

Odeurs et nuisances : Mesurer la pollution de l'air autrement

Prof. A-C ROMAIN
Head Labo SAM
Sensing of Atmospheres and Monitoring
UR Sphères



0- Contextualisation :
l'air et la santé

1- La mesure

2- La pollution olfactive

3- Les dimensions de l'odeur

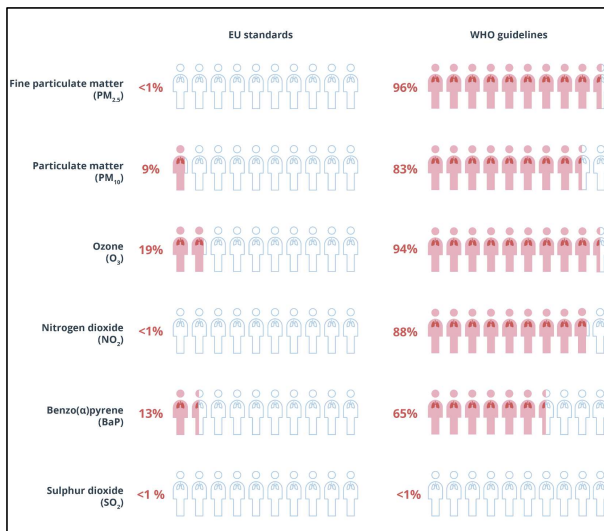
4- Mesurer l'odeur

5- Et la nuisance?

0- L'air et la santé...

17 octobre 2013, Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC)

La pollution de l'air reconnue comme une des premières causes environnementales de décès par cancer (cancer du poumon et de la vessie)

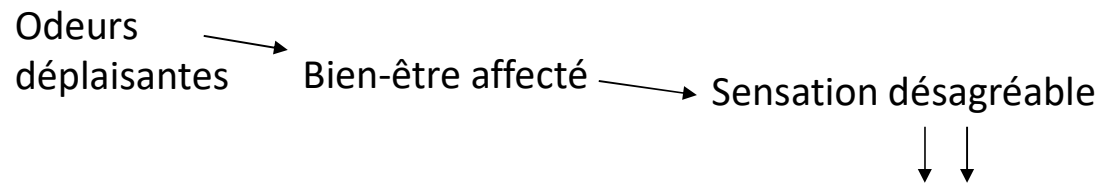


décès prématurés estimés sur base des
concentrations chimiques
calculés sur **maladies cardiaques + AVC,**
cancer du poumon et maladies respiratoires

Les directives européennes prescrivent
des valeurs de concentration et d'émission
pour plusieurs polluants selon leur impact
sur la santé et les écosystèmes



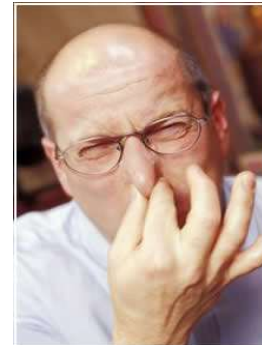
et l'odeur?



Déclenchement de réactions réflexes nocives pour l'organisme

- sentiments de contrariété : mauvaise humeur
- sentiments d'anxiété
- réactions dépressives
- sentiments de fatigue
- nausées et vomissements
- céphalées
- troubles respiratoires
- troubles du sommeil
- pertes d'appétit

→ **Symptômes organiques à
Concentrations < seuils toxiques « classiques »**



Nuisance

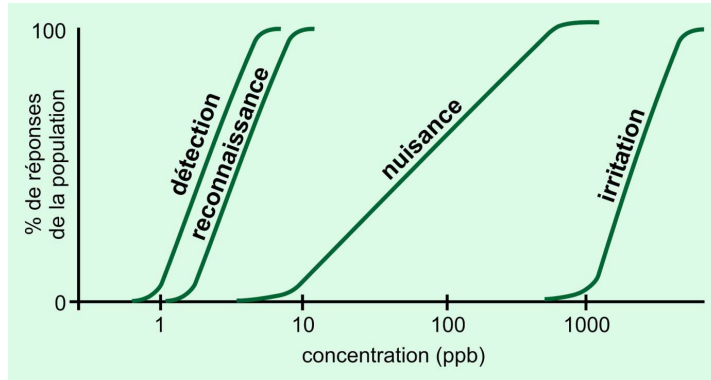
**si perturbation de
notre bien-être et
de notre santé**

Seuils toxiques

(ppm)	Seuil olfactif	Seuil d'anesthésie	Seuils létaux	Seuil effets irréversibles
H ₂ S	0,02-0,1	150	372 (60 min) 1521 (1 min)	80 (60 min) 320 (1 min)

Ref : *Seuils de Toxicité Aiguë Hydrogène Sulfuré , Rapport final, Tissot V, Ineris, 2000*

Seuils olfactifs



Ref : *Shusterman, D., Critical review : the health significance of environmental odor pollution, Archives of environmental health, 47, 1 (1992) 76-87.*

FSO (Facteur de Sécurité Olfactive)

Seuil de toxicité/ Seuil olfactif

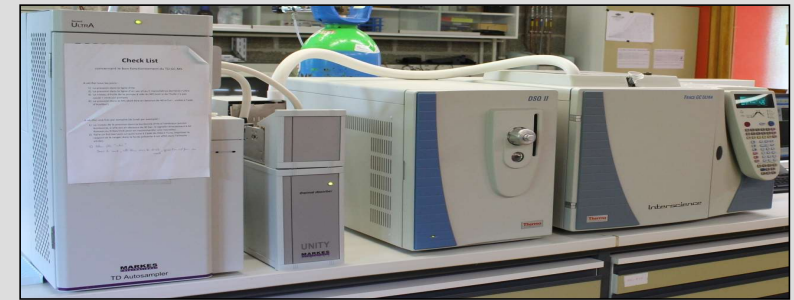
1- La mesure

Mesurer pour comprendre,

Comprendre pour agir.

➡ Mesurer la concentration chimique des polluants tels que
NO₂, PM_{2.5}, COV, CO, etc...
en µg/Nm³

- Stations de surveillance de la qualité de l'air
(Analyseurs physico-chimiques)
- Satellites (Analyseurs physico-chimiques)
- Capteurs dits "low-cost" ou microcapteurs
- Prélèvements passifs suivis d'analyses en labo
- Bio-indicateurs : ex : les abeilles (valeur intégrée)
- Crowd Sensing



La gestion d'une pollution passe par sa mesure

Et la mesure d'une odeur?

Did you ever measure a smell?

Can you tell whether one smell is just twice strong as another?

Can you measure the difference between one kind of smell and another?

It is very obvious that we have very many different kinds of smells, all the way from the odor of violets and roses to asafetida.

*But until you can measure their likeness and differences,
you can have no science of odor.*

If you are ambitious to find a new science, measure a smell.

Alexander Graham Bell (1914)

2- La pollution olfactive

Pollution olfactive =

Emission de mauvaises odeurs dans l'environnement
par des activités industrielles, agricoles et de traitement de déchets
susceptible d'incommoder le voisinage



1. **Exigence d'une vie saine, plus confortable**

odeur « polluante » = saleté, maladie, danger
sensibilité accrue

2. **Croissance économique**

rapprochement habitat - activités génératrices de mauvaises odeurs

3. **Autres pollutions sous meilleur contrôle**

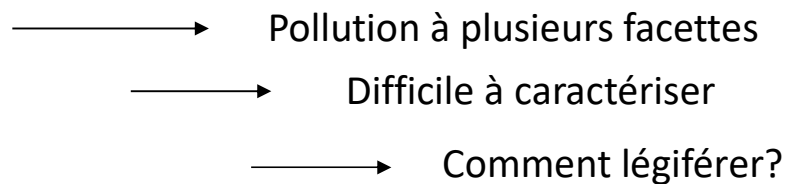
législation ?



