

5^{ème} Ecole d'automne du GDR MBS

Eco-conception des matériaux biosourcés et géosourcés : de la ressource à la fin de vie

12 au 16 octobre 2025, Douai



Qualité de l'Air Intérieure: qu'est-ce que cela comporte et pourquoi on s'y intéresse?

Liselotte Tinel
CERI EE, IMT Nord Europe

*Avec l'aide de Marie Verriele, Frédéric Thevenet, Tamara Braish,
Cédric Perez, Nadine Locoge ...*



Laboratoire
de Génie Civil
et géo-Environnement



IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille



Liberté
Égalité
Fraternité



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



À quoi pensez vous quand vous pensez à la
pollution de l'eau **et de** pollution de l'atmosphère?



En matière de pollution de l'eau et de pollution de l'atmosphère, la population générale dispose de représentations mentales fortes :

- Parce que ces pollutions sont visibles, presque palpables.
- Parce qu'à présent, les causalités sont plutôt bien établies.

Pollution de l'eau

- Marées noires
- Déchets plastiques
-

Les causes (industrie, anthropisation) et les impacts induisent une conscience distanciée





En matière de pollution de l'eau et de pollution de l'atmosphère, la population générale dispose de représentations mentales fortes :

- Parce que ces pollutions sont visibles, presque palpables.
- Parce qu'à présent, les causalités sont plutôt bien établies.

Pollution de l'eau

- Marées noires
- Déchets plastiques
-

Les causes (industrie, anthropisation) et les impacts induisent une conscience distanciée

Mais la pollution de l'air intérieur...

... c'est paradoxalement moins évident et plus proche !



En matière de pollution de l'eau et de pollution de l'atmosphère, la population générale dispose de représentations mentales fortes :

- Parce que ces pollutions sont visibles, presque palpables.
- Parce qu'à présent, les causalités sont plutôt bien établies.

Pollution de l'eau

- Marées noires
- Déchets plastiques
-

Les causes (industrie, anthropisation) et les impacts induisent une conscience distanciée

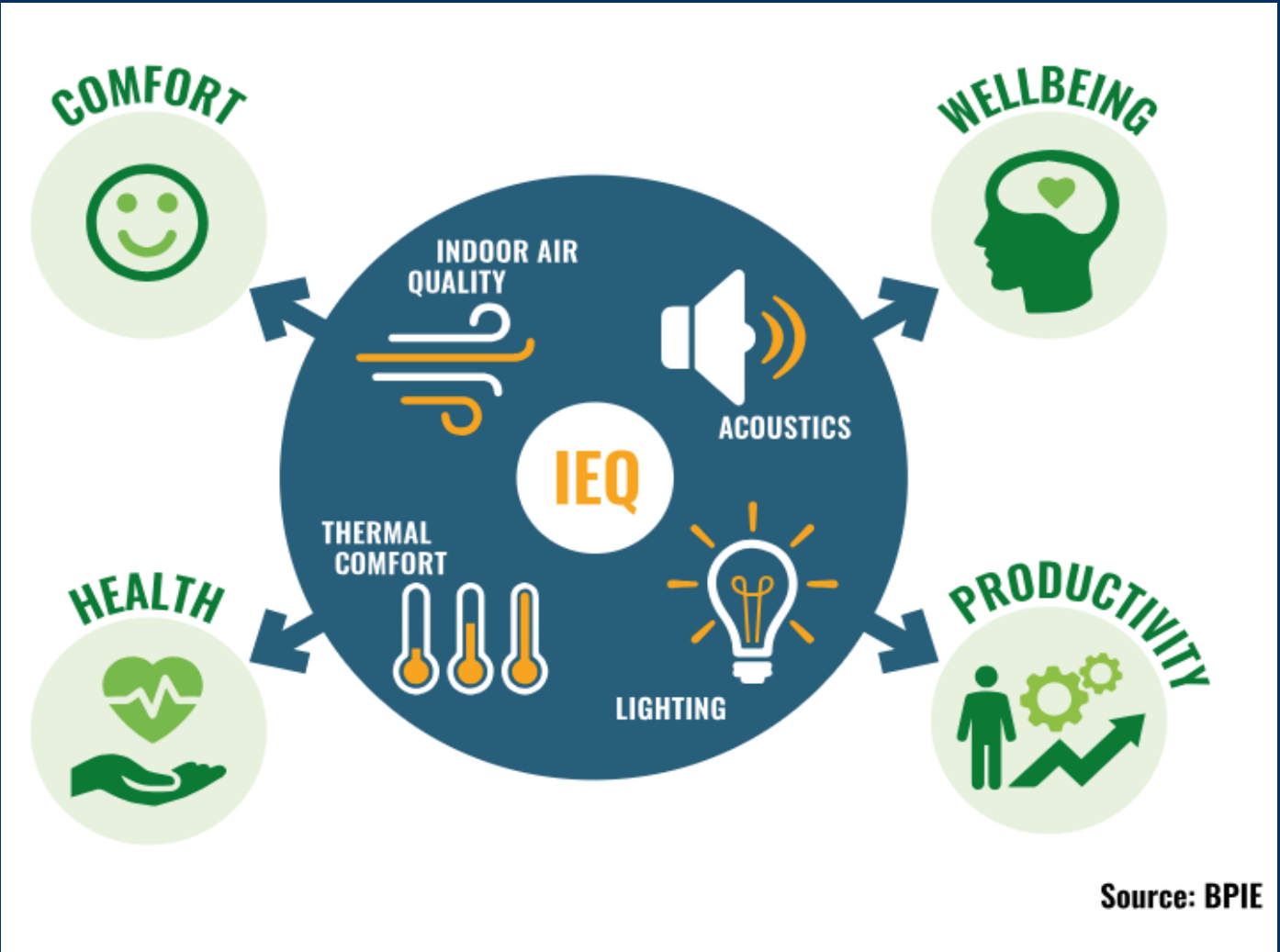
Mais la pollution de l'air intérieur...
... c'est paradoxalement moins évident et plus proche !

La pollution des environnements intérieurs :

- Est souvent invisible
- Parfois odorante... Mais c'est parfois rassurant !
- Se produit dans un environnement a priori sûr : chez moi
- Est généralement causée par... moi-même !



Qualité des Environnements Intérieurs





La QUALITE de l'AIR INTERIEUR

Introduction



Un sujet complexe: qu'est ce qu'une bonne qualité de l'air?
Grande diversité de polluants, de sources, d'environnements intérieurs



80%

Un sujet important: car nous y passons 80-90% de notre temps, où nous respirons un air de moins bonne qualité qu'à l'extérieur



Un sujet prioritaire: exposition aux conséquences avérées dans les allergies et maladies respiratoires ; conséquences plausibles dans le développement de cancers

➔ **Connaitre les origines des polluants et adopter les bons gestes est essentiel pour limiter la pollution**

La QUALITE de l'AIR INTERIEUR

Vraiment ... c'est un sujet prioritaire?

- ~0.5 L par inhalation et 12 à 20 respirations par minute $\Rightarrow$ 6-10 L/min.
Sur une journée: au moins 8640 L ou 10.6 kg d'air
- Air inhalé = contact très intime avec le sang $\Rightarrow$ polluants aussi!
- OMS : la pollution de l'air à l'intérieur des habitations est responsable d'environ **3,2 millions de décès par an** (2020), dont ~7% sont des enfants.
- Au total, la **pollution de l'air extérieur + intérieur** est associé à **6,7 millions de décès** prématurés chaque année.



