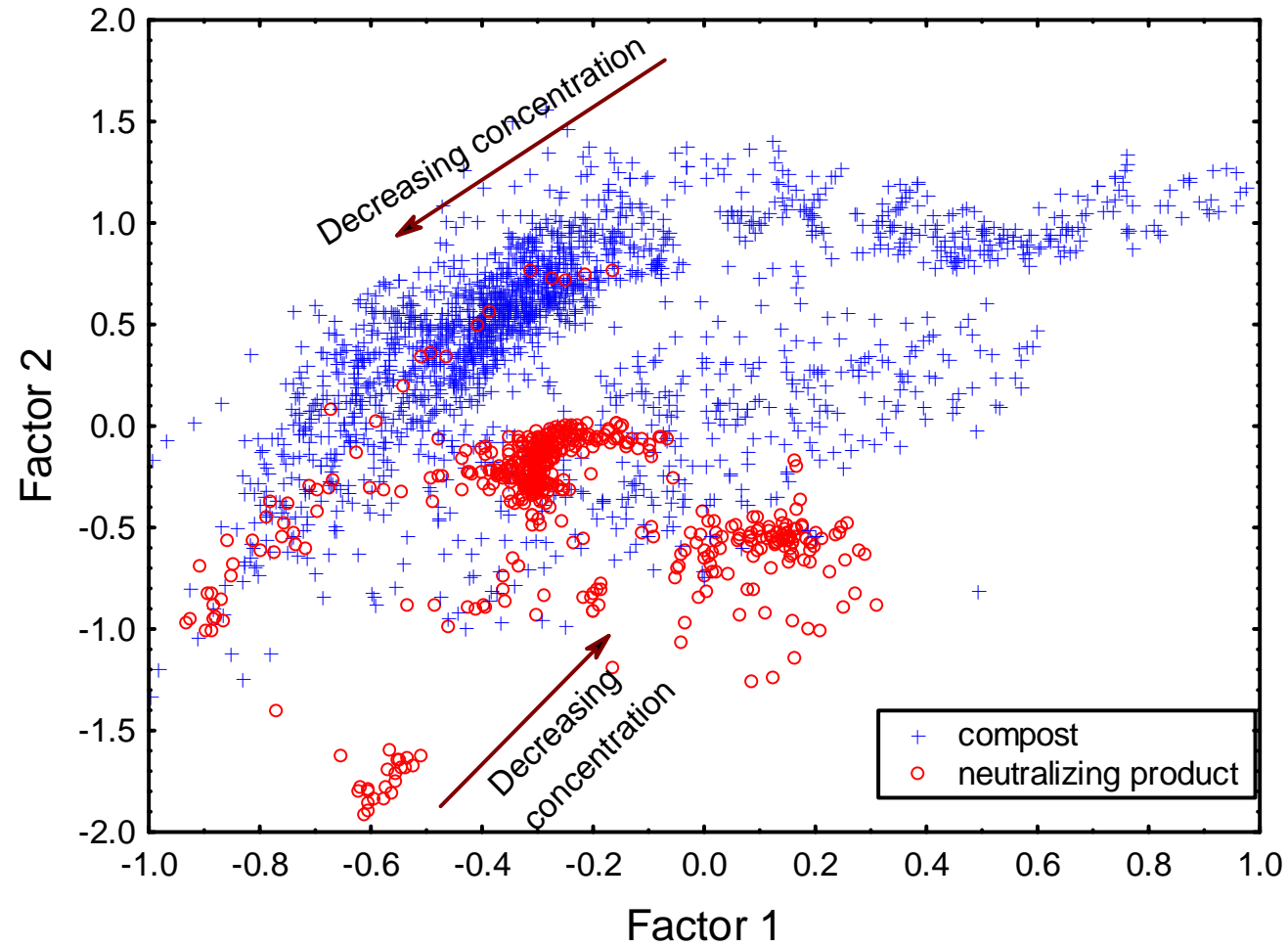
Pour notre configuration → $\sigma \in [0.07, 1.8k\Omega]$ selon le type de capteur

Correspond à **0.04 ... 1.03 ppm(v)** en équivalents-éthanol

Ou à une dilution de **20...100** pour un échantillon typique prélevé au dessus du compost



... et la limite de **résolution** peut encore être plus élevée
(p.ex. reconnaître une odeur de compost parmi d'autres)



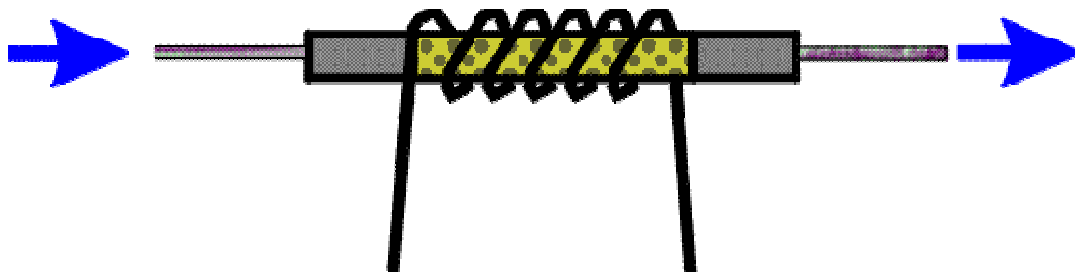
Lorsqu'on s'éloigne de la source, la concentration "globale" descend rapidement sous la limite de détection des capteurs gaz