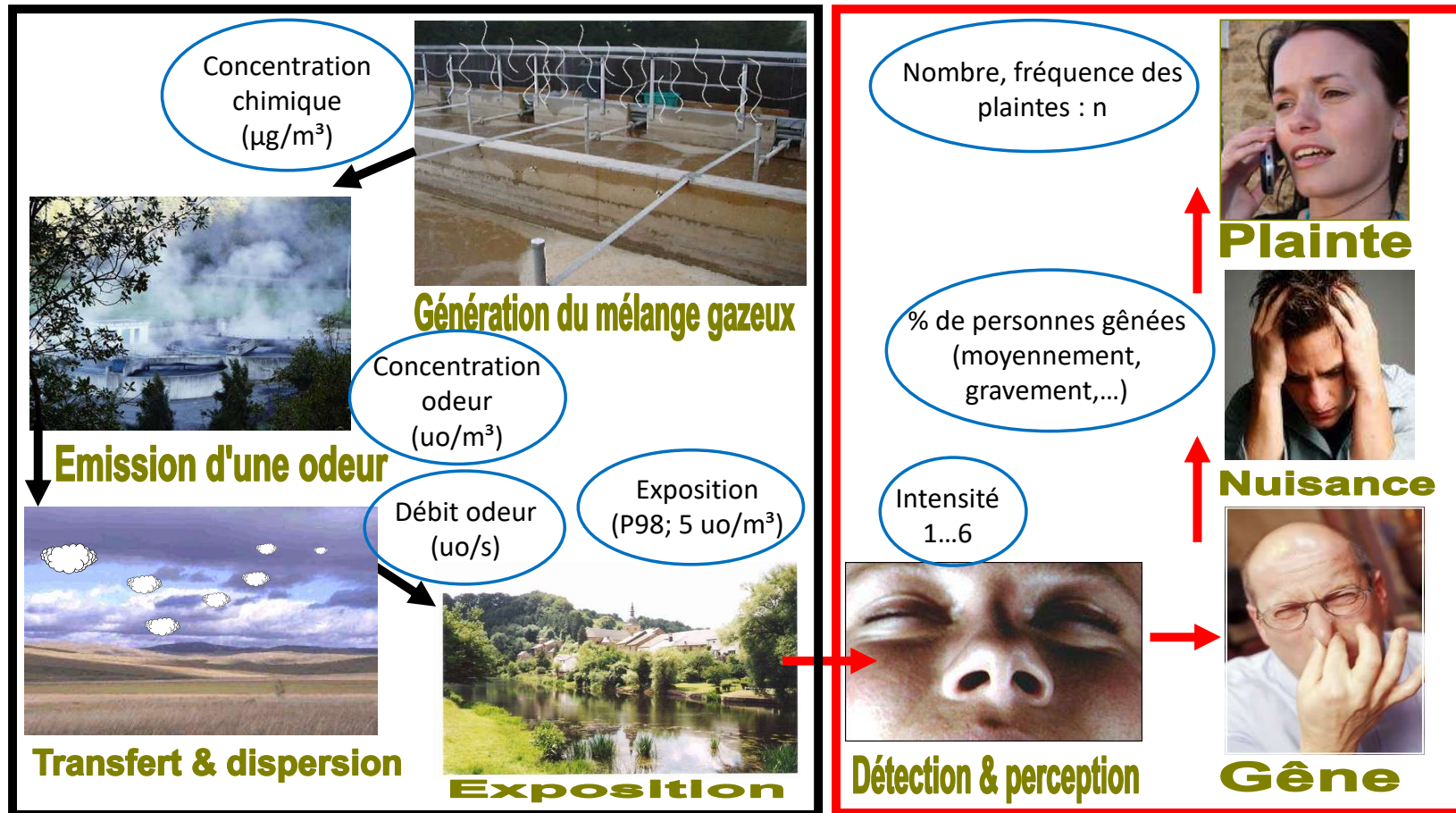
Nombre de plaintes

Pollution olfactive

- fait appel aux sens : **olfaction**, subjectivité, contexte social
- plus complexe que les autres pollutions sensorielles
sonore ou visuelle
- grandeur **chimique** et non physique
- « on peut se boucher les oreilles mais pas arrêter de respirer! »



Pollution ? → Nuisance



3- Les dimensions de l'odeur

1. Intensité de l'odeur

Force de la perception

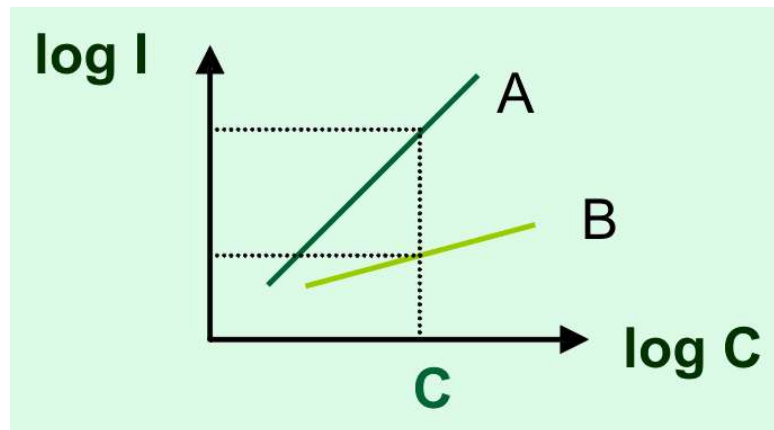
Plusieurs lois qui modélisent la relation entre l'intensité de la perception et la concentration

Loi de Stevens

$$I = kC^n$$

Loi de Weber-Fechner

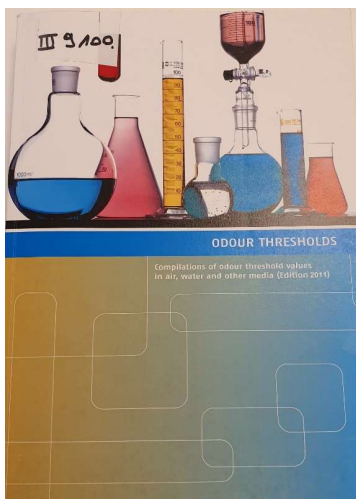
$$I = k \log \frac{C}{C_0}$$



2. Concentration de l'odeur

Si une seule substance odorante

Concentration odeur ↔ Concentration chimique



Composé	concentration moyenne au seuil de perception olfactive (mg/m³)
Triméthylamine	0.0059
Acide butyrique	0.014
Sulfure d'hydrogène	0.026
Ammoniac	4.1
Benzene	12
Ethanol	55

Si mélange de plusieurs substances

Odeur du mélange ≠ somme des odeurs individuelles
car Synergie et Inhibition entre molécules.