La QUALITE de l'AIR INTERIEUR

Vraiment ... c'est un sujet prioritaire?

- ~0.5 L par inhalation et 12 à 20 respirations par minute $\Rightarrow$ 6-10 L/min. Sur une journée: au moins 8640 L ou 10.6 kg d'air
- Air inhalé = contact très intime avec le sang $\Rightarrow$ polluants aussi!
- **OMS**: la pollution de l'air à l'intérieur des habitations est responsable d'environ **3,2 millions de décès par an** (2020), dont ~7% sont des enfants.
- Au total, la **pollution de l'air extérieur + intérieur** est associé à **6,7 millions de décès** prématurés chaque année.



Symptômes spécifiques & immédiat > exposition aigue

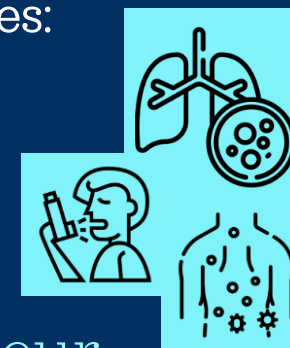
- reactions aux mauvaises odeurs (inconfort)
- irritations yeux/gorge/nez
- maux de tête
- difficultés de concentration
- irritation peau
- hypersensibilité



Effets à long terme -> exposition chronique

La pollution de l'air à l'intérieur des habitations entraîne **des maladies non transmissibles**:

- accidents vasculaire cérébral (AVC)
- cardiopathie ischémique
- cancer du poumon
- asthme
- allergies



 La qualité de l'air intérieure est vraiment un enjeu sanitaire majeur

10

QAI:
quésaco?

... mais qu'est-ce que c'est la qualité de l'air intérieure?



100 000 ppm → *concentration létale*

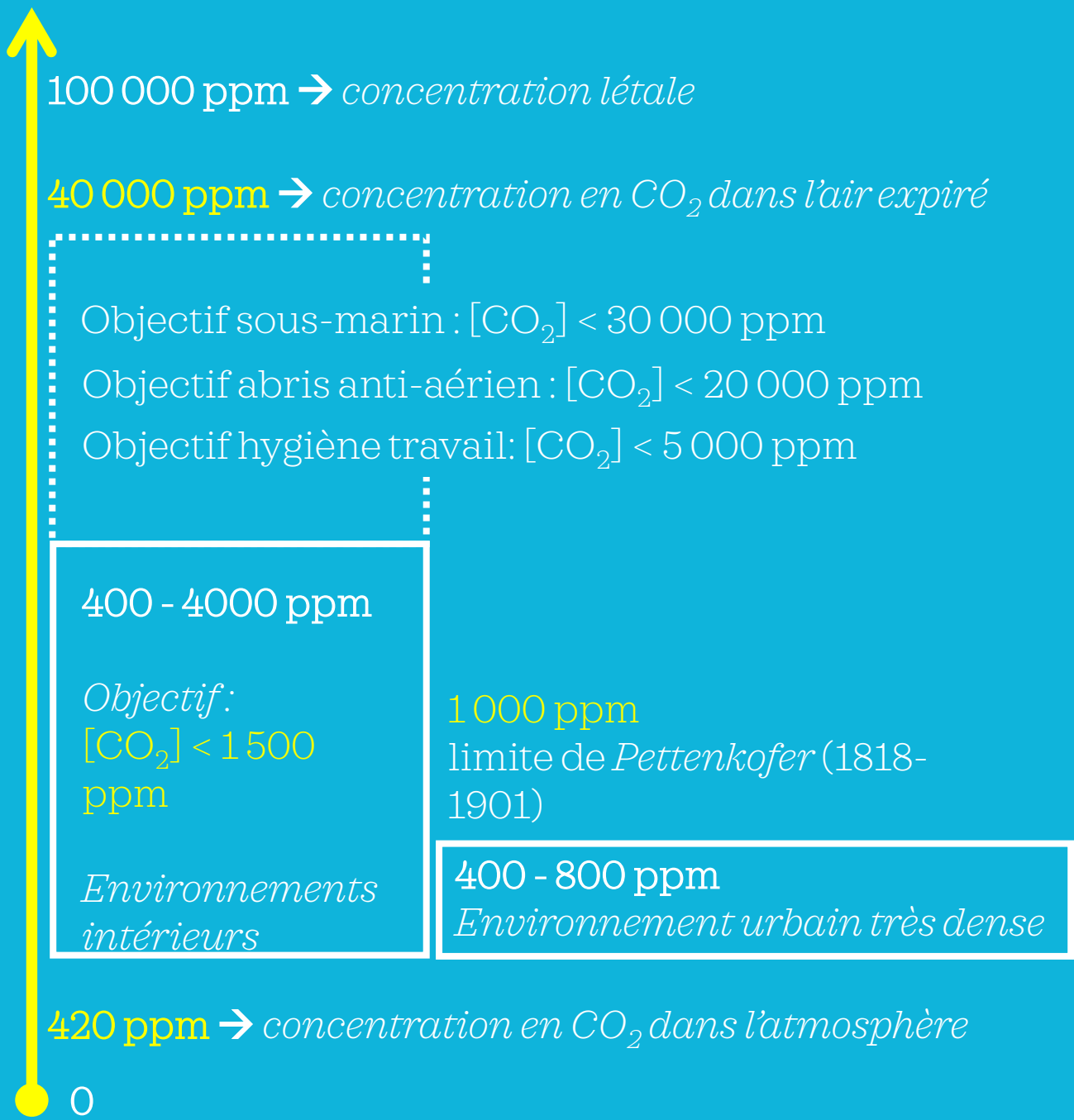
40 000 ppm → *concentration en CO₂ dans l'air expiré*

