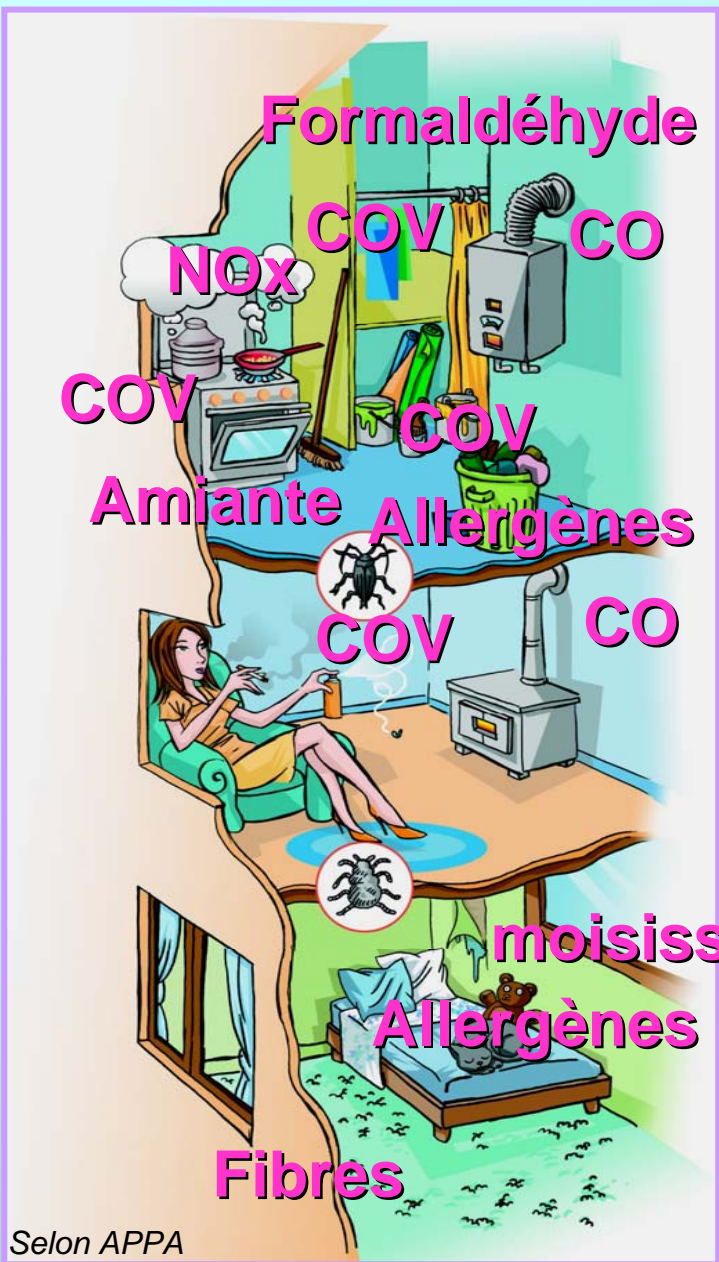


Qualité de l'air des environnements intérieurs



Selon APPA

Anne-Marie LAURENT
(Laboratoire d'Hygiène
de la Ville de Paris)

- 1. Généralités**
- 2. Locaux tertiaires (sources de polluants chimiques et indicateurs de qualité d'air)**
- 3. Etudes de cas (travaux de peintures)**
- 4. Interprétation des résultats**

Qualité de l'air intérieur

Généralités

Pourquoi se préoccuper de la qualité de l'air à l'intérieur des locaux ?

- ➔ Une durée d'exposition importante
20 à 22 heures par jour
- ➔ Des bâtiments mieux isolés pour économiser l'énergie
et une ventilation parfois insuffisante
- ➔ Effets sur la santé à des degrés divers (intoxications,
infections, allergies, réactions de gêne, d'inconfort,
nuisances olfactives,...)
- ➔ Peu de valeurs normatives

Facteurs qui conditionnent la qualité de l'air d'un local

➔ Qualité de l'air extérieur

➔ Emission de sources

➤ Sources continues

Emissions constantes ou variables

➤ Sources temporaires

Emissions à intervalle régulier ou épisodiques

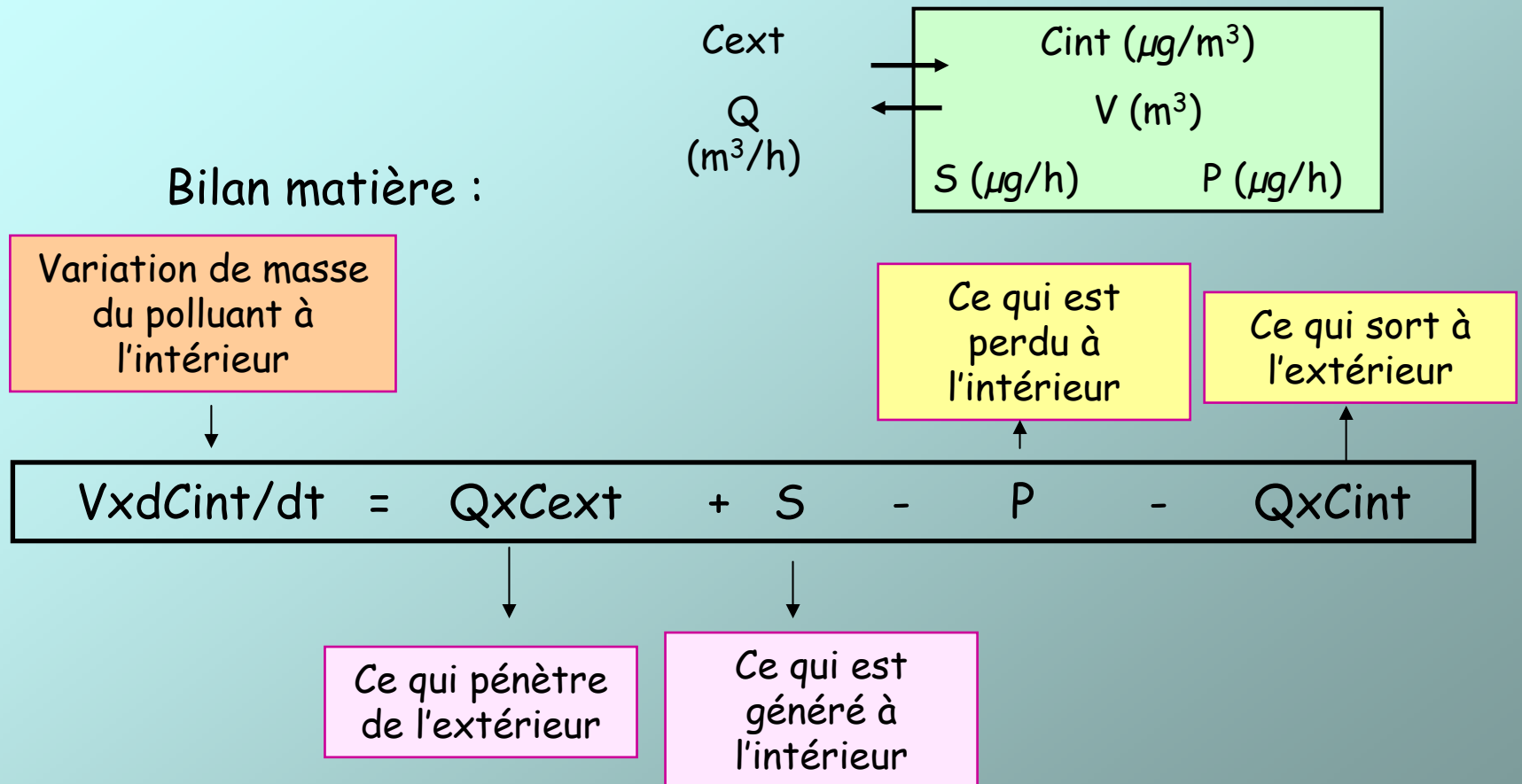
➔ Renouvellement de l'air

Infiltration / ventilation naturelle ou mécanique

➔ Conditions climatiques

Température, humidité relative, vitesse de l'air

Modélisation de la concentration d'un polluant à l'intérieur d'un local



A l'équilibre :

$$C_{int} = C_{ext} + (S - P)/Q$$

avec $Q = V \times R$

R : renouvellement d'air (h^{-1})