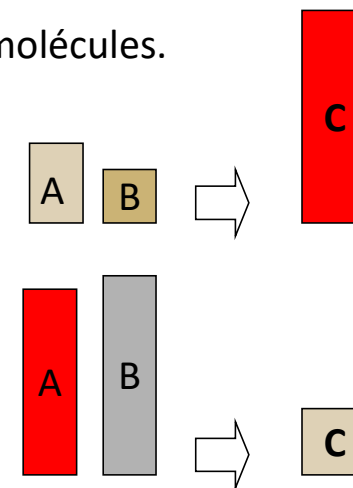
Pour la perception des odeurs,

$$1 + 2 = 4$$

$$1 + 2 = 2$$

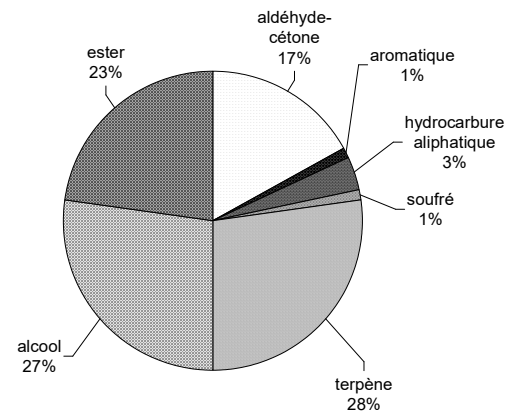
et

$$1+2 \neq 3$$



Prédire l'odeur sur base de la composition chimique ! PRUDENCE

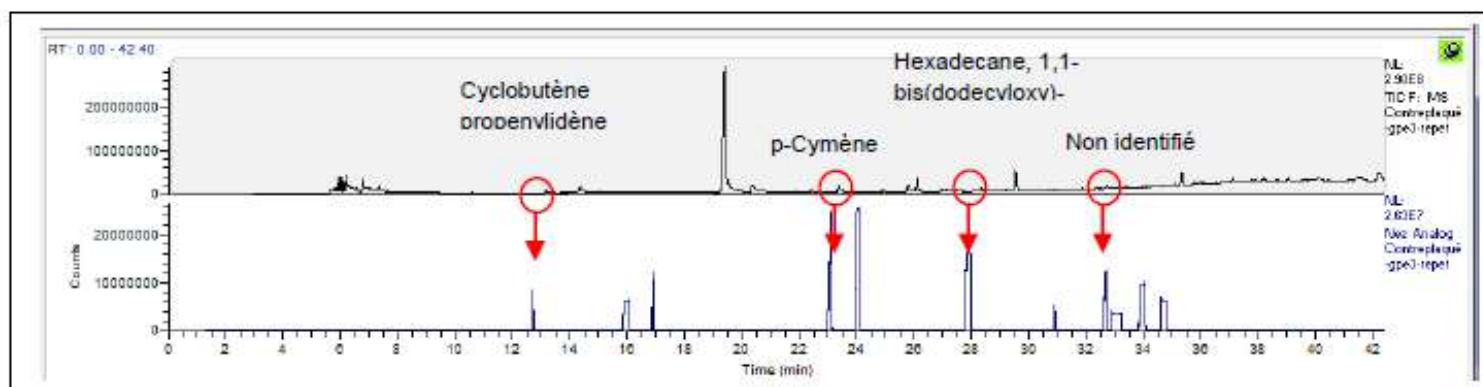
Les odeurs émises dans l'environnement et entrainant des nuisances sont rarement simples



Famille	Origine	Composés	Descripteurs
Composés azotés	Dégradation de l'urine, des protéines, des composés organiques azotés	Ammoniac NH_3 Diméthylamine $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ Méthylamine $(\text{CH}_3)\text{NH}_2$ Éthylamine $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ Skatole $\text{C}_9\text{H}_9\text{NH}$ Indole $\text{C}_8\text{H}_7\text{NH}$ Cadavérine $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$ Pyrazines $\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2$	piquant, irritant poisson poisson, âcre piquant fécal viande avariée
Composés soufrés	Réduction des sulfates et sulfonates	Diméthylsulfure $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$ Diméthylsulfure $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ Diéthylsulfure $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{S}$ Méthanethiol CH_3SH Éthanethiol $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$ Sulfure d'hydrogène H_2S	soufré, putride chou pourri éthérée soufré, fromage soufré, oignon œuf pourri
Acides organiques	Dégradation des carbohydrates (sucres et graisses)	Acide acétique CH_3COOH Acide butyrique $\text{C}_4\text{H}_7\text{COOH}$ Acide valérique $\text{C}_5\text{H}_9\text{COOH}$	vinaigre beurre rance sueur
Aldéhydes		Méthanal (formaldéhyde) H_2CO Éthanal $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$ Butanal $\text{C}_4\text{H}_9\text{O}$	âcre poubelle rance
Cétones		Acétone $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	doux, pomme

Analyse chimique

Chromatogramme / Olfactogramme (sniffogramme)



2. Concentration de l'odeur

La notion « concentration d'odeur » nécessaire si plus qu'un seul composé chimique

→ "Concentration d'odeur" (Zwaardemaker, 1886)

≡ nombre de fois qu'il faut diluer l'odeur dans de l'air pur pour arriver au seuil olfactif d'une personne "moyenne"

$$Z = \frac{V_0 + V_i}{V_0}$$



Concentration au seuil de perception = 1 uo/m³

EROM = masse de l'odeur de référence

masse de n-butanol qui est « juste détectable » quand elle est évaporée dans 1 m³ de gaz neutre (123 µg)

"1 uo_E/m³" = 40 ppbv de n-butanol

3. Qualité ou caractère de l'odeur

Odeur de choux, de poubelles, de café, ...



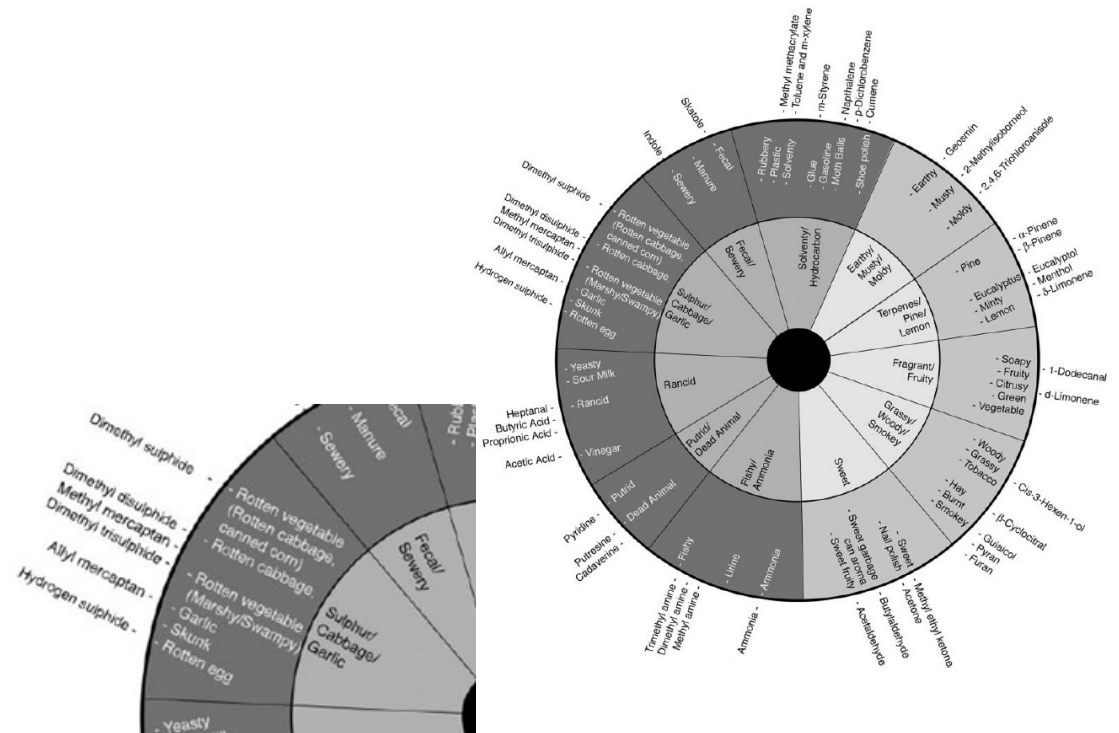
*sulfure de diméthyle,
mercaptans*



sulfure d'hydrogène

Source	Description de l'odeur résultante
déchets des fabriques de conserves	œuf pourri
peinture (émail)	grasieux, huile de lin
fermentation	levure, vieille bière