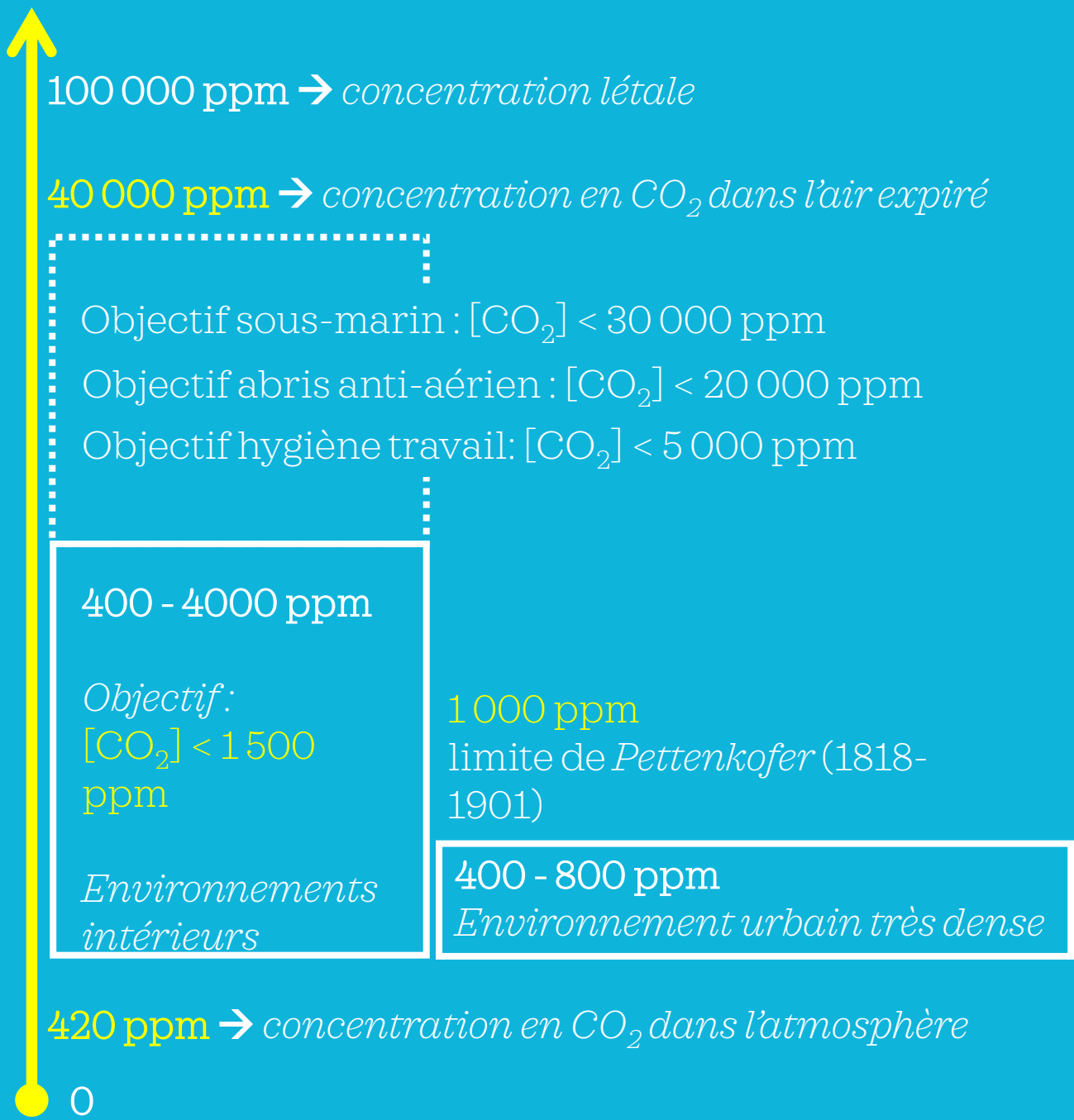
400 - 800 ppm
Environnement urbain très dense