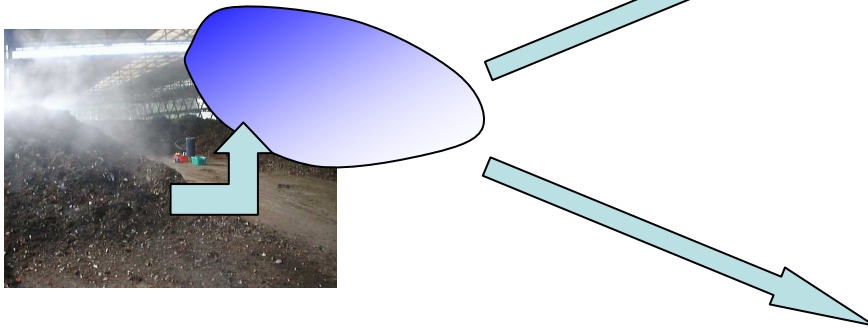
10 ppm ... 1 ppm ... 100 ppb ... 10 ppb



Il est donc essentiel d'améliorer le prélèvement du gaz



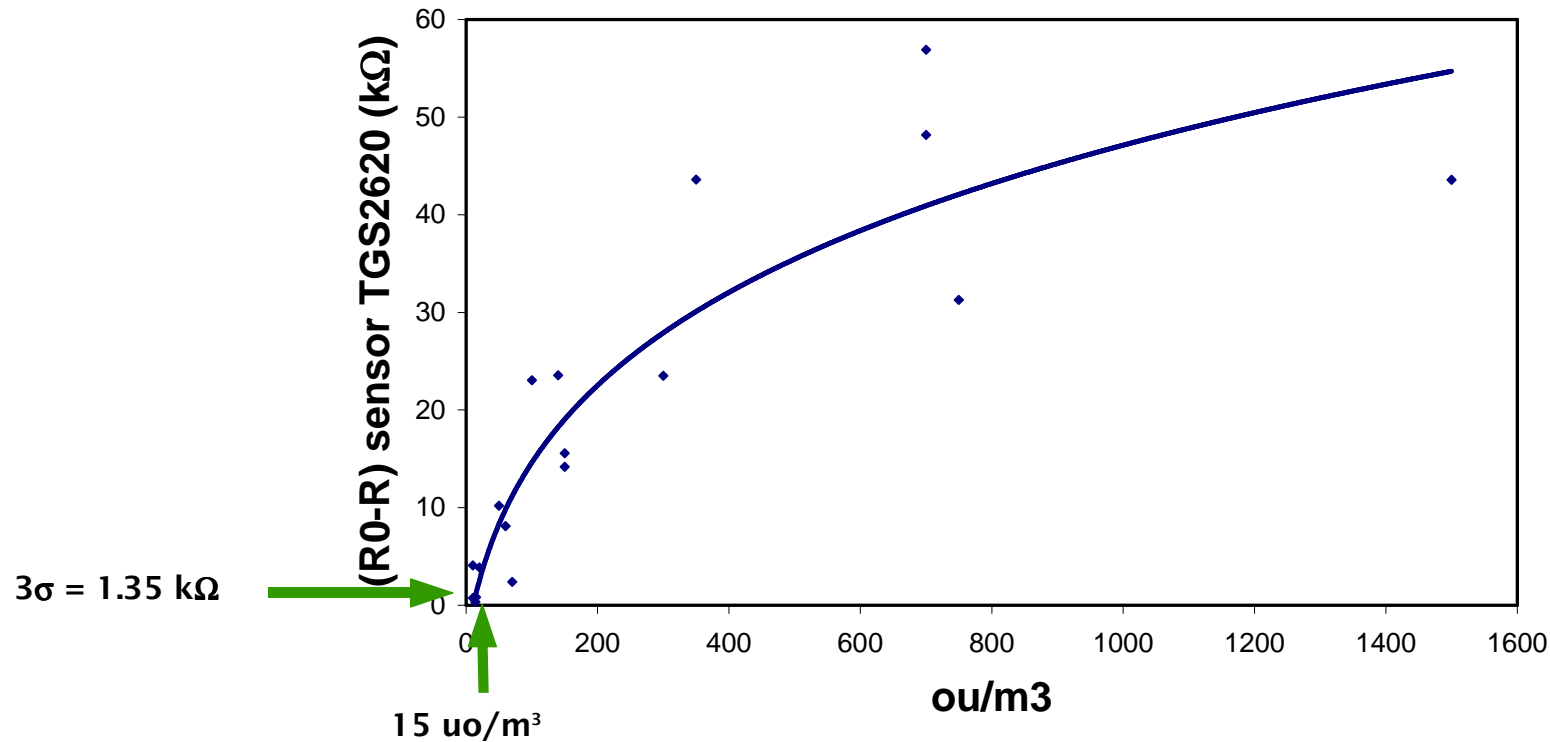
Correspondance avec la "concentration d'odeur"