Sources de pollution intérieure

- ➔ **Air extérieur – sol et sous-sol**
- ➔ **Appareils de combustion**
 - production d'eau chaude
 - chauffage
 - cuisson des aliments
- ➔ **Matériaux**
 - construction
 - décoration (revêtements, mobilier,...)
 - isolation phonique et thermique
- ➔ **Systèmes de traitement d'air**
- ➔ **Activités humaines**
 - entretien des locaux et hygiène corporelle
 - travaux divers (rénovation, décoration,...)
 - tabagisme
- ➔ **Etres vivants**
 - l'homme, les animaux, les plantes

Principaux types de polluants

➔ Composés gazeux

- radon
- gaz de combustion
- substances chimiques
(Composés organiques volatils: COV)

➔ Particules - fibres

- particules fines en suspension
- fibres d'amiante
- fibres synthétiques

➔ Biocontaminants

- **allergènes** : poussières de maison animaux (chats, chiens, acariens, blattes,...)
- **moisissures**
- **toxines** : bactéries, champignons
- **germes microbiens** : occupants – eau (aérosols) – équipements (vide-ordures)

Rôle de l'humidité

(présence et activités humaines)

La pollution atmosphérique urbaine extérieure

➔ Polluants primaires des sources de combustion fixes et mobiles

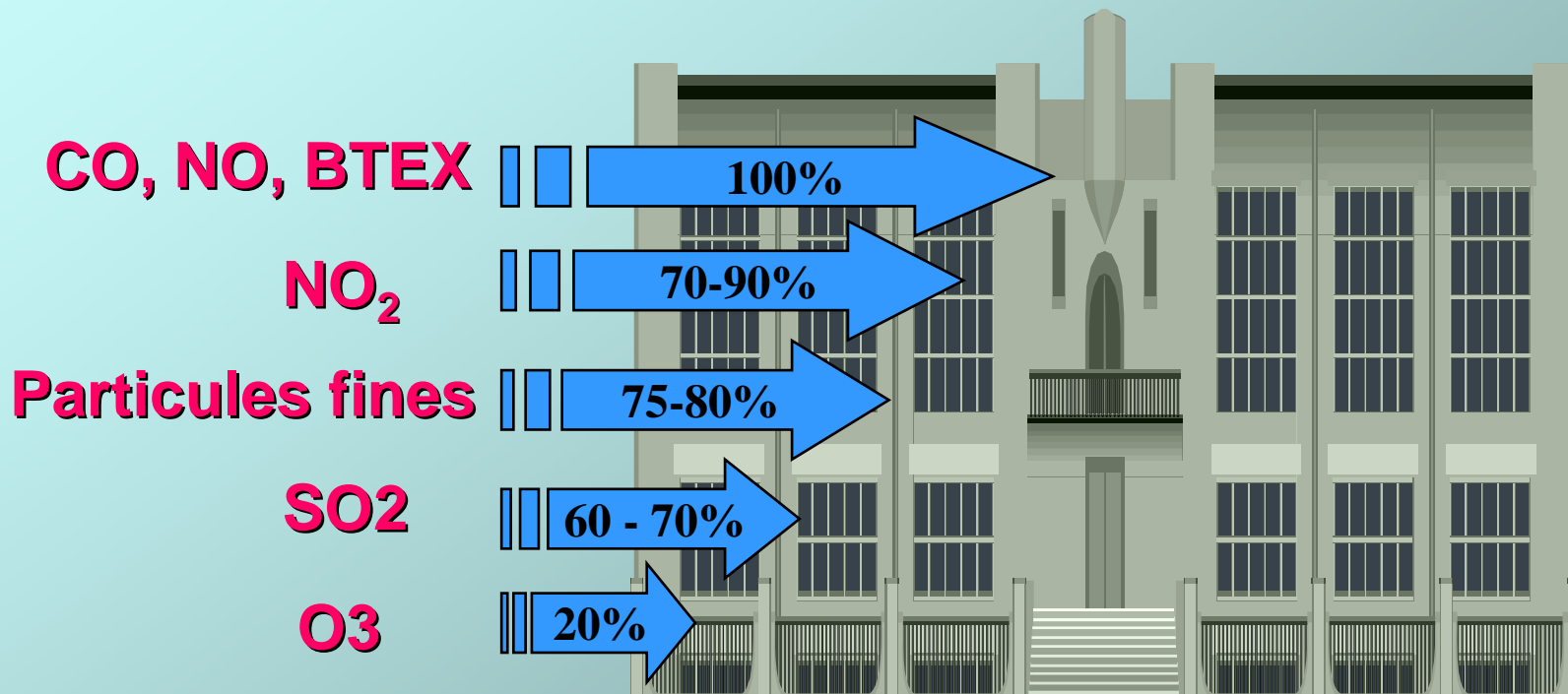
- Dioxyde de soufre (SO₂)
- Monoxyde de carbone (CO)
- Oxydes d'azote (NO_x = NO + NO₂)
- Hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM)
- Particules en suspension (métaux et composés organiques)

➔ Polluants secondaires issus du (photo)chimisme atmosphérique

- Ozone (O₃)
- Dioxyde d'azote (NO₂)

Décroissance notable des teneurs dans l'air intérieur
pour : O₃, SO₂ et NO₂

Etude du transfert Extérieur/Intérieur (Etude CSTB-LHVP, 2001)



Qualité de l'air intérieur

**Locaux à usage de bureaux
et assimilés**

Principales sources de polluants chimiques dans l'air intérieur des locaux tertiaires

- ◆ Les matériaux et produits utilisés pour la construction, l'équipement et la décoration (meublier, revêtements muraux et de sols,...)
- ◆ Equipements spécifiques : imprimantes, photocopieurs,...
- ◆ L'activité humaine :
 - nettoyants de surfaces
 - cosmétiques
 - désodorisants d'atmosphère

Indicateurs d'intérêt dans l'air intérieur des locaux tertiaires

- ◆ Les Composés Organiques Volatils (COV)
- ◆ Les aldéhydes, dont le formaldéhyde
- ◆ Les particules fines
- ◆ Dioxyde de carbone : indicateur des conditions de ventilation
- ◆ Confort thermo-hygrométrique

Classification des Composés Organiques Volatils (OMS 1989)

Classes	Sigles	Gamme des points d'ébullition (°C)
Composés organiques très volatils <i>Very volatile organic compounds</i>	VVOC	<0 à 50-100
Composés organiques volatils <i>Volatile organic compounds</i>	VOC	50-100 à 240-260
Composés organiques semi-volatils <i>Semi-volatile organic compounds</i>	SVOC	240-260 à 380-400
Composés organiques associés aux particules <i>Particulate organic matter</i>	POM	> 380

Familles chimiques le plus souvent identifiées dans les environnements intérieurs

Familles chimiques	Principaux composés
Alcanes Cycloalcanes HC aromatiques HC halogénés Terpènes Aldéhydes Cétones Alcools-éthers de glycol Esters	Décane, undécane Cyclohexane, méthyl-cyclohexane Benzène, toluène, xylènes, triméthylbenzènes Tétrachloroéthylène, p-dichlorobenzène Limonène, pinène Formaldéhyde, acétaldéhyde, hexanal Acétone, butanone Isobutanol, éthoxyéthanol Acétate d'éthyle, de butyle

COV

Plusieurs centaines de composés gazeux identifiés

Effets sur la santé

- ➔ Inconfort (odeur)
- ➔ Irritations de la peau et des muqueuses
- ➔ pathologies mal définies des bâtiments malsains
(« sick building syndrom »)
Rhinites, migraines, irritations,...

Sources de formaldéhyde

◆ Matériaux :

→ panneaux de bois agglomérés, panneaux de particules, contreplaqués, Medium (MDF : Medium Density Fiberboard).

Ces matériaux sont largement utilisés pour l'aménagement intérieur de locaux et la fabrication de mobilier.