420 ppm → *concentration en CO₂ dans l'atmosphère*

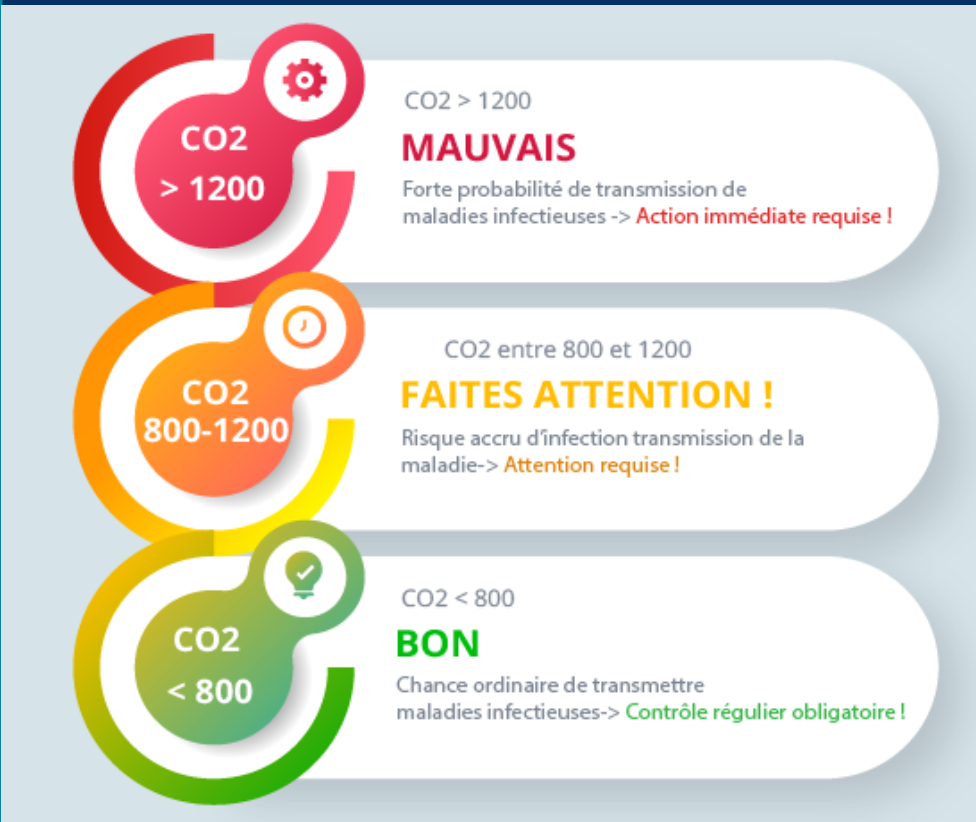
0

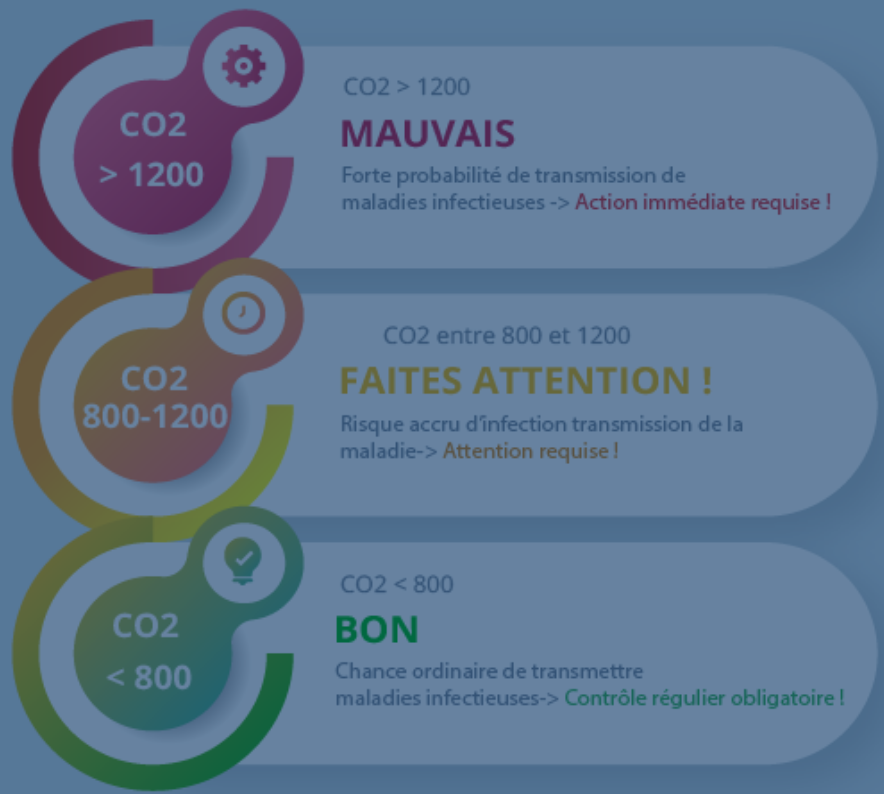
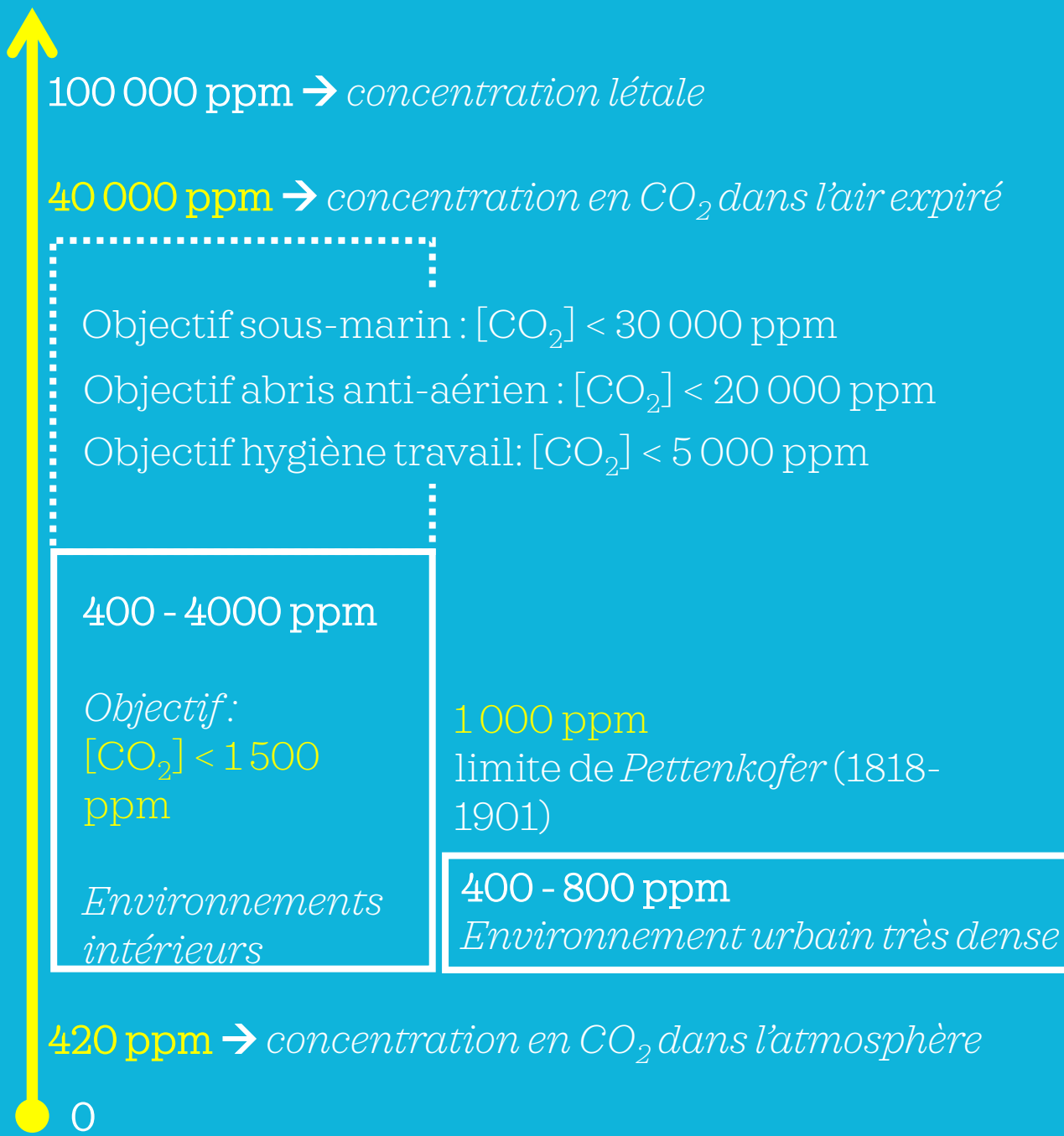
QAI:
quésaco?



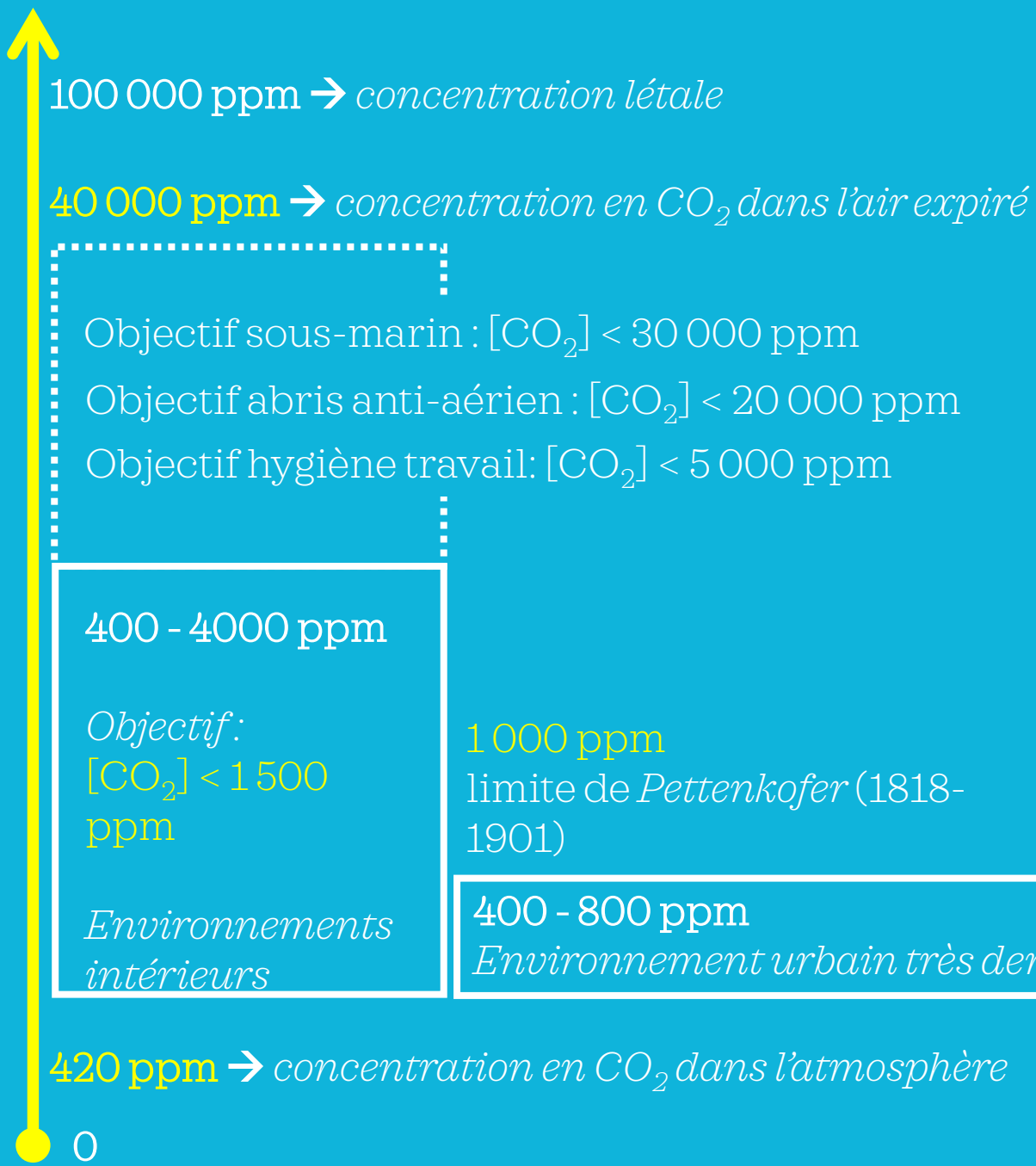


CO₂ le polluant que tout le monde connaît!