Echantillons prélevés
en double



"Courbe de calibration" entre la concentration d'odeur et les signaux des capteurs



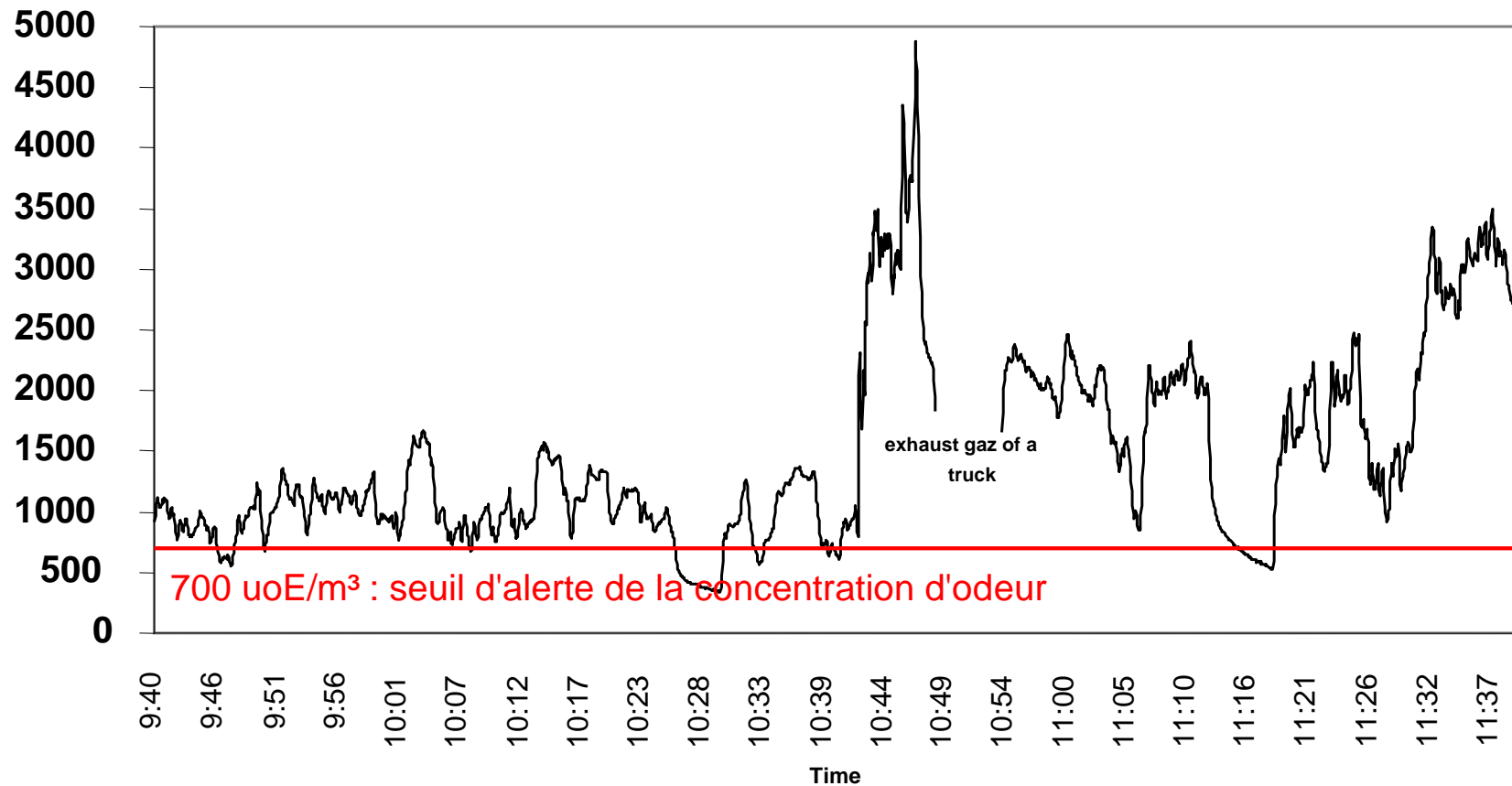
Pour une émission de compost, la concentration d'odeur correspondant à la limite de détection des capteurs est faible et proche du seuil de détection olfactif, défini par $1 \text{ uo}/m^3$.

Pour les différents capteurs : de 10 à $80 \text{ ou}/m^3$.