→ parquets (contrecollés ou lamellés collés)

◆ Colles : carrelages, moquettes, parquets, papiers peints

◆ Peintures, vernis

◆ Cosmétiques

◆ Produits désinfectants

Effets sanitaires du formaldéhyde

**Classé par le CIRC dans le groupe 1
« cancérogène certain pour l'homme »**

L'inhalation est la voie d'exposition principale

- ➔ Irritant des yeux, du nez, de la gorge
- ➔ effet sensibilisant
- ➔ altération de la fonction pulmonaire
(enfants exposés de façon chronique à de faibles niveaux)
- ➔ favorise l'apparition d'asthme et de bronchite
(sujets sensibles)

Etude de cas

Plaintes consécutives à des travaux de peinture



Emissions persistantes : Substances chimiques

- générées par réactivité chimique
- présentes dans la formulation de la peinture

Motifs des plaintes :

- nuisances olfactives
- odeur entêtante qui persiste, plusieurs semaines, souvent plusieurs mois après l'application de la peinture

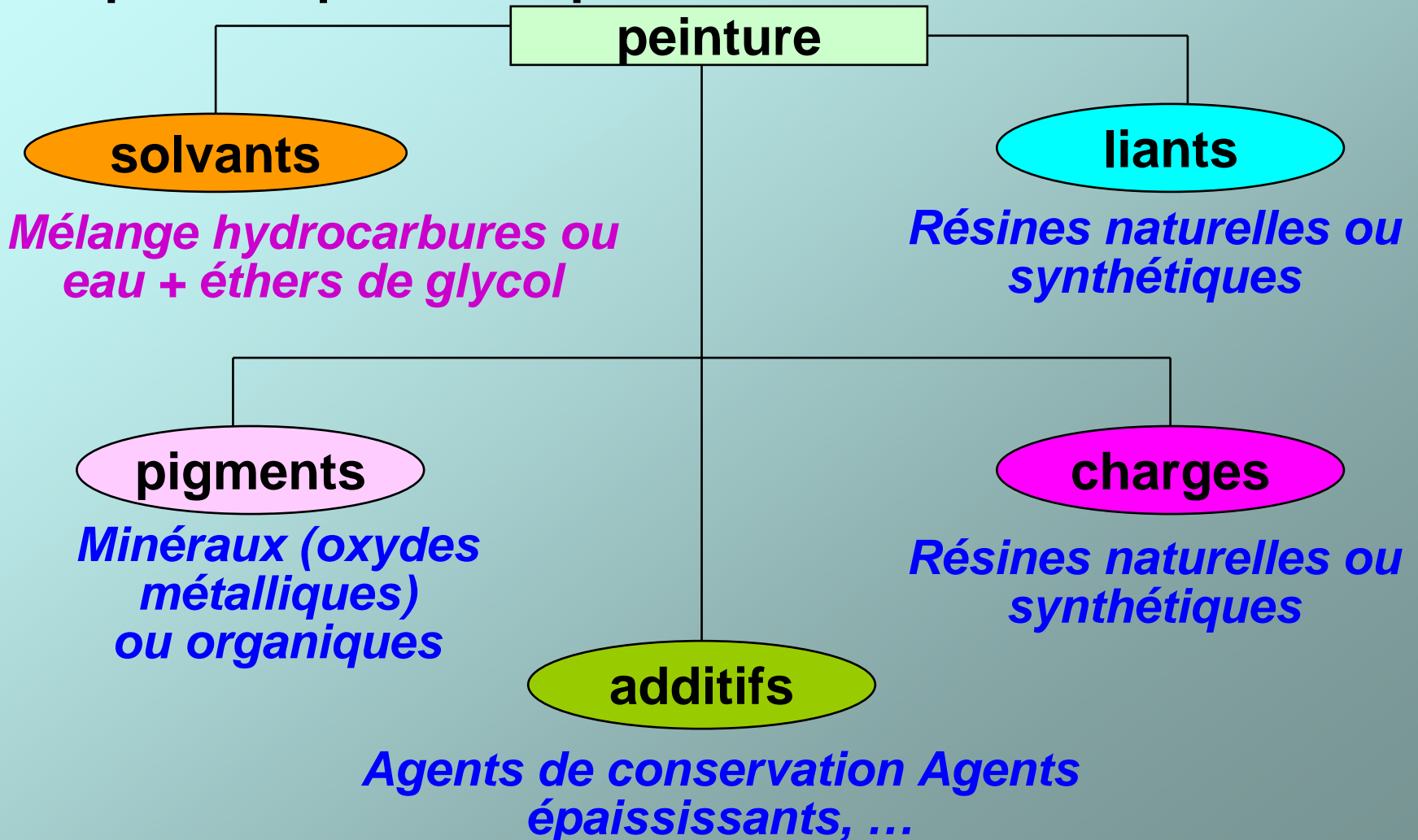
Symptômes ressentis :

- maux de tête
- fatigue
- irritation des muqueuses
- comparables à ceux du SBS

Peintures

2 classes :

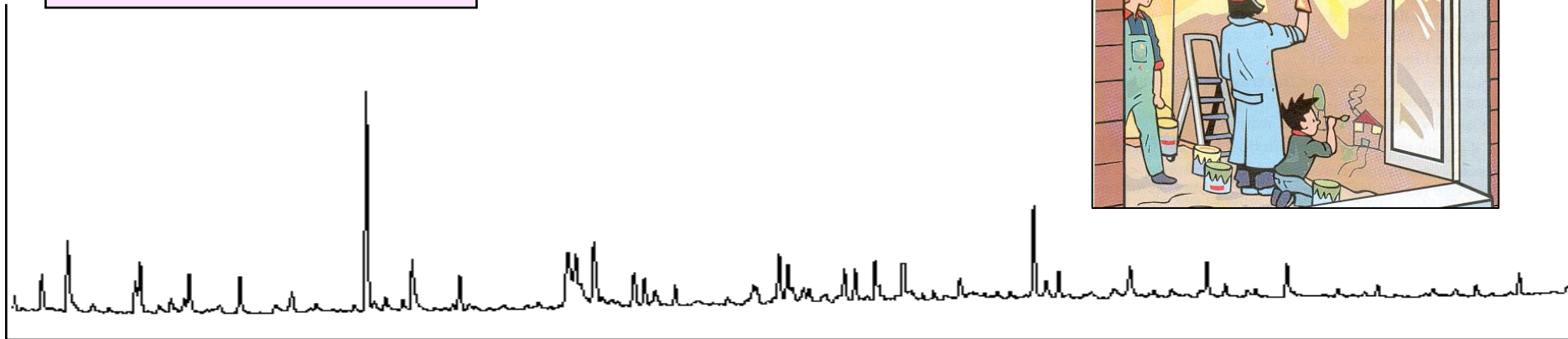
- ▶ en phase solvant
- ▶ en phase aqueuse : « peinture à l'eau »



Impact de travaux de peinture sur la qualité de l'air de la pièce rénovée

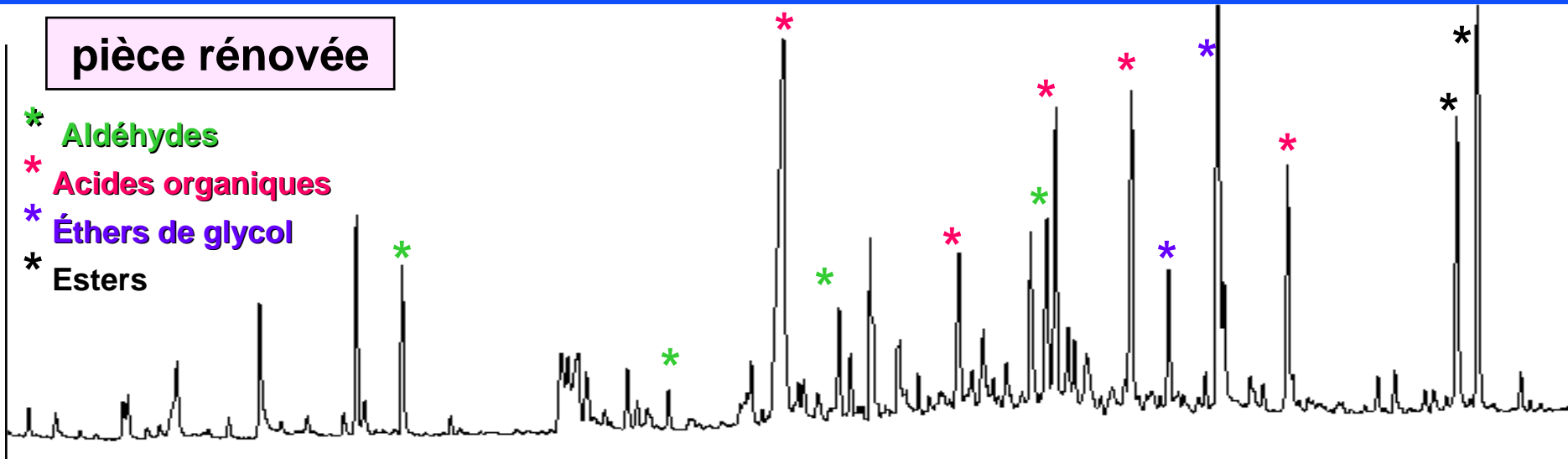
Emission de nombreux composés organiques volatils (COV)