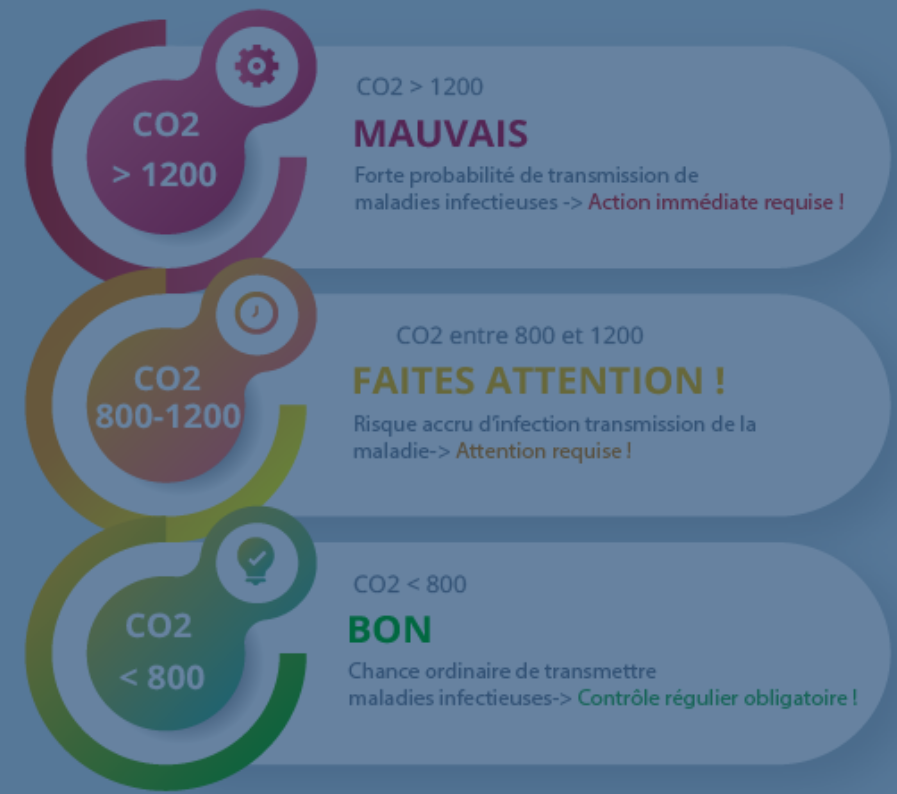




CO₂ est un indicateur
mais ce n'est qu'UN indicateur
d'un système qui est en réalité complexe.



CO₂ le polluant que tout le monde connaît!



CO₂ est un indicateur
mais ce n'est qu'UN indicateur
d'un système qui est en réalité complexe.

Qualité de l'air intérieur – les polluants



Un air qui sent bon?
Un air dépourvu de polluants?



Qualité de l'air intérieur – les polluants



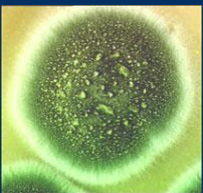
Un air qui sent bon?
Un air dépourvu de polluants?



Polluants physiques:
particules, poussières,
fibres (amiante), métaux



Polluants chimiques:
Gaz inodores (CO₂, CO)
Composés organiques volatils (COV)

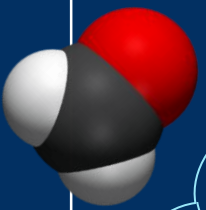


Polluants biologiques:
Virus, bactéries, moisissures,
pollens, ...

Qualité de l'air intérieur – les polluants et leurs sources

Composés organiques volatils (COV)

QAI:
quésaco?



S

H₂S Mercaptans
Sulfures
Thiazoles
Thiophènes



N

Amines
Pyrazines
Pyrridines
Nitriles
Pyrroles
Indol



O

Alcools
Aldéhydes
Cétones / Esters
Acides
Furanes
Acétals



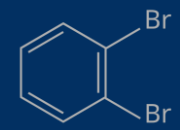
Hydrocarbures

Alcènes
Terpènes
Certains alcanes



Aromatiques

Fonctionnalisés ou non



Les polluants: différents de ceux de l'air extérieur



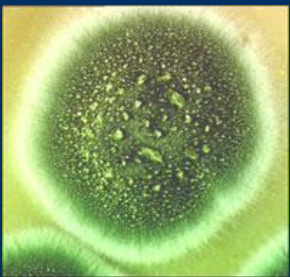
QAI:
quésaco?



Polluants physiques:
particules, poussières, fibres (amiante), métaux



Polluants chimiques:
Gaz inodores (CO₂, CO)
Composés organiques volatils (COV)



Polluants biologiques:
Virus, bactéries, moisissures, pollens, ...

Air ambient

L'air ambient est l'air présent à l'extérieur des bâtiments. On y retrouve :

- **Dioxyde d'azote (NO₂)** : Principalement dû au transport routier (Diesel) et aux industries manufacturières.
- **Particules (PM)** : Classées selon leur taille (moins de 10µm, 2,5µm et 1µm). Proviennent majoritairement des combustions et des poussières formées par l'industrie, le transport et l'agriculture.
- **Composés Organiques Volatils (COV)** : Formés en extérieur par les industries chimiques, agroalimentaires et de construction ainsi que le transport routier (essence et deux-roues) et fluvial.
- **Ozone (O₃)** : Formé dans la basse atmosphère à partir d'autres polluants sous l'effet des rayons UV.

Air intérieur

Dans l'air intérieur on retrouve :

- **Dioxyde de carbone (CO₂)** : Rejeté par la respiration. Se concentre de plus en plus au cours du temps dans les espaces clos et d'autant plus qu'il y a d'individus présents.
- **Particules (PM)** : Se retrouvent sous forme de spores de moisissures, dans la fumée de tabac, lors du chauffage (au bois ou au fioul), de la cuisson des aliments...
- **Composés Organiques Volatils (COV)** : Proviennent majoritairement des matériaux de construction ou de décoration, du mobilier (surtout s'il est neuf), des produits d'entretien, de la fumée de tabac...



QAI et impact sur la santé

Synthèse des valeurs limites

M. Mannan and S. G. Al-Ghamdi, "Indoor air quality in buildings: a comprehensive review on the factors influencing air pollution in residential and commercial structure", 2021

QAI:
quésaco?