Problème supplémentaire : mesurer **une odeur**

Objectif du nez électronique : reconnaître une odeur (ex. : émission de compost) et la suivre en continu

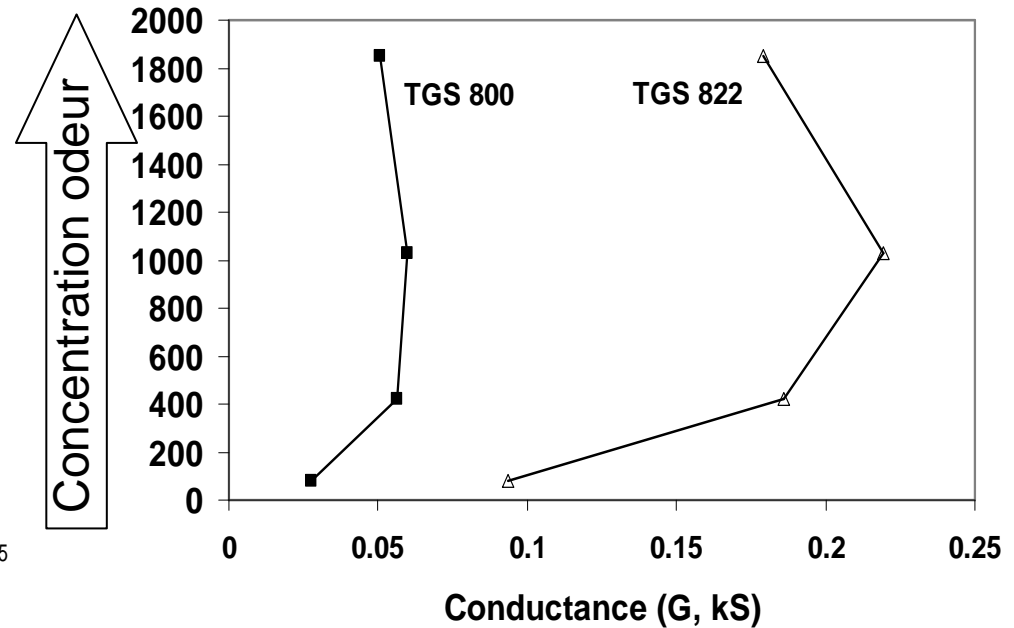
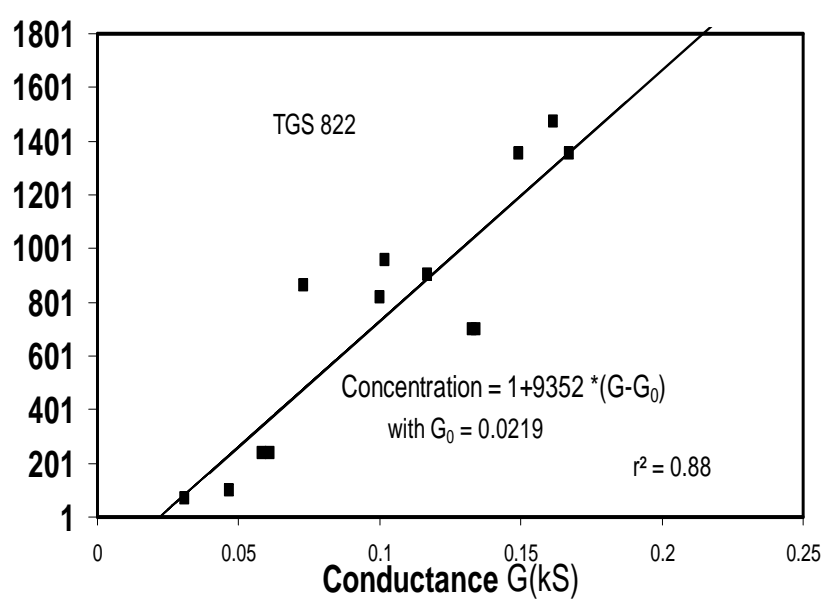
p.ex. : détecter que le niveau d'odeur dépasse un "seuil d'alerte"



Mais : les capteurs gaz répondent à la fois aux composés odorants et aux composés non-odorants



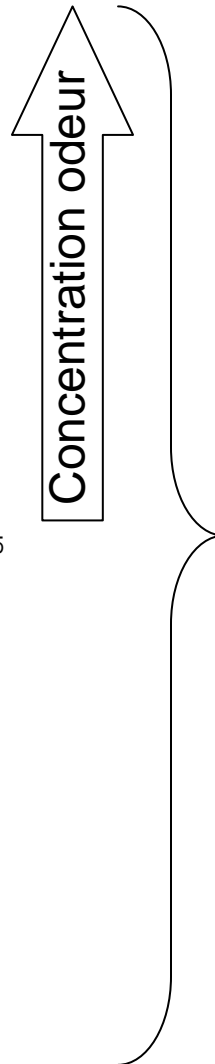
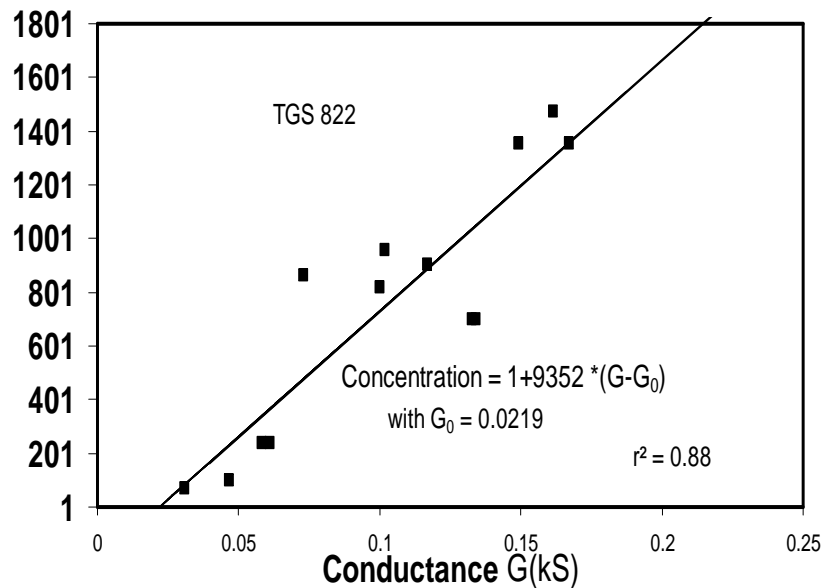
→ Le signal global du nez électronique \approx "odeur" si la concentration "chimique" est corrélée avec la concentration d'odeur