Air extérieur



pièce rénovée

- * Aldéhydes
- * Acides organiques
- * Éthers de glycol
- * Esters



CAS N°1

● Contexte

- ➔ Locaux de bureaux repeints depuis 5 mois (peintures acryliques)
- ➔ Plainte de tous les occupants
- ➔ Forte odeur de peinture malgré une aération intensive
- ➔ Symptômes : malaises, maux de tête, vertiges, irritations des muqueuses, saignements de nez

● Méthodologie

➔ Visite des locaux

Constat d'une odeur entêtante

➔ Mesures effectuées :

- ➔ COV : prélèvements actifs sur adsorbant (Tenax)
analyse GC/MS après désorption thermique
- ➔ Aldéhydes : supports imprégnés DNPH
analyse HPLC/détection UV

➔ Résultats

<i>Familles chimiques</i>	Grand bureau	Salle de réunion
Composés identifiés		
<i>Hydrocarbures saturés</i>		
Hexane	3,4	3,2
Heptane	5,5	5,3
Octane	4,6	4,5
Nonane	6,1	5,2
Dodécane	21	19
Alcanes ramifiés	39	32
<i>Hydrocarbures aromatiques Monocycliques (HAM)</i>		
Benzène	1,8	2,1
Toluène	17	19
Ethylbenzène	3,7	4,2
Méta+para Xylène	9,7	11
Ortho-Xylène	4,0	4,3
1,2,4-Triméthylbenzène	4,9	5,5
<i>Hydrocarbures chlorés</i>		
Trichloroéthylène	3,1	1,4
Tétrachloroéthylène	24	26
<i>Aldéhydes*</i>		
Pentanal	22	23
Hexanal	63	69
Heptanal	14	13
Octanal	30	34
Nonanal + acide 2-éthyl-hexanoïque	126	101
Décanal	36	22
<i>Acides organiques*</i>		
Acide pentanoïque	12	11
Acide hexanoïque	125	102
Acide heptanoïque	20	17
Acide octanoïque	30	20
Acide nonanoïque	18	14
Dérivés acide hexanoïque	90	80
<i>Autres composés oxygénés*</i>		
Méthyl-propanol	9,3	11
Butanol	6,1	6,4
Pentanol	12	12
Propylène glycol	50	66
<i>Indice COVTotaux</i>	1249	1202

* équivalent toluène

Résultats ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 5 mois après les travaux de peinture

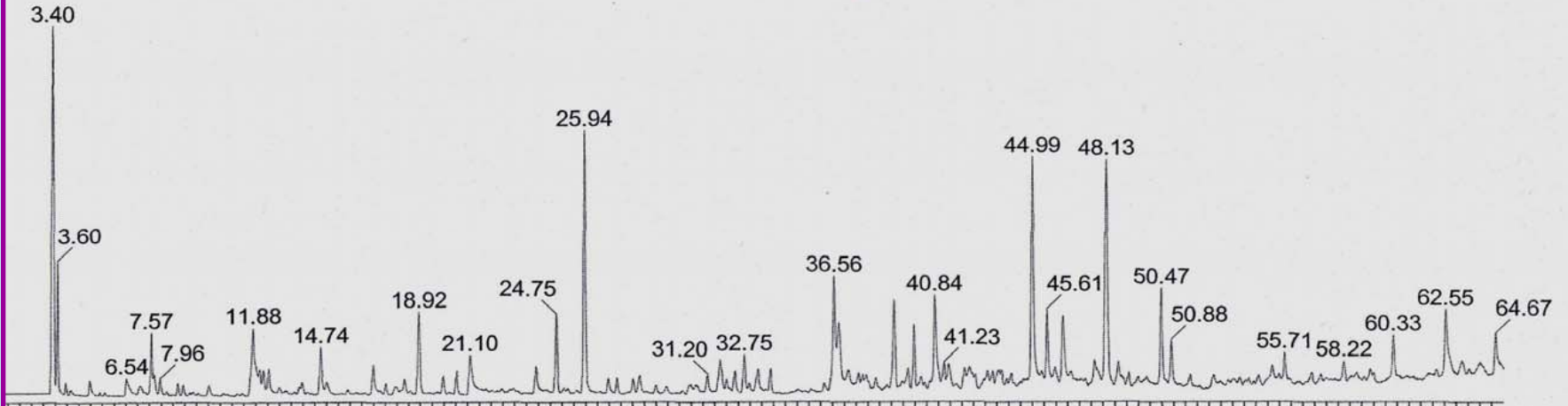
Identification de substances indicatrices de réactions chimiques après l'application de la peinture

Pics caractéristiques identifiés (GC/MS)