Caractère ubiquitaire

WHO (2010)

US EPA (2022)

Effet santé avéré

Technique de mesure disponible

Composés
Organiques
Volatils

Valeur court terme (1h, 8h, 1 jour)

Valeur long terme (1an)

Acetaldehyde

Asbestos

Benzene

CO

CO₂

Flame retardants

Formaldehyde

Glycol ethers

Halogenated Compounds

Hexane

Limonene

Naphthalene

NO

NO₂

O₃

Pesticides

Phthalates

Particulate Matter

Polycyclic aromatic hydrocarbons

Rn

Styrene

Toluene

TVOC

Xylenes

- Asbestos

- Biological Pollutants

- CO

- Cookstoves

- Formaldehyde/Pressed Wood Products

- Particulate Matter

- Lead (Pb)

- NO₂

- Pesticides

- Rn

- Secondhand Smoke/ Environmental Tobacco Smoke

- Volatile Organic Compounds (VOCs)

- Wood Smoke

France ANSES (2020)

- Acétaldéhyde

- Acide cyanhydrique

- Acroléine

- Benzène

- NO₂

- Formaldéhyde

- CO

- Naphtalène

- Particules

- Tétrachloroéthylène

- Trichloroéthylène



Définition du polluant ‘COV’

Composés
Organiques
Volatils

European Directive 1999/13/CE :
« any compound that contains **at least one carbon element**, with one or more of the following elements:
hydrogen, oxygen, sulphur, phosphorus, silica, or nitrogen, excluding carbon oxides, carbonates, and inorganic carbonates...
with a **vapour pressure of more than 0.01 kPa at 293.15 K** »

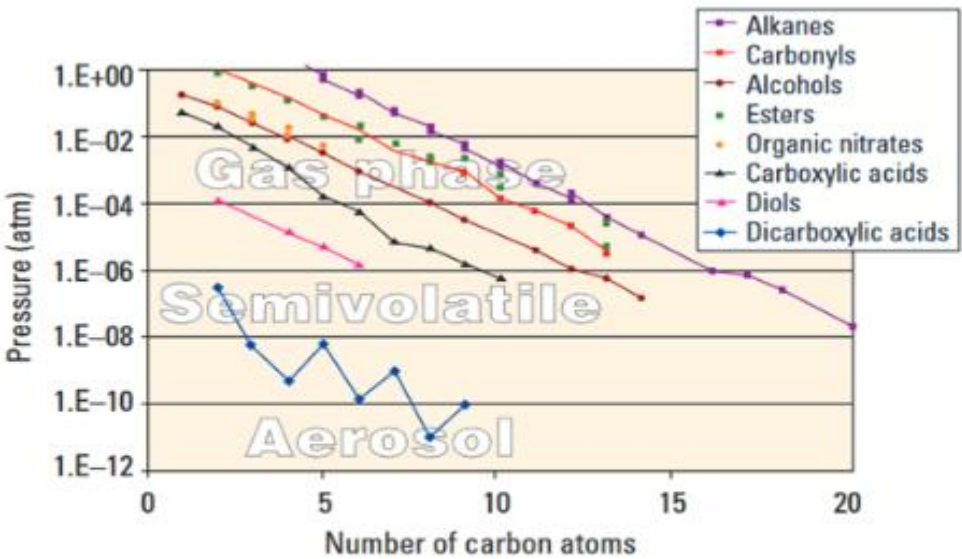


Figure 1-8: Saturation pressure of VOCs depending on their number of carbons, adjusted from Goldstein and Galbally (2007).

COV = groupe de plusieurs milliers de composés

➔ Conséquences pour leur **identification** (pas une seule technique pour mesurer tous) et pour leur **quantification** (<ppb; pas de standards pour tous!)

COV , QAI et santé:
Effets directs e.g. benzène ou formaldéhyde (CRM)
Effets indirects: formation de particules

Qui d'autre se préoccupe de la QAI en France?



QAI:
quésaco?

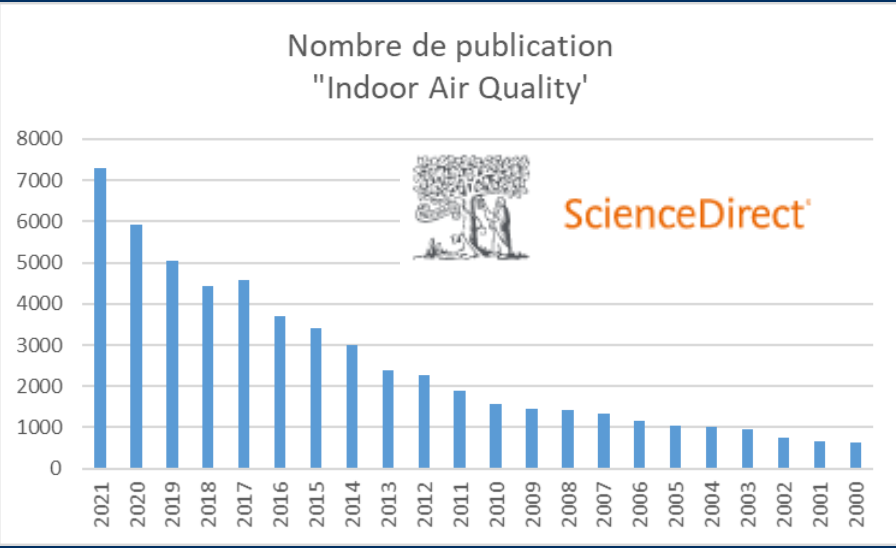


Liste non exhaustive !

Référence internationale: ISIAQ (International Society of Indoor Air Quality and Climate)



QAI:
quésaco?



Development of the Internet of Things sensory technology for ensuring proper indoor air quality in hospital facilities: Taxonomy analysis, challenges, motivations, open issues and recommendations
Measurement, 23 February 2022, ...
Noor Saad Baqer, Hussein A. Mohammed, ... O. S. Albahri