Mais : les capteurs gaz répondent à la fois aux composés odorants et aux composés non-odorants



→ Le signal global du nez électronique \approx "odeur" si la concentration "chimique" est corrélée avec la concentration d'odeur



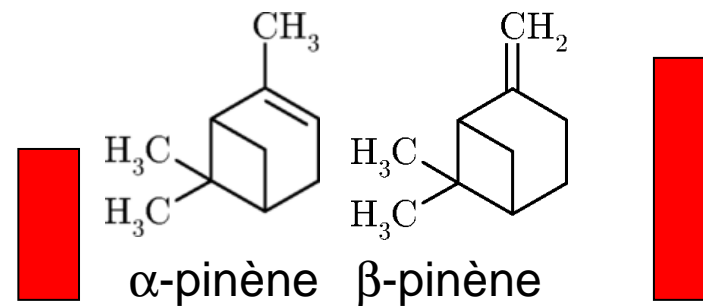
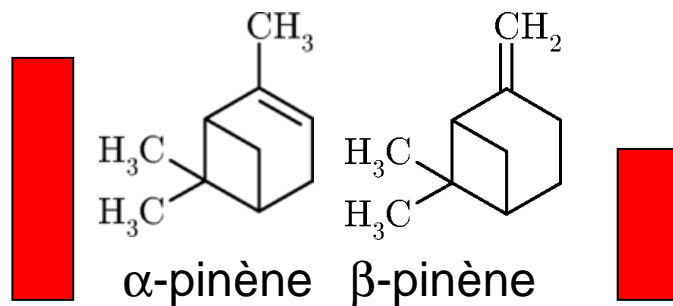
Conserver cette relation après préconcentration



Parfois : aucun composé spécifique, mais "signature" caractéristique

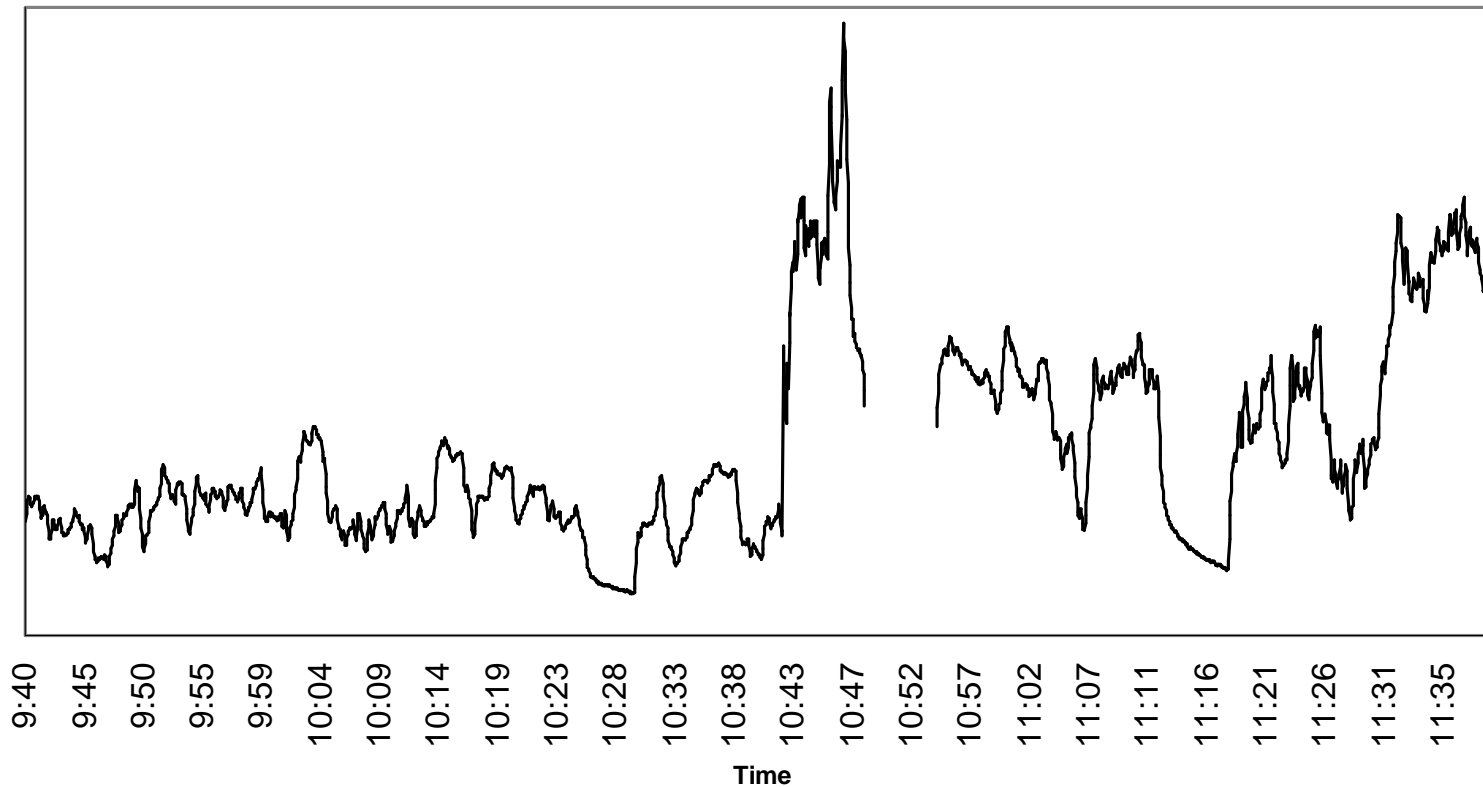
Exemple (pollution de l'air "indoor") :
détection de la contamination aux moisissures de matériaux en bois