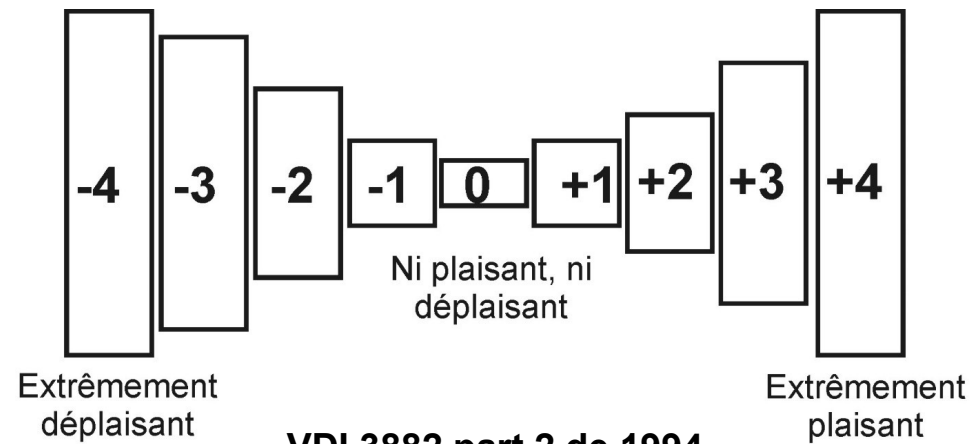
JAIN, R.K., URBAN, L.V., STACEY, G.S. (1981) *Environmental Impact Analysis*. - Van Nostrand Reinhold Company - London - New York.



D'après Synder et al, Proceedings of the 5th IWA conference on odours and air emissions, San Francisco, USA, March, 4-7, 2013.