lpo piece principale 280808

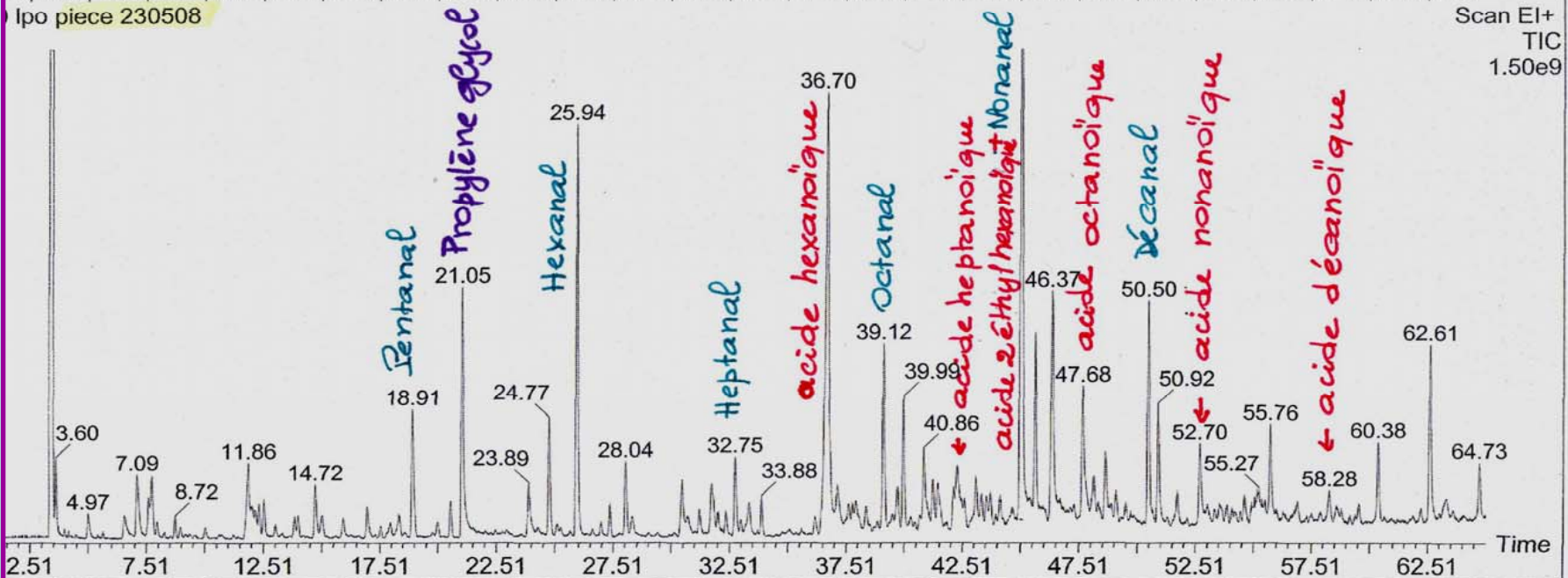
Scan EI+
TIC
1.50e9

Profil chromatographique

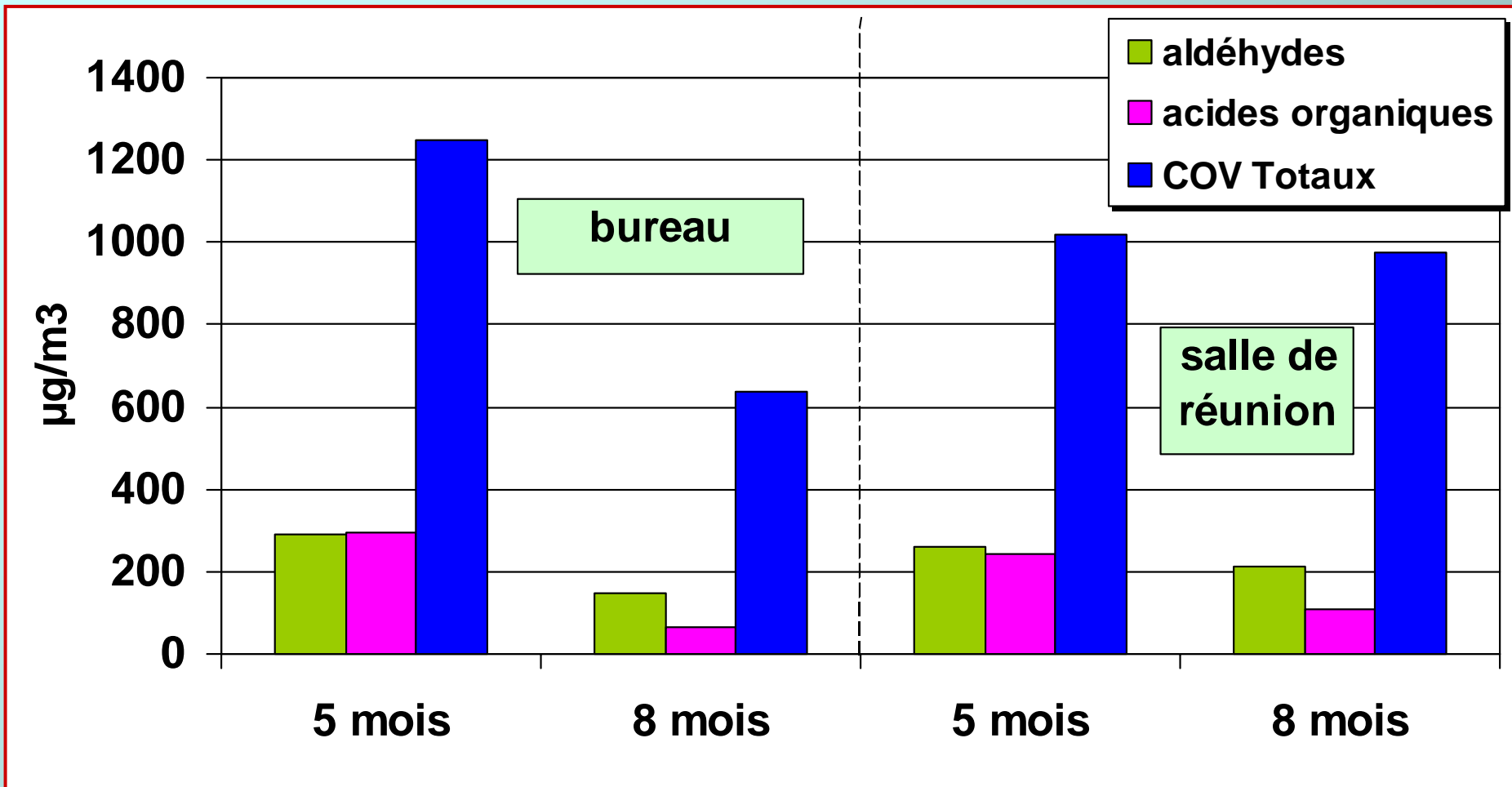


lpo piece 230508

Scan EI+
TIC
1.50e9



Suivi des COV après les travaux



Les teneurs en COV sont notables même après un délai de 8 mois après les travaux

CAS N°2

● Contexte

- ➔ Locaux recevant du public
- ➔ Réfection des peintures (murs et vitrines) avant une exposition
- ➔ Plainte des agents chargés de la surveillance
- ➔ Odeur désagréable
- ➔ Symptômes : migraines, irritations des muqueuses,...

● Méthodologie

➔ Visite des locaux

Constat d'une odeur « chimique »

➔ Mesures effectuées :

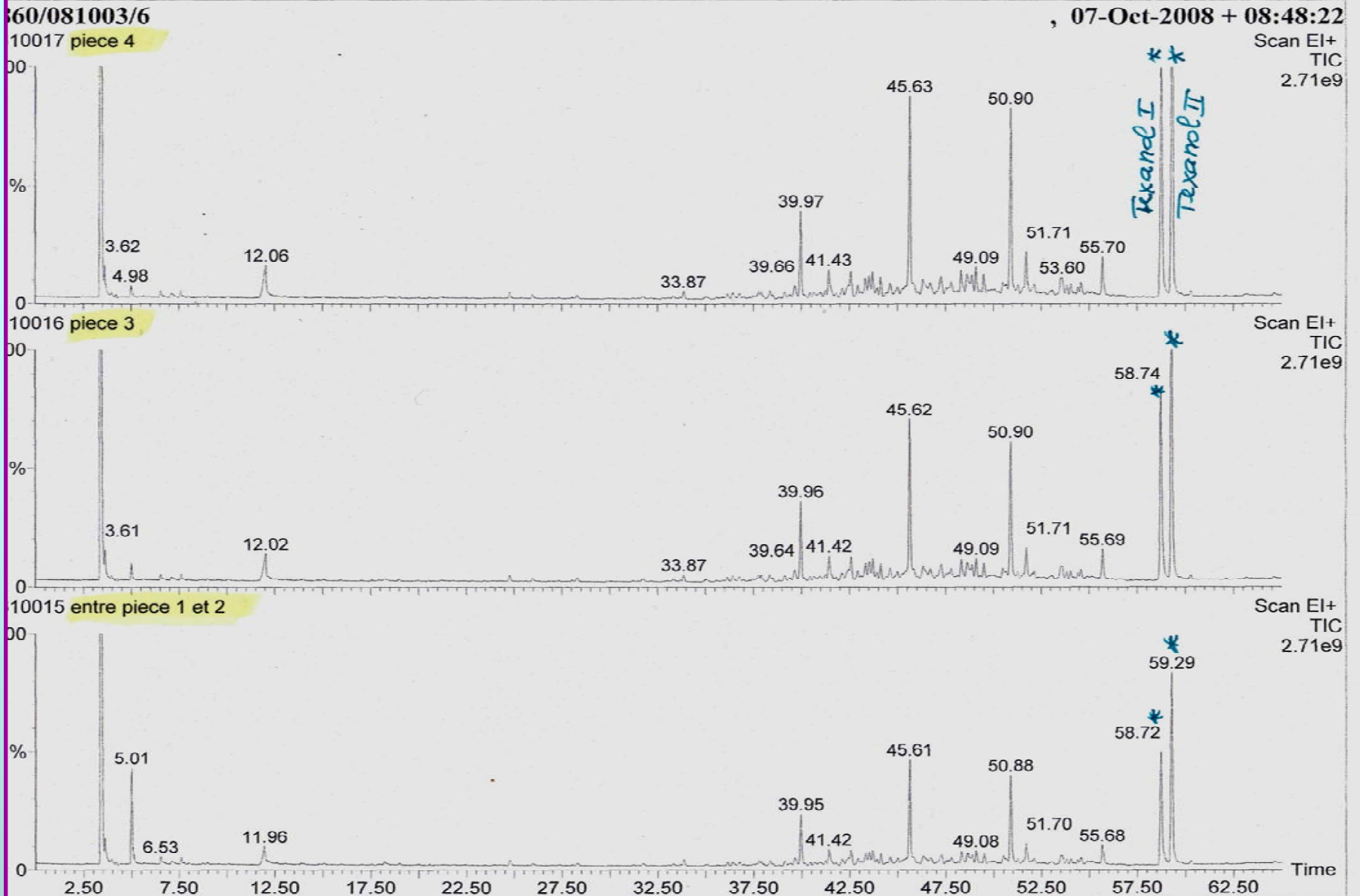
- ➔ COV : prélèvements actifs sur adsorbant (Tenax)
analyse GC/MS après désorption thermique
- ➔ Aldéhydes : supports imprégnés DNPH
analyse HPLC/détection UV