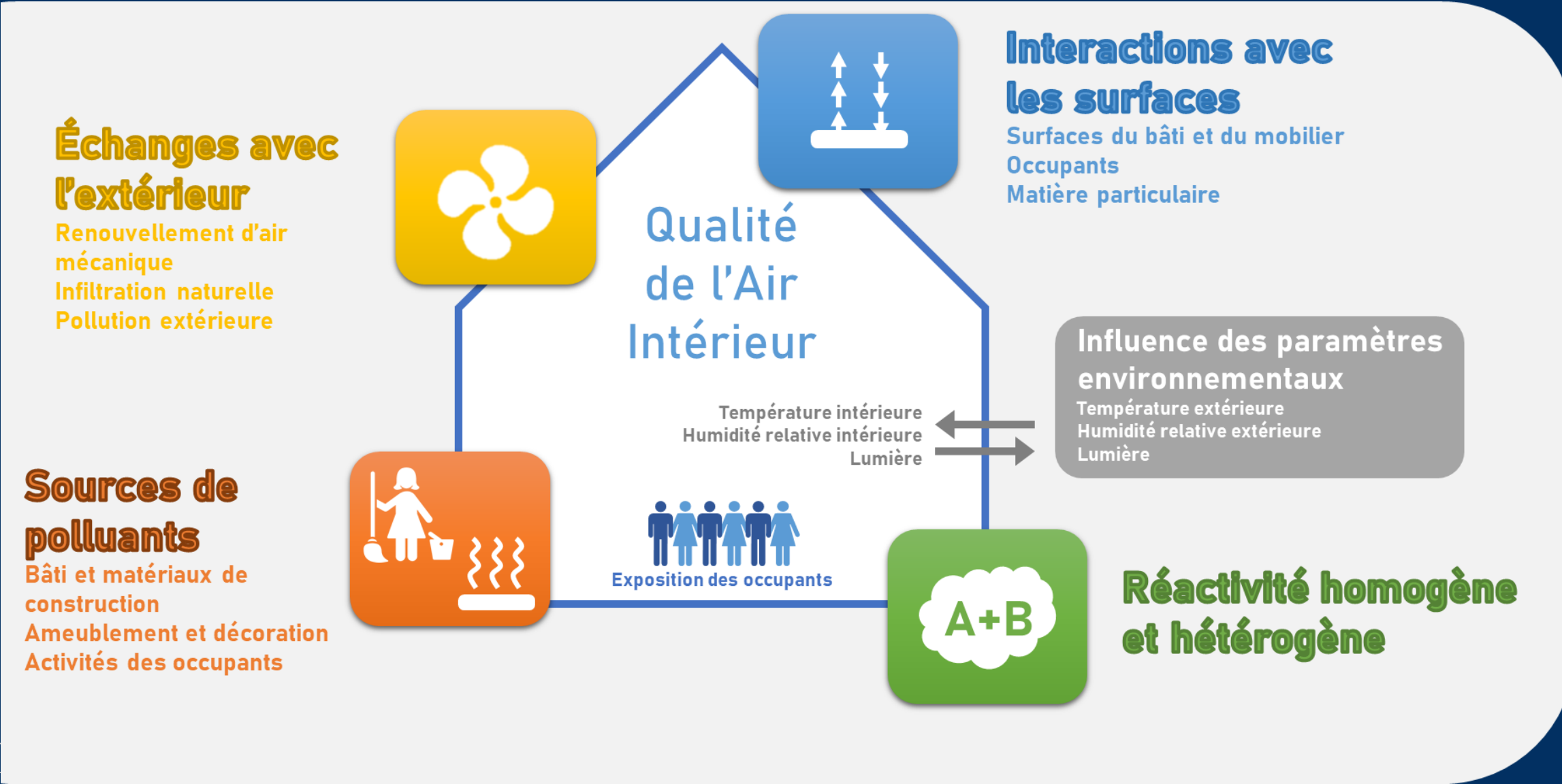
Occupational exposure to volatile organic compounds and health risks in Colorado nail salons
Environmental Pollution, 23 March 2019, ...
Aaron Lamplugh, Megan Harries, ... Lupita D. Montoya

Indoor air quality and reported health symptoms among hair dressers in salons in ...
Journal of Chemical Health and Safety, 4 October 2018, ...
Godson R. Ana, Abosede S. Alli, ... Derek G. Shendell

Comprehensive assessment of the indoor air quality in a chlorinated Olympic-size swimming pool
Environment International, 26 December 2019, ...
Fátima Felgueiras, Zenaida Mourão, ... Eduardo de Oliveira Fernandes



Déterminants de la QAI



Apport d'air par l'extérieur

Valeur de ref:
0,5h⁻¹

Échanges avec l'extérieur

Renouvellement d'air mécanique

Infiltration naturelle

Pollution extérieure



déterminants

Taux de renouvellement d'air (TRA)=

Nombre de fois où le volume d'air est renouvelé par unité de temps

European Heating and Ventilation Associations (REHVA) Guidebook :

taux de ventilation minimal : 3 L s⁻¹ personne⁻¹

ASHRAE standard : 8 L s⁻¹ personne⁻¹

Taux de renouv. en fonction du volume et du taux de ventilation de salles de classes (Asif, et al., B&E, 2020)

Classrooms	Volume (m ³)	Ventilation Rates (l/s/person)	Air Exchange Rates (1/hour)	N _{occupants}
CRo1	71.6	5.6		28
CRo2	71.6	1.8		20
CRo3	102.4	3.6		28.5
CRo4	61.7	4.2		24
CRo5	61.7	1.1		22

$$TRA = \frac{q}{V}$$

Avec *TRA* (h⁻¹), *q* = taux de ventilation (L s⁻¹ personne⁻¹)

$$q = \frac{V \frac{dC}{dt} - NG}{C_{ext} - C_{int}}$$

Avec :

V = volume de la pièce (m³)

N = nombre d'occupants dans la pièce

G = taux de génération de CO₂ par personne (mg/s)

G_{enf} = 0.00411 l/s (8.1378 mg/s) pour enfants [1]

G_{ad} = 0.0054 l/s (10.21 mg/s) pour adultes [1]

C_{ext} = concentration de CO₂ dans l'air extérieur (mg/m³)

C_{int} = concentration de CO₂ dans l'air intérieur (mg/m³)

[1] C. Beisteiner, Int. J. Vent., 2002

Apport d'air par l'extérieur

Taux de renouvellement d'air (TRA)=

Nombre de fois où le volume d'air est renouvelé par unité de temps

Valeur de ref:
0,5h⁻¹

Échanges avec
l'extérieur
Renouvellement d'air
mécanique
Infiltration naturelle
Pollution extérieure

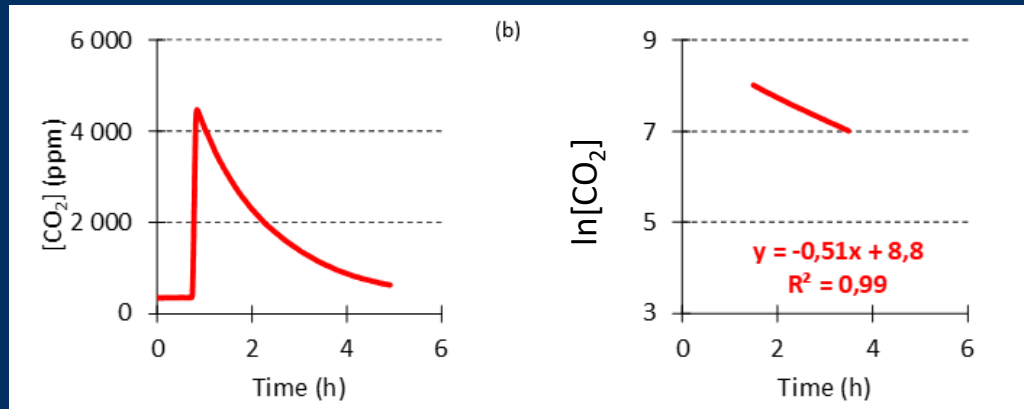


European Heating and Ventilation Associations (REHVA) Guidebook :

taux de ventilation minimal : 3 L s⁻¹ personne⁻¹

ASHRAE standard : 8 L s⁻¹ personne⁻¹

Détermination expérimentale du taux de renouvellement d'une pièce (données IMT NE)



$$TRA = \frac{q}{V}$$

Avec TRA (h⁻¹), q = taux de ventilation (L s⁻¹ personne⁻¹)

$$q = \frac{V \frac{dC}{dt} - NG}{C_{ext} - C_{int}}$$

Avec :

V = volume de la pièce (m³)

N = nombre d'occupants dans la pièce

G = taux de génération de CO₂ par personne (mg/s)

$G_{enf} = 0.00411$ l/s (8.1378 mg/s) pour enfants [1]

$G_{ad} = 0.0054$ l/s (10.21 mg/s) pour adultes [1]

C_{ext} = concentration de CO₂ dans l'air extérieur (mg/m³)