4. Tonalité affective (hédonique)

Caractère agréable ou désagréable

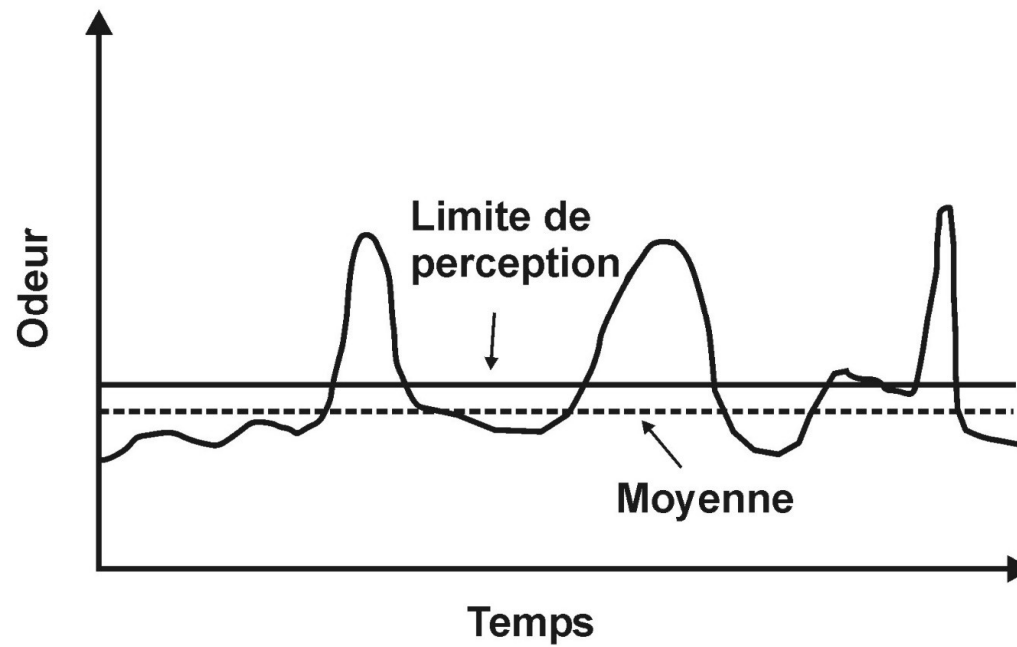


VDI 3882 part 2 de 1994

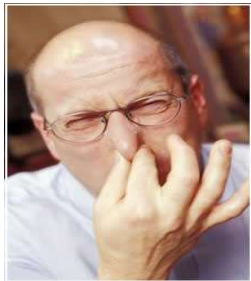
5. Dimension temporelle

Fondamentale pour évaluer la nuisance

Durée, fréquence, moment de la perception

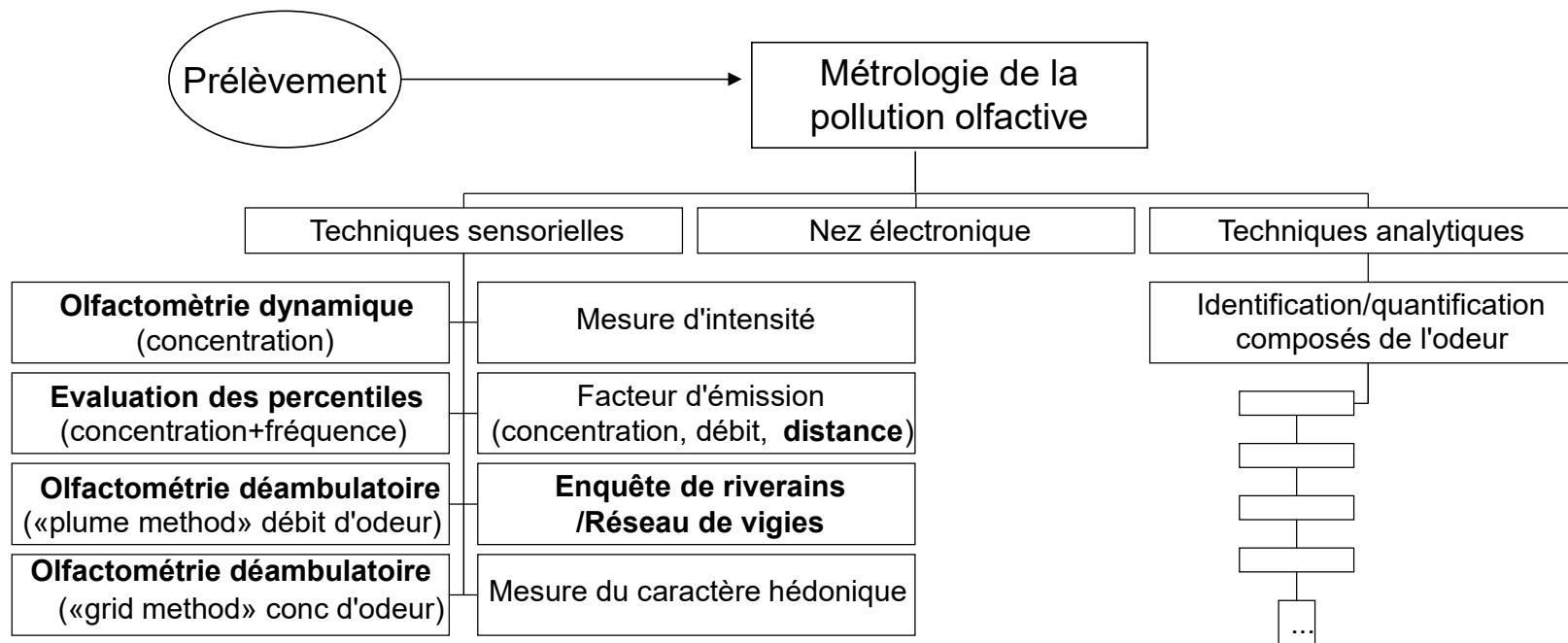


Combinaison de plusieurs dimensions : FIDOR



- **F**réquence : Nombre de fois que l'odeur est détectée sur une période donnée en un endroit donné
- **I**ntensité : "Force" de l'odeur
- **D**urée : Durée de l'exposition
- Caractère **O**ffensif : Tonalité hédonique (bon ou mauvais)
- Caractéristique du **R**écepteur : Contexte économique, social, culturel, ...

4- Comment mesurer la pollution olfactive

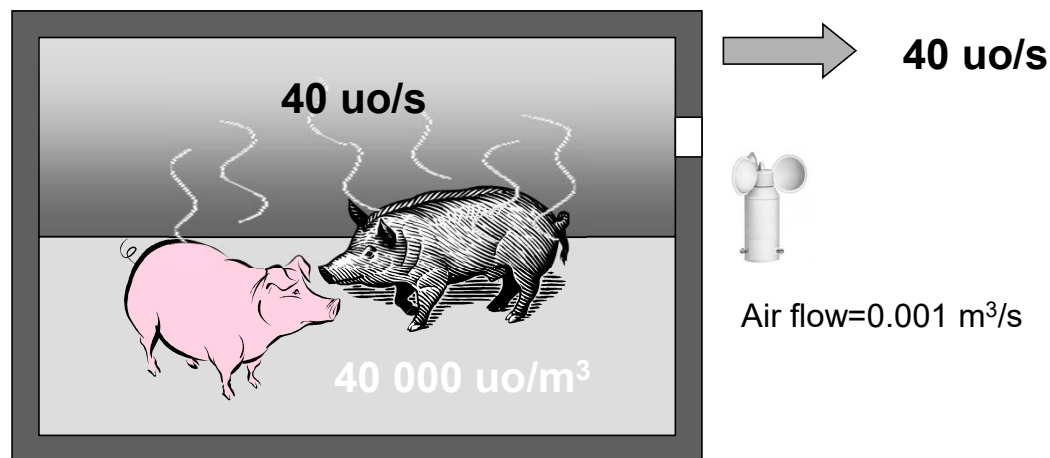


À la source d'odeur (émission)

Collecte de l'échantillon.

Pour évaluer « l'impact » dans le voisinage, la concentration de l'odeur n'est pas suffisante.

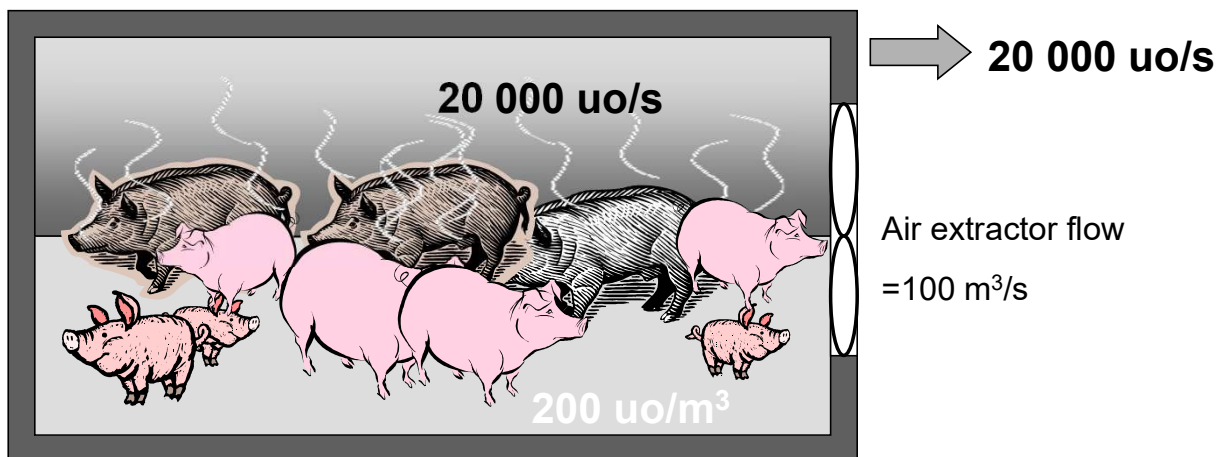
Il faut connaître le **débit d'odeur**



Exposition (milieu récepteur, « immission »)

Prélèvement déconseillé

- ✓ Olfactométrie déambulatoire
- ✓ Modélisation de l'impact connaissant le débit à la source
- ✓ Observatoire de riverains



Romain, A. C., Nicolas, J., Cobut, P., Delva, J., Nicks, B., & Philippe, F. X. (2013). Continuous odour measurement from fattening pig units. *Atmospheric Environment*, 77, 935-942.

Mesures sensorielles

Préférence à l'évaluation quantitative

Mesure de la concentration plutôt que de l'intensité



débit d'odeur (concentration x débit du rejet)
mesure standardisée par la norme EN 13725

unités

Concentration d'odeur européenne : uo_E/m^3

Débit d'odeur : uo/s

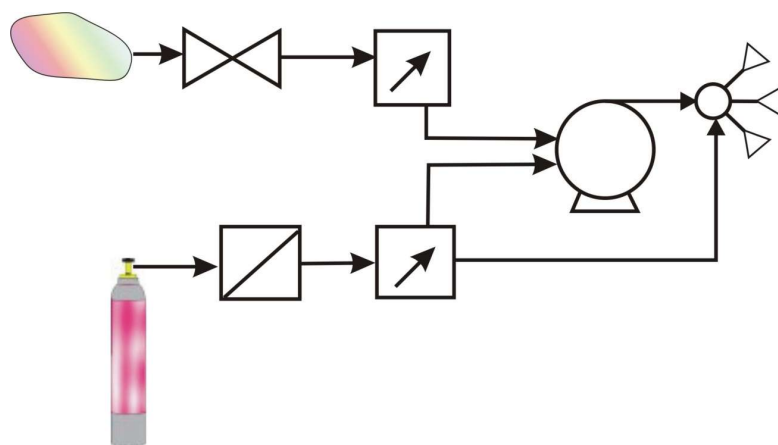
Percentile

Distance source – habitation : sur base de facteurs d'émission

Peak to mean

Olfactométrie dynamique au seuil de perception (EN 13725)