➔ Résultats

Identification d'une substance présente dans la formulation de peintures utilisées. Il s'agit d'un agent de coalescence : Texanol I et II (2 isomères)

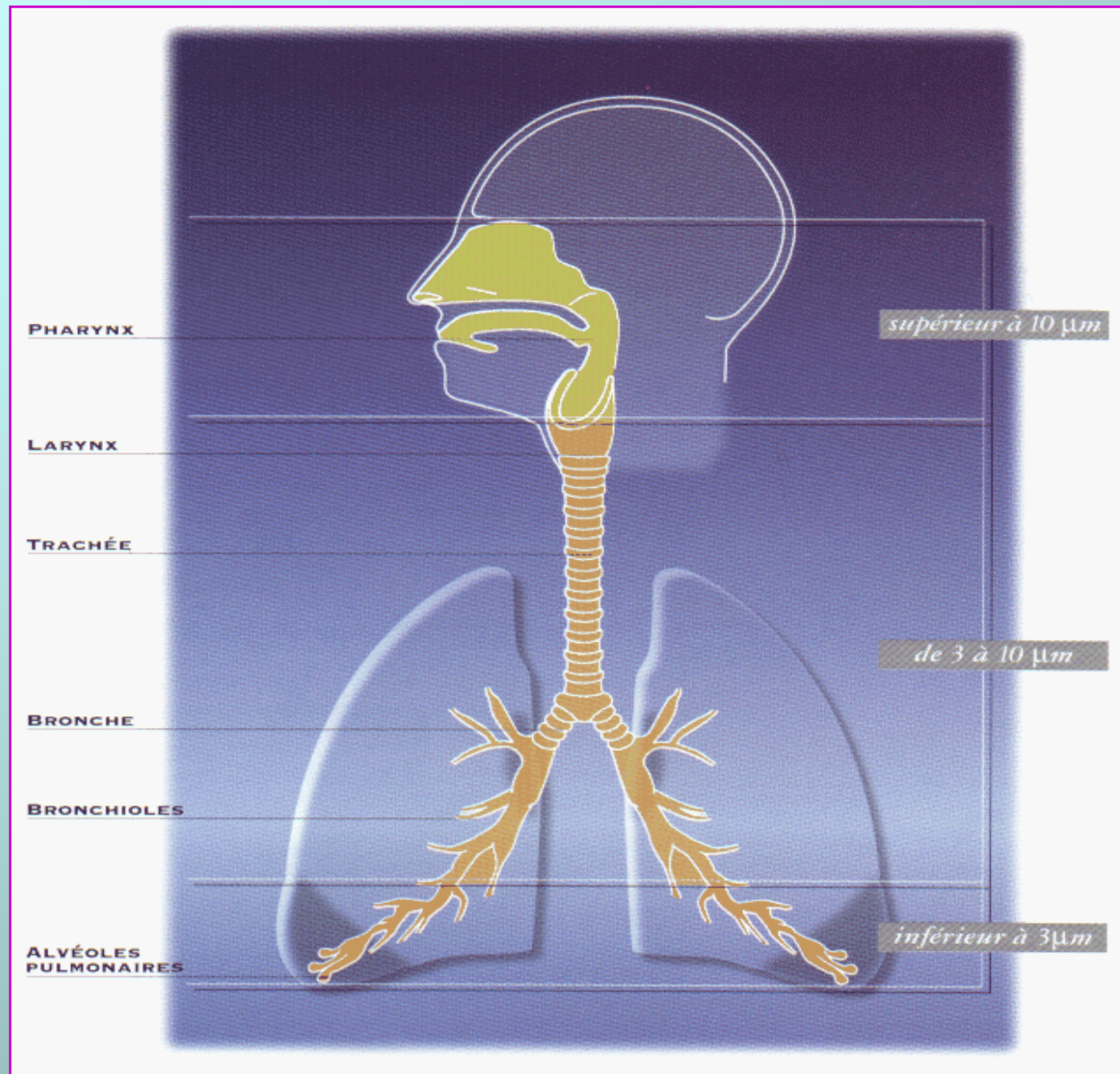
2,2,4-triméthyl-1,3 pentanediol monoisobutyrate

Pics caractéristiques identifiés (GC/MS)

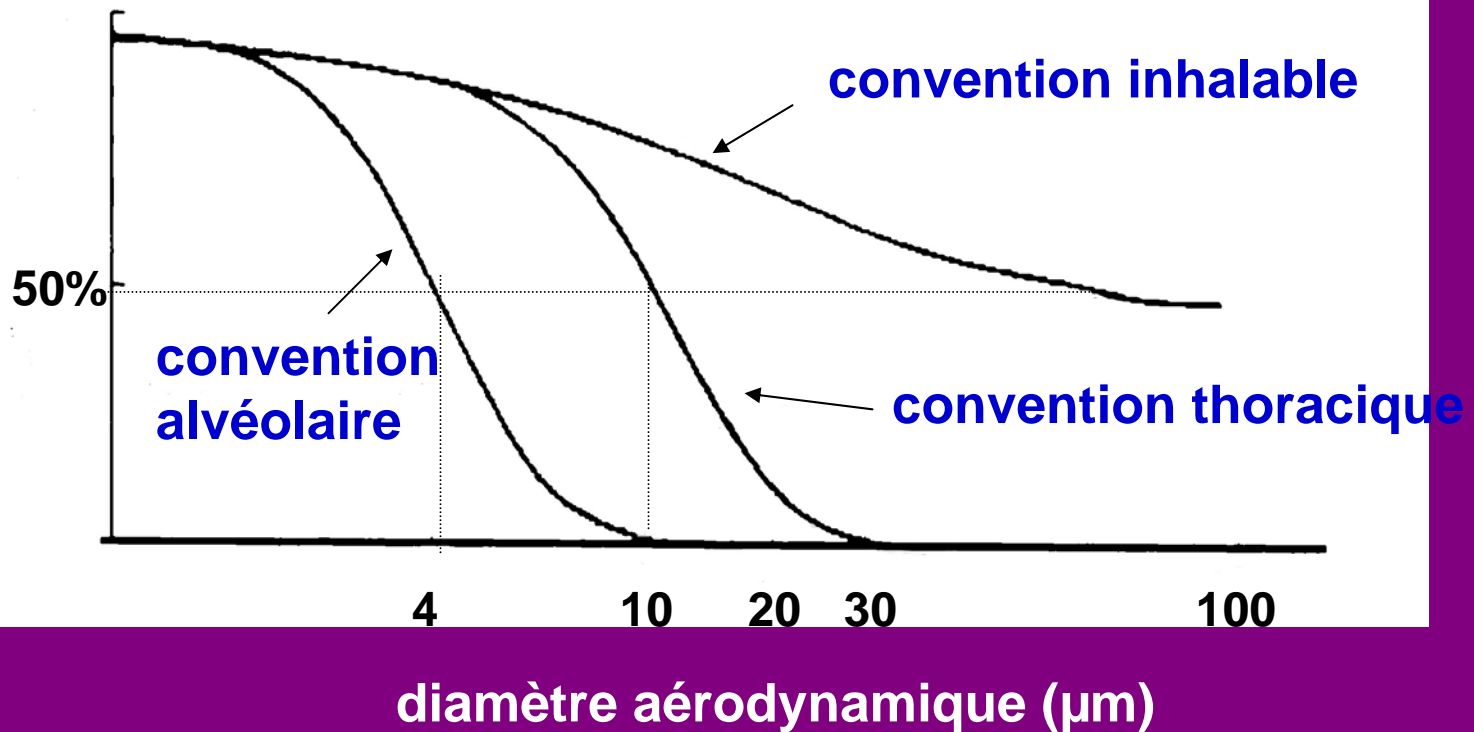


Texanol : $C_{12}H_{24}O_3$ 2,2,4 - Triméthyl - 1,3 pentanediol mono isobutyrate
 agent de coalescence de certaines peintures acryliques

Les différentes zones d'impact dans l'arbre respiratoire selon la granulométrie des particules



Fractions inhalable, thoracique et alvéolaire en pourcentage de particules totales en suspension



norme européenne EN 481

convention : spécification instrumentale pour prélever la fraction d'intérêt

Quelle(s) fractions mesurer ?