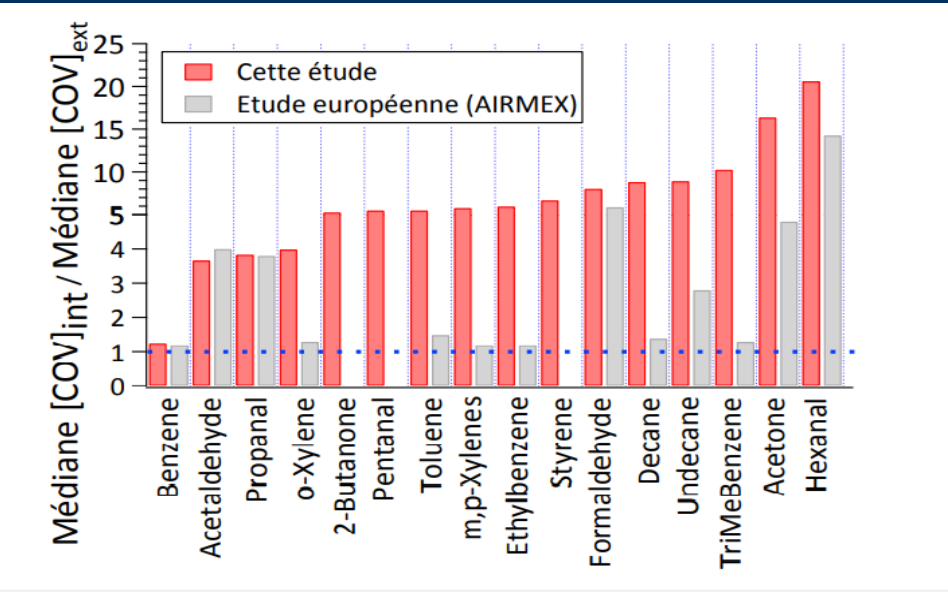
C_{int} = concentration de CO₂ dans l'air intérieur (mg/m³)

[1] C. Beisteiner, Int. J. Vent., 2002

Apport d'air par l'extérieur

Infiltration de polluants

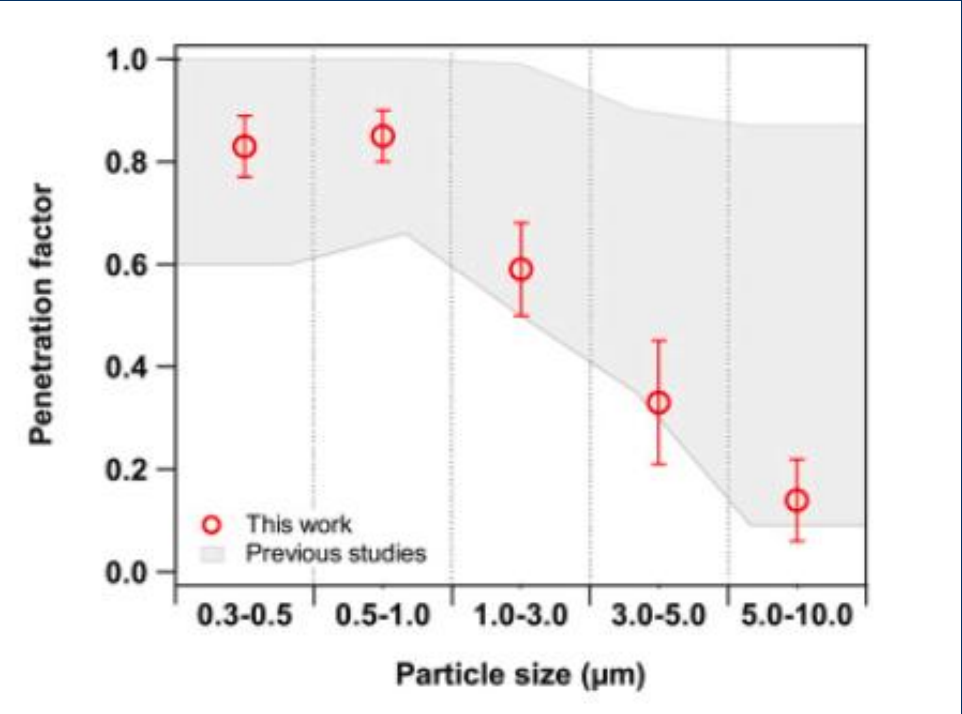
Médianes et Séries temporelles des mesures de COV - intérieur / extérieur (Verriele et al., Indoor Air, 2015)



Échanges avec l'extérieur

Renouvellement d'air mécanique
Infiltration naturelle
Pollution extérieure

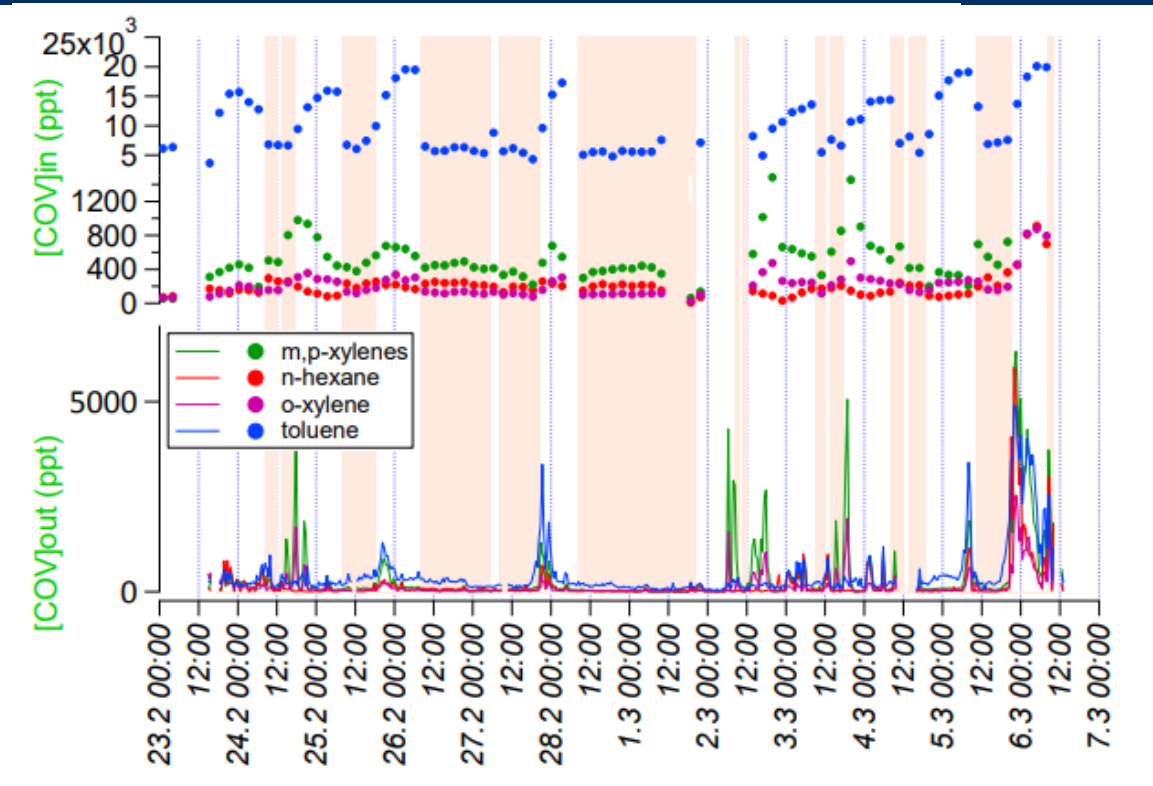
Taux de pénétration des particules en fonction de leur taille (Stratigou et al., B&E, 2020)



Apport d'air par l'extérieur

Infiltration de polluants