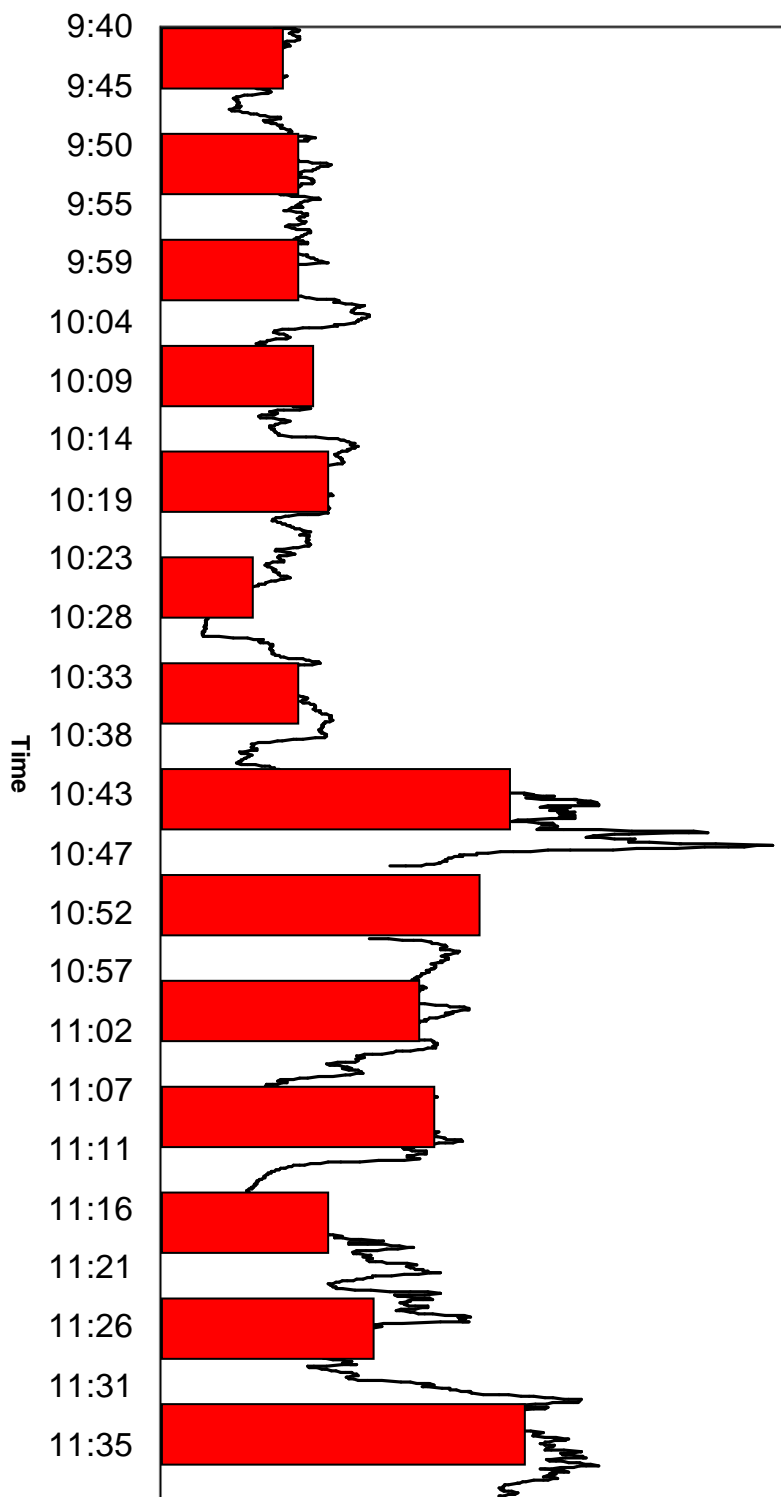
La signature fongique caractéristique ("odeur de moisi") n'inclut pas nécessairement de nouveaux composés par rapport aux matériaux sains