- ◆ **Locaux « à pollution spécifique » :**
Article R.232-5-5 du code du travail
 - Poussières totales en suspension
 - Fraction alvéolaire
- ◆ **Locaux « à pollution non spécifique » :**
Mêmes fractions que celles mesurées à l'extérieur des locaux
 - Poussières PM10 (diamètre $\leq 10 \mu\text{m}$)
 - Poussières PM2.5 (diamètre $\leq 2.5 \mu\text{m}$)

Fibres minérales artificielles (FMA)

En remplacement de l'amiante, utilisation de fibres minérales artificielles pour l'isolation thermique et acoustique des bâtiments.

Autre utilisation : dalles décoratives de faux plafonds

- ◆ fibres de verre (laine de verre)
- ◆ fibres minérales (laine de roche et de laitier)

Effets sur la santé

- ➔ Problèmes respiratoires : *rhinites, sinusites, pharyngites, laryngites*
- ➔ Irritations cutanées

Initialement classées dans le groupe 2B, les laines d'isolation de verre, de roche et de laitier ont été déclassées (groupe 3)

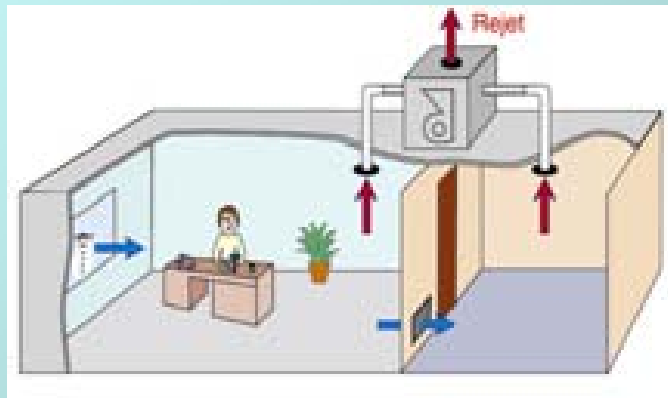
Remarque : Exposition aux FMA surtout lors de travaux de rénovation

Ventilation des locaux

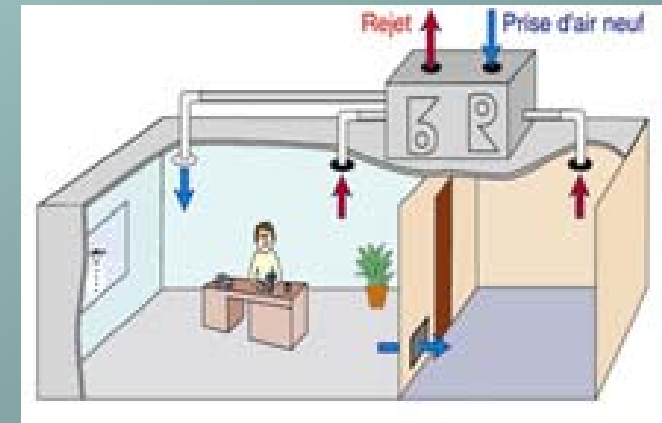
➔ Ventilation naturelle

➔ Ventilation mécanique contrôlée (VMC)

Air neuf



VMC simple flux



Centrale de traitement
d'air (CTA)

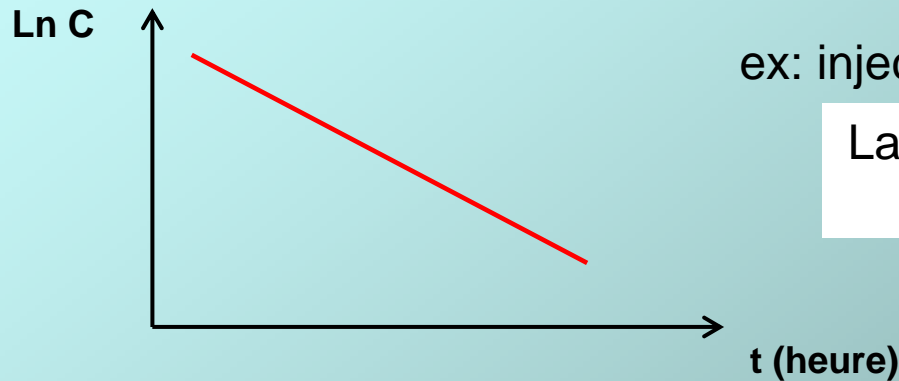
VMC double flux

Ventilateurs
Filtres
Batteries C/F
Humidificateur

Mesure du renouvellement d'air (R)