Principe : diluer l'échantillon odorant dans un olfactomètre



Exemple de mode de présentation

- présenter l'odeur diluée à un jury
- diminuer le taux de dilution jusqu'à atteindre la perception
 - Min 4 personnes
 - 20 l/min par personne
 - max 15 secondes pour réagir (min 8 sec)
 - 2 cônes de perception
 - l'odeur diluée est présentée dans un des deux cônes



Mesure de l'intensité

proche du ressenti des riverains/nuisance mais pas reconnue par le législateur car:

- considérée comme trop subjective
- pas de standard européen pour l'environnement
standards français et allemand

- ✓ Évaluation de l'efficacité de produits
- ✓ Situations où concentrations d'odeur faibles
- ✓ Evaluation du nez des riverains

Echelle catégorielle

(VDI 3882-1)

Odour	Intensity level
Extremely strong	6
Very strong	5
Strong	4
Distinct	3
Weak	2
Very weak	1
Not perceptible	0

Echelle de référence par équivalence olfactive

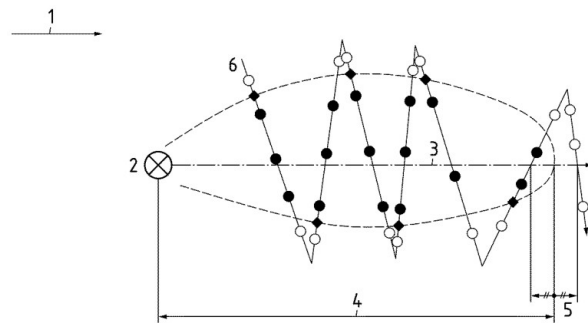
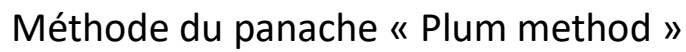
(AFNOR X-43-103 - ASTM E 544-75)



Olfactométrie déambulatoire

Mesure par des experts de l'exposition (milieu récepteur)

Approuvée par le législateur



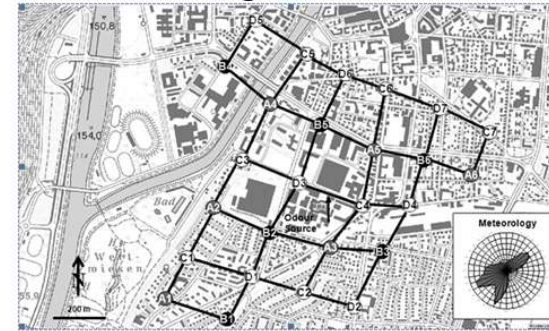
EN 16841-2

Préférée en Belgique

Dynamique

NBN depuis 11/2016

Méthode de la grille « Grid method »



EN 16841-1

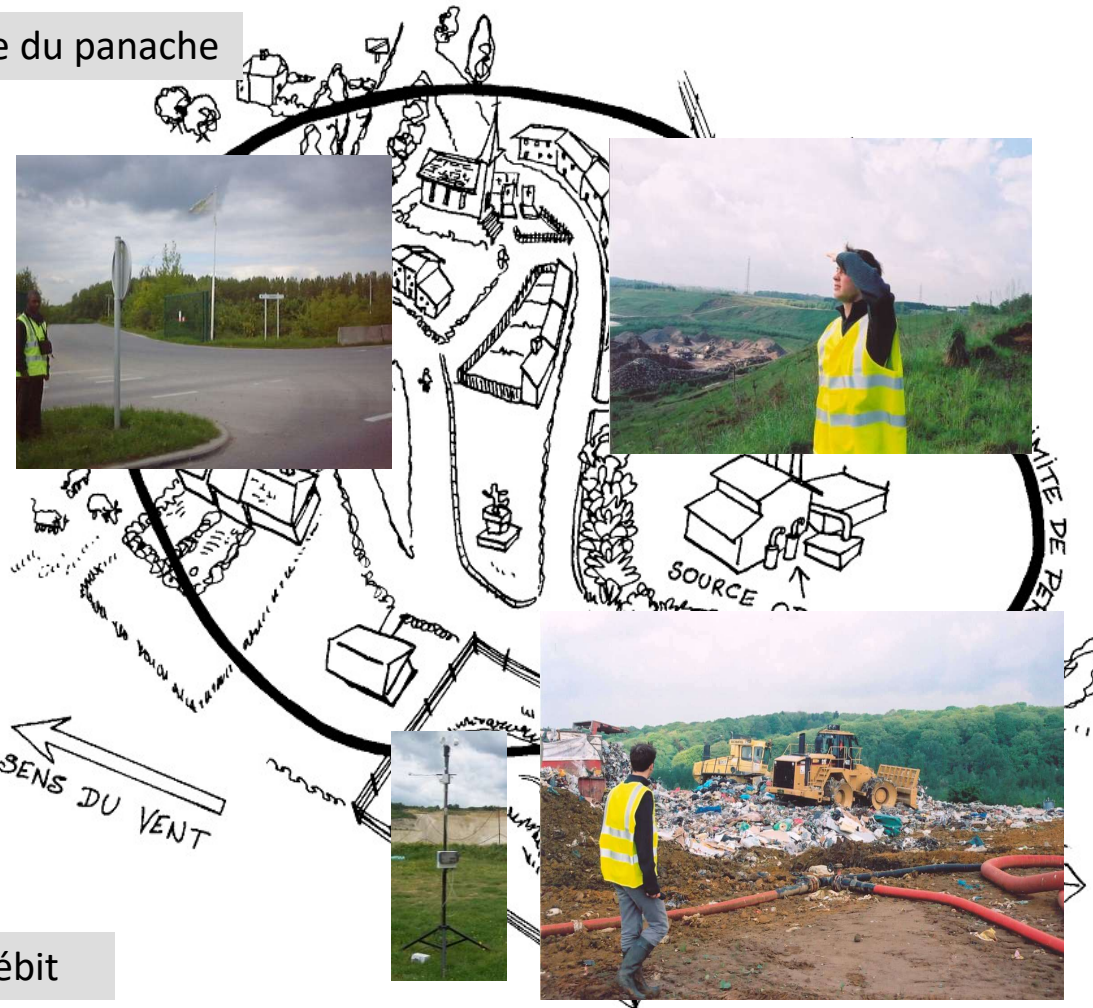
Surtout appliquée en Allemagne

Stationnaire

Evaluer l'étendue du panache



Calculer le débit



5- Et la nuisance?

Comment évaluer l'exposition dans le voisinage?