Idéalement

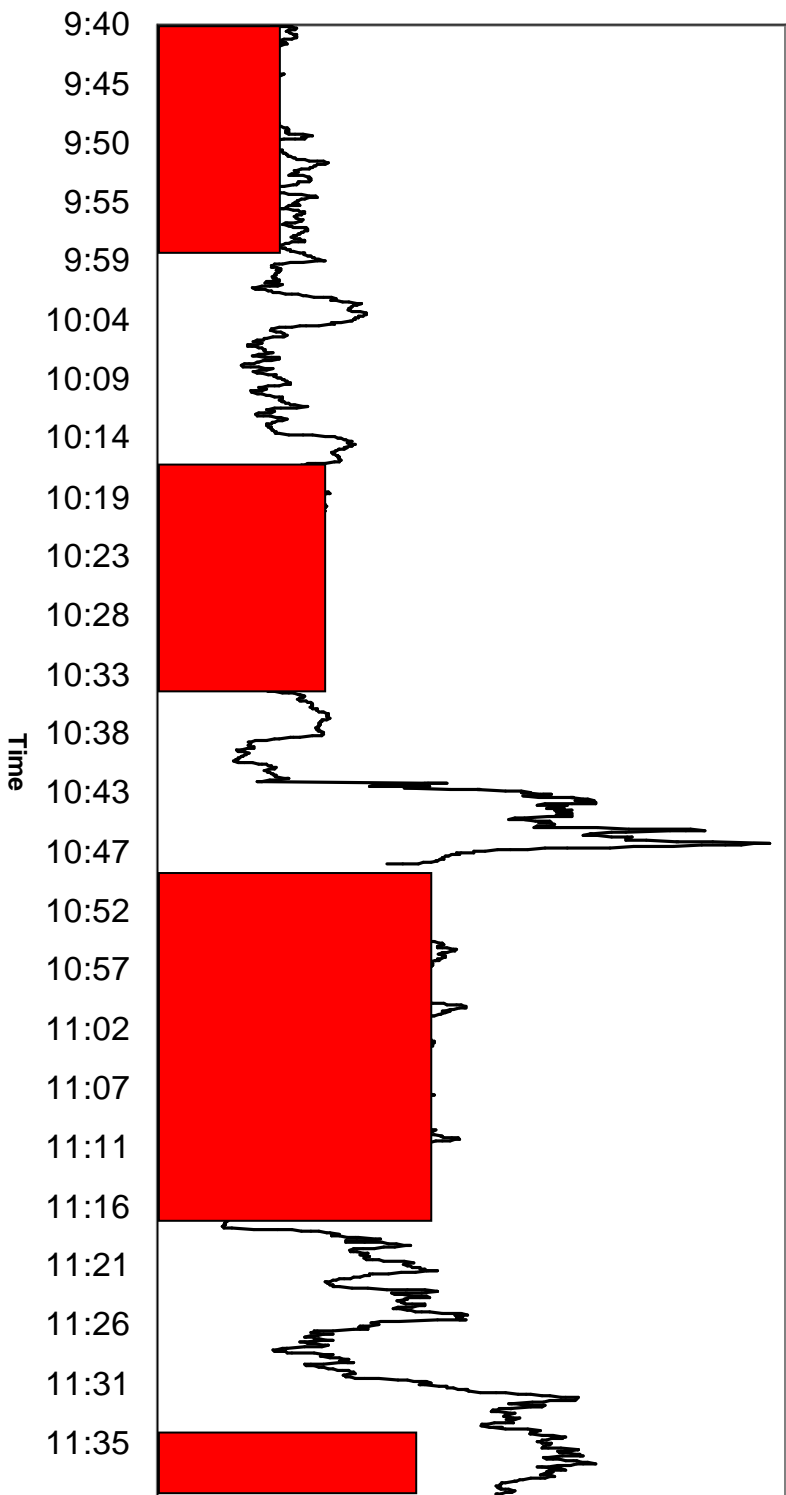
- Une pré-concentration devrait travailler de manière quasi continue, pour permettre l'analyse d'un grand nombre "d'échantillons" durant une période donnée.



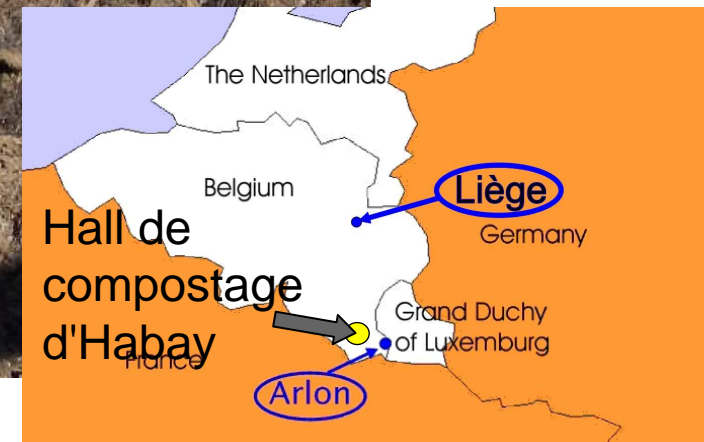


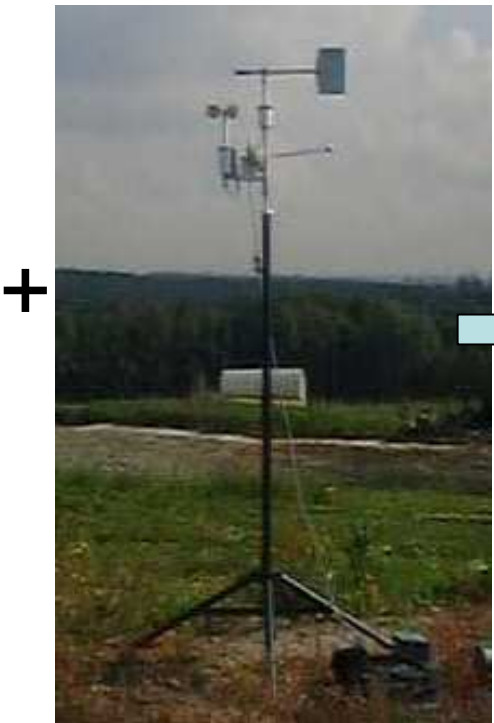
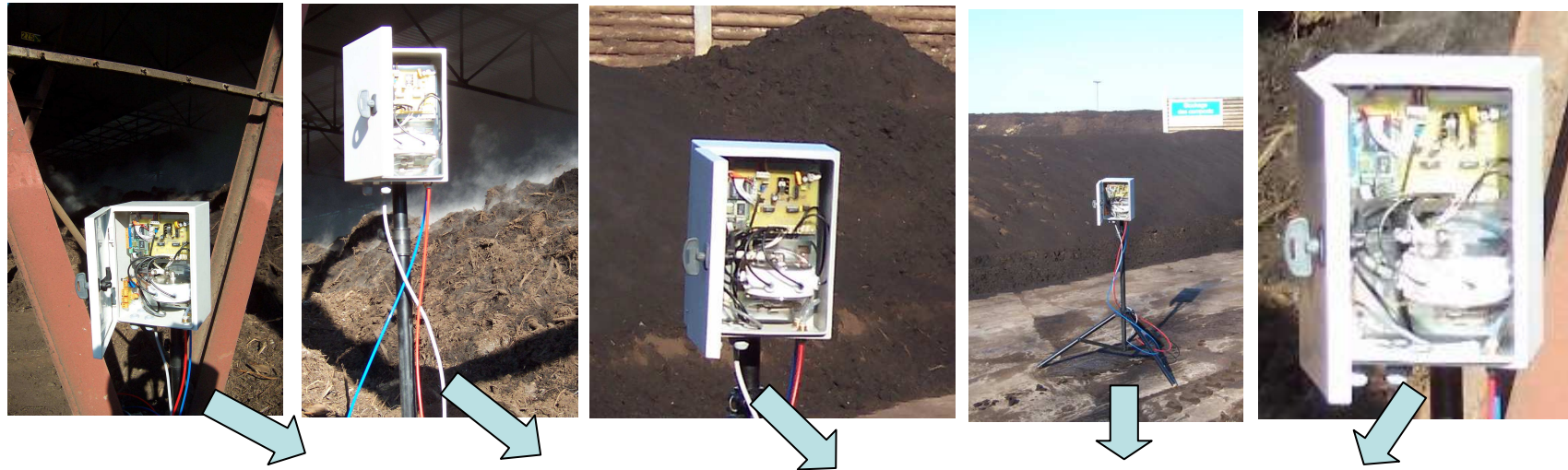
OK

Trop de "filtrage"



En dépit de ces problèmes, le nez électronique (même sous sa forme actuelle) peut s'avérer être un outil efficace pour le monitoring d'odeurs environnementales





E-Nose FIDO

Graphique Capteurs TGS (Affichages en kilo Siemens)

Graphique Sondes T° (°C) et Humidité relative (%)

Capteur 1 Capteur 2 Capteur 3 Capteur 4 Capteur 5 Capteur 6
Réseau 0.42 0.37 0.07 0.03 0.12 0.48 **New**
 Temp.Box Hi.Box Temp.Ext Hr.Ext **Start**
Param. 59.25 22.44 22.20 58.74 Pas de Temps 0.50 **Stop**

Date et Heure: 8/05/2003 10:46

Détection d'un événement "odeur": **augmentation_odeur**

Fréquence (%): 0 (Sur 1 heure)

Concentration odeur (uo/Nm³): 3726 (Seuil Alerte: 2500)

Durée max. (min): 0 (Sur 1 heure)

Origine de l'odeur: **compost**

Direction du Vent: S Localité: Vieille

ALARME

ODOMETRIC