➔ Mesure des débits au niveau des bouches de soufflage ou d'extraction

➔ Utilisation de gaz traceurs : plusieurs méthodes

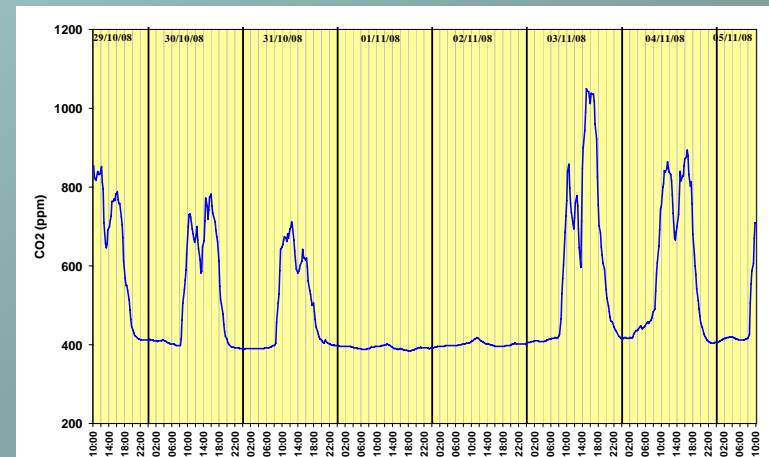


ex: injection SF6 et étude décroissance

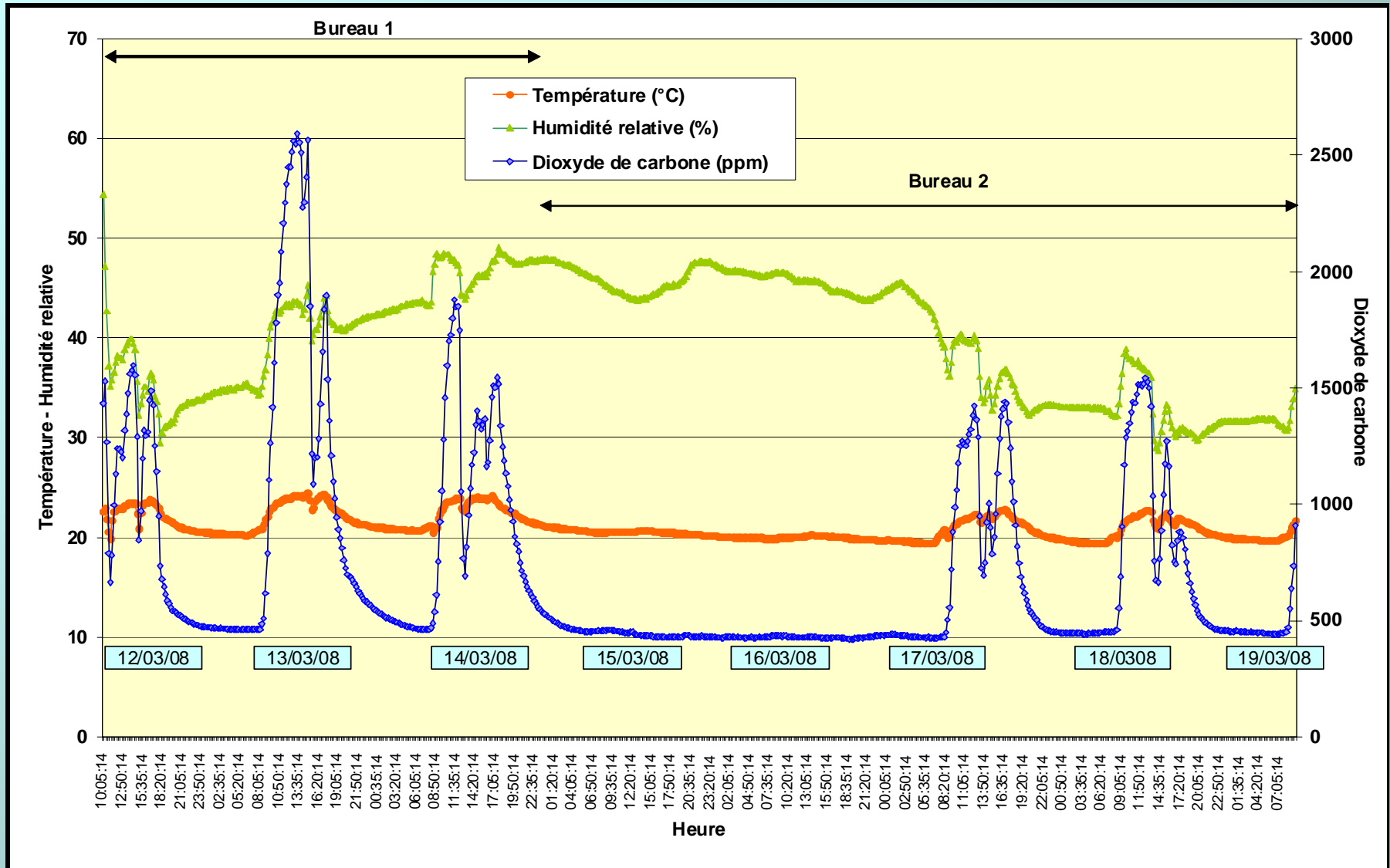
La pente de la droite est égale à R (h^{-1})

➔ Estimation à partir du suivi des teneurs en CO2

Etude de la décroissance du CO2 après une période d'occupation



Intérêt du CO2 : indicateur du renouvellement d'air et de l'occupation



Valeurs de référence



**Qualité de l'air des
environnements
intérieurs**

Valeurs de référence

● Valeurs normatives

- ➔ Critères nationaux de qualité d'air extérieur
(décrets – transposition de directives européennes)
- ➔ Décrets applicables aux ambiances de travail à pollution
« non spécifique » (Code du travail)

● Valeurs guides

- ➔ Organisation Mondiale de la Santé (OMS)
- ➔ Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET)
(Valeurs Guides d'Air Intérieur – VGAI)

● Données issues d'études

- ➔ Campagne nationale logements
(Observatoire de la Qualité Intérieur - OQAI)
- ➔ Travaux scientifiques
(ex: transfert des polluants de l'air extérieur
à l'intérieur des locaux)

Valeurs de référence

● Valeurs normatives

➔ Critères nationaux de qualité d'air extérieur

site : www.airparif.asso.fr

➔ Décrets applicables aux ambiances de travail à pollution
« non spécifique » Code du travail

● Valeurs guides

➔ Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Guidelines for air quality, WHO (World Health Organization), 2000, 2005

➔ Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET) : avis - saisines

site : www.afsset.fr

● Données issues d'études

➔ Campagne nationale logements (Etat de la qualité de l'air dans les logements français – rapport final – DDD/SB 2006-57 (novembre 2006)

site : www.air-interieur.org

➔ Travaux scientifiques

(ex: transfert des polluants de l'air extérieur à l'intérieur des locaux)

(Etude expérimentale des conditions de transfert de la pollution atmosphérique d'origine locale à l'intérieur de l'habitat)- ADEME-CSTB-LHVP) Convention de recherche ADEME-CSTB n°98.04.05

Paramètres	Références	Durée exposition considérée
<p>Monoxyde de carbone CO</p>	<p><u>Critères nationaux*</u> 10 mg/m³</p> <p><u>OMS et AFSSET</u> 100 mg/m³ 60 mg/m³ 30 mg/m³ 10 mg/m³</p>	<p>8 heures</p> <p>15 min</p> <p>30 min</p> <p>1 heure</p> <p>8 heures</p>
<p>Dioxyde d'azote NO₂</p>	<p><u>Critères nationaux*</u> 40 µg/m³ en 2010 200 µg/m³ (tolérance dépassement de n jours)</p> <p><u>OMS</u> 200 µg/m³</p>	<p>1 année</p> <p>1 heure</p> <p>1 heure</p>
<p>Ozone O₃</p>	<p><u>OMS</u> 100 µg/m³</p>	<p>8 heures</p>

* + directives européennes

Paramètres	Références	Durée exposition
Benzène	<p><u>Critères nationaux*</u> 5 µg/m³ en 2010</p> <p><u>OMS</u> Excès de risque unitaire par µg/m³: 6 10⁻⁶</p> <p><u>AFSSET</u> 30 –20-10 µg/m³ 2 µg/m³ ER 10⁻⁵ 0,2 µg/m³ ER 10⁻⁶</p>	<p>1 année</p> <p>vie entière</p> <p>14 j –1 an - >1 an</p> <p>vie entière</p> <p>vie entière</p>
<p>Toluène</p> <p>Styrène</p> <p>Tétrachloroéthylène</p> <p>Trichloroéthylène</p>	<p><u>OMS</u> 260 µg/m³ 260 µg/m³ 250 µg/m³</p> <p>Excès de risque unitaire par µg/m³: 4,3 10⁻⁷</p>	<p>1 semaine</p> <p>1 semaine</p> <p>1 année</p> <p>vie entière</p>
Indice COV Totaux	<p><u>Commission européenne</u> (Indoor air quality and its impact on man) Report N°19 (EUR 17675 EN): Total volatile organic compounds (TVOC) in indoor air quality investigations</p> <p>200 à 300 µg/m³</p>	

* + directives européennes

Paramètres	Références	Durée exposition considérée
Formaldéhyde	<p><u>OMS</u> 100 µg/m³</p> <p><u>Projet européen INDEX</u> 30 µg/m³</p> <p><u>AFSSET</u> 50 µg/m³ 10 µg/m³</p>	<p>30 min</p> <p>2 heures exposition long terme</p>
Radon	<p><u>Critères nationaux</u> Entre 400 et 1000 Bq/m³ >1000 Bq/m³</p>	<p>Actions correctives simples Actions correctives impératives</p>
<p>Particules fines PM 2.5</p> <p>PM10</p>	<p><u>OMS</u> 25 µg/m³ 10 µg/m³</p> <p>50 µg/m³ 20 µg/m³</p>	<p>24 heures 1 année</p> <p>24 heures 1 année</p>
Amiante	<p><u>Code de la santé publique</u> Limite : 5 fibres/Litre</p>	
Fibres minérales artificielles (FMA)	-	

Paramètres	Références	Observations
<p>Aspect ventilation</p> <p>Débit air neuf</p> <p>Dioxyde de carbone CO2</p>	<p><u>Code du travail (art.R.232-5-3)</u> 25 m³/h par occupant (au minimum)</p> <p><u>Circulaire ministérielle (9/05/2004)</u> 1000 ppm</p>	<p>Locaux à pollution « non spécifique » ventilés mécaniquement</p> <p>Locaux à pollution « non spécifique »</p>
<p>Aspect confort thermo- hygrométrique</p> <p>Température</p> <p>Humidité relative</p>	<p><u>Norme XP X 43-401</u></p> <p>environ 22°C et 40% < HR < 60%</p>	<p>Audit qualité d'air Locaux non industriels (annexe indicative A)</p>

Amélioration de la qualité de l'air intérieur Perspectives....

2^{ème} Plan National Santé Environnement (PNSE2) 2009 – 2013

Parmi les actions prioritaires : Améliorer la qualité de l'air intérieur
des bâtiments et accompagner les efforts d'amélioration de la
performance énergétique

Limitier les sources de pollution

- Interdiction de substances CMR dans les matériaux et produits de décoration
- Mise en place d'un étiquetage obligatoire de ces produits à compter du 1^{er} janvier 2011 relatif aux émissions COV et formaldéhyde

Aérer, ventiler et climatiser sainement