➤ **Modèles de dispersion**

• Débit d'odeur $\xrightarrow{\text{Modélisation}}$ Concentration d'odeur $\xrightarrow{\text{Pondération}}$ « nuisance »

➤ **Distance** entre la source et le récepteur ($1\text{uo}/\text{m}^3$)

- Olfactométrie déambulatoire
- Facteur d'émission

➤ **Riverains**

- Enquête
- Suivi (vigies)

*Ref : Summary and Evaluation of the Odour Regulations Worldwide, Atmosphere 12(2):206 (2021),
DOI: 10.3390/atmos12020206*

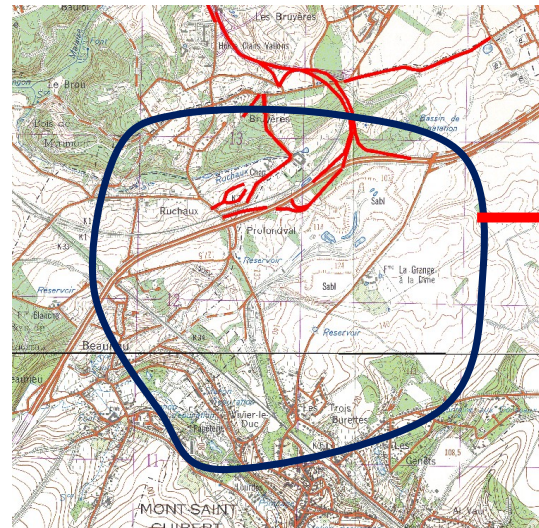
➤ Modélisation de la dispersion pour évaluer l'EXPOSITION

Quand débit d'odeur connu, évaluer la concentration d'odeur dans le voisinage

Détermination du percentile spatio temporel

Ces courbes délimitent des zones géographiques

Courbe sur laquelle, pendant x % du temps, on perçoit une concentration inférieure à y uo/m³



On reste sous 5 uo/m³ **juste**
pendant 98% du temps

➤ Implication du riverain



- Registre des plaintes

- Indicatif d'événements soudains (≠ enquête ou vigies)
- Parfois beaucoup de plaintes d'une même personne
- Pas de plainte si riverains absents
- Les "1", mais pas les "0"
- Appel téléphonique ➔ éveille le soupçon et rappelle la nuisance
- Réglementation basée sur le nombre de plaintes ???

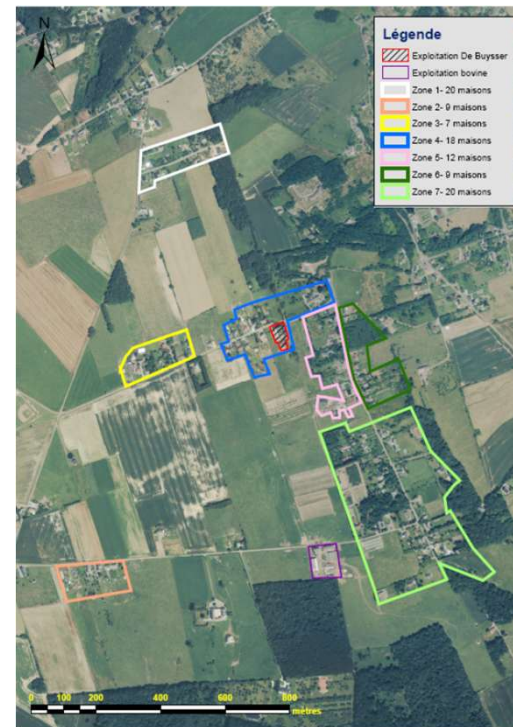
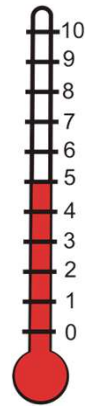


- Enquête riverain

Questionnaire riverain



Pour faire un état de la situation



1. Considérez-vous habiter dans un quartier pollué ?

☐ Non - ☐ Oui

2. Comment évaluez-vous cette pollution ? (cochez le rectangle correspondant à votre appréciation)

Aucune	☐	0
Très légère	☐	1
Légère	☐	2
Modérée	☐	3
Sérieuse	☐	4
Très sérieuse	☐	5
Grave	☐	6

3. Considérez-vous que les habitants de votre quartier sont gênés par une pollution liée :

aux odeurs	☐	Non	☐	Oui
au bruit	☐	Non	☐	Oui
à une autre pollution				

4. Cette situation existe-t-elle depuis que vous habitez dans le quartier ?

☐	<i>Non</i>	☐	<i>Oui</i>
<i>Elle s'aggrave :</i>	☐	<i>Non</i>	☐ <i>Oui</i>
<i>Elle s'améliore :</i>	☐	<i>Non</i>	☐ <i>Oui</i>

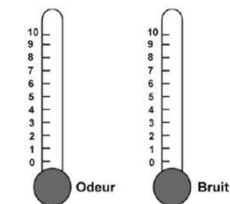
5. Comment percevez-vous les odeurs polluantes quand vous êtes à l'extérieur de votre habitation ? (cochez la case correspondant à votre perception). De manière :

imperceptible	☐	0
à peine perceptible	☐	1
faible	☐	2
franche	☐	3
forte	☐	4
très forte	☐	5
insupportable	☐	6

6. A quelle fréquence estimez-vous sentir une odeur polluante quand vous êtes à l'extérieur de votre habitation ?

jamais	☐	0
1 fois par mois	☐	1
2 à 3 fois par mois	☐	2
une fois par semaine	☐	3
2 à 3 fois par semaine	☐	4
presque chaque jour	☐	5

7. S'il existait un thermomètre pour mesurer la nuisance dans votre quartier, en considérant que 10° indique une gêne insupportable et 0° l'absence de gêne, où placeriez-vous la gêne subie par votre quartier sur ce thermomètre ? (entourez le chiffre adéquat)



8. Quel est votre propre degré de gêne dû aux odeurs et au bruit ?

	Odeurs	Bruit
Aucune gêne	☐ 0	☐ 0
Gêne très légère	☐ 1	☐ 1
Gêne légère	☐ 2	☐ 2
Gêne distincte	☐ 3	☐ 3
Gêne forte	☐ 4	☐ 4
Gêne très forte	☐ 5	☐ 5
Gêne insupportable	☐ 6	☐ 6

9. Est-ce que les odeurs provoquent des effets particuliers sur votre comportement ? (entourez le chiffre correspondant pour chaque effet)

effet	jamais	rarement	parfois	souvent	très souvent
cela me perturbe quand je parle	0	1	2	3	4
cela m'empêche de dormir	0	1	2	3	4
cela me cause des maux de tête	0	1	2	3	4
cela me rend irritable	0	1	2	3	4
cela me cause une perte d'appétit	0	1	2	3	4
cela me cause des nausées	0	1	2	3	4
cela me réveille la nuit	0	1	2	3	4

- Observatoire de riverains - Vigies

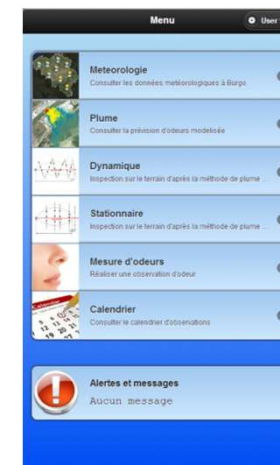
Plusieurs personnes volontaires

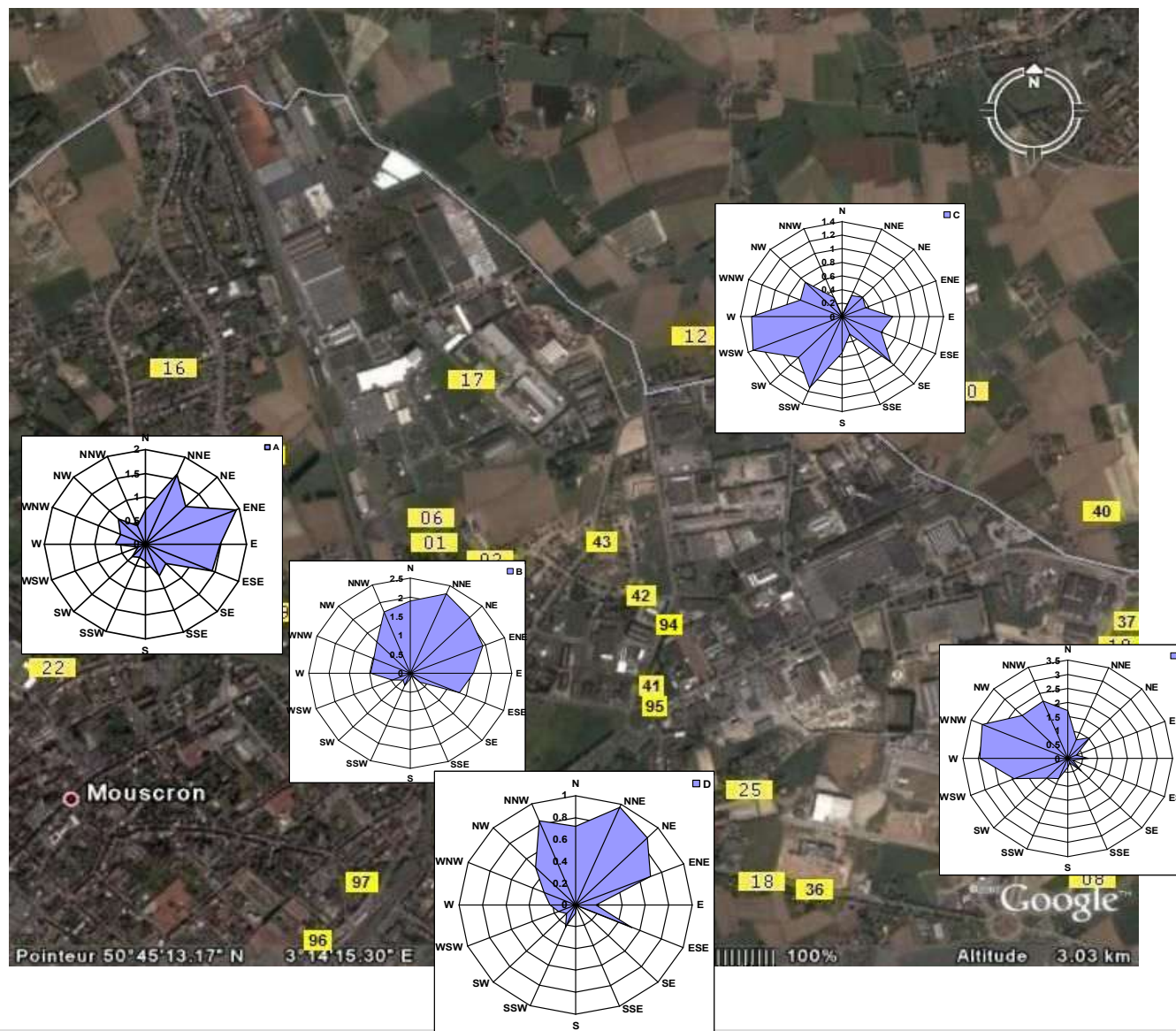
Longue période et de manière régulière

À heures fixes et plusieurs fois par jour

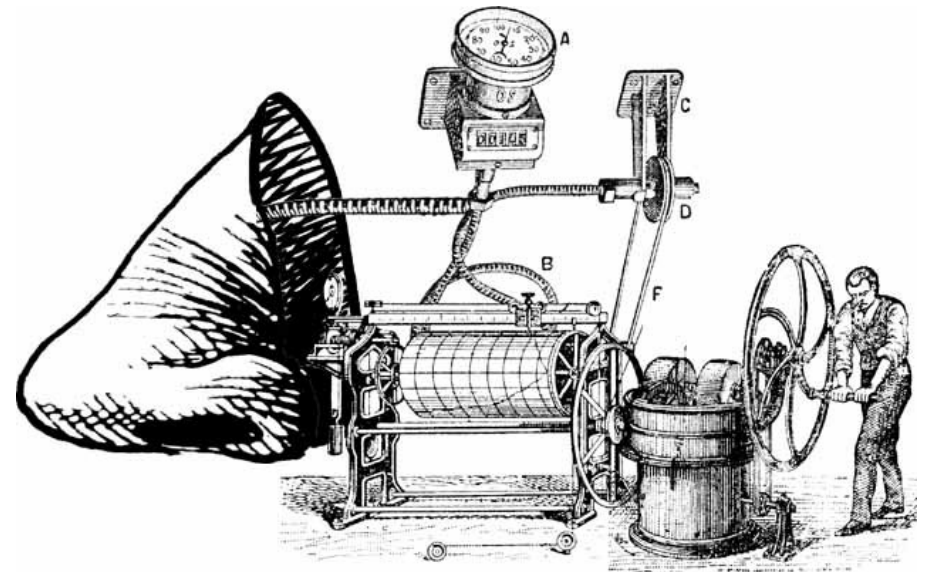
SANTÉ VIGIE		Relevés faits par VIGIE Mr et/ou Mme :		Adresse où ont lieu les relevés :		Ou NR VIGIE :																				
		Semaine Nr 42 du Lundi 12/10/2009		ODEURS																						
Malade	O = Oui	Heure relevé	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Enfume	N = Non	Date	Périodes rouges à remplir au moins 1 heure sur 3, même sans odeurs (A : 0) + les autres cases quand odeurs																							
O	O	lundi 12/10/2009	A																							
N	N	Notes	B																							
			C																							
O	O	mardi 13/10/2009	A																							
N	N	Notes	B																							
			C																							
O	O	mercredi 14/10/2009	A																							
N	N	Notes	B																							
			C																							
O	O	jeudi 15/10/2009	A																							
N	N	Notes	B																							
			C																							
O	O	vendredi 16/10/2009	A																							
N	N	Notes	B																							
			C																							
O	O	samedi 17/10/2009	A																							
N	N	Notes	B																							
			C																							
O	O	dimanche 18/10/2009	A																							
N	N	Notes	B																							
			C																							

DESCRIPTION RELEVÉS
A - Intensité de perception
 0 Imperceptible
 1 A peine perceptible
 2 Faible
 3 Distincte
 4 Forte
 5 Très forte
 6 Insupportable
B - Gêne
 0 pas gêné
 1 un peu gêné
 2 gêné
 3 très gêné
 4 extrêmement gêné
C - Type d'odeur
 1 Gaz
 2 Elevage, épandage
 3 Poubelle
 4 Égoût
 5 Chou
 6 Indéfinissable
 7 Ppi de chat
 8 Chimique (solvants)
 9 Soufre





L'intérêt d'un suivi continu : technologie dite du "nez électronique"



A laboratory setting with a microscope, test tubes, and a flask containing a globe. The background is a blurred laboratory with various glassware and equipment. In the foreground, a microscope is on the left, a rack of test tubes with blue liquid is on the bottom left, and a flask with a globe inside is in the center. To the right of the flask is a brown bottle and a red flask. The text "MATIERE GRISE EXPRESS" is overlaid in the center.

MATIERE GRISE EXPRESS

Take home messages

- Une nuisance est-elle mesurable ?
proxy
- Participation citoyenne
- Législation?

Une mesure objective est indispensable pour la gestion de la pollution

Merci à mon équipe

Claudia Falzone
Noémie Molitor
Jean-François Heinriche
Justin Martin
Simon-Pierre liégeois
Bui Thi Ngoc Phuong
Mauri Rosiers
Muhamad Bailor
Alexandra Delperdange
Jean-Sébastien Liégeois

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Professeure A-C ROMAIN

acromain@uliege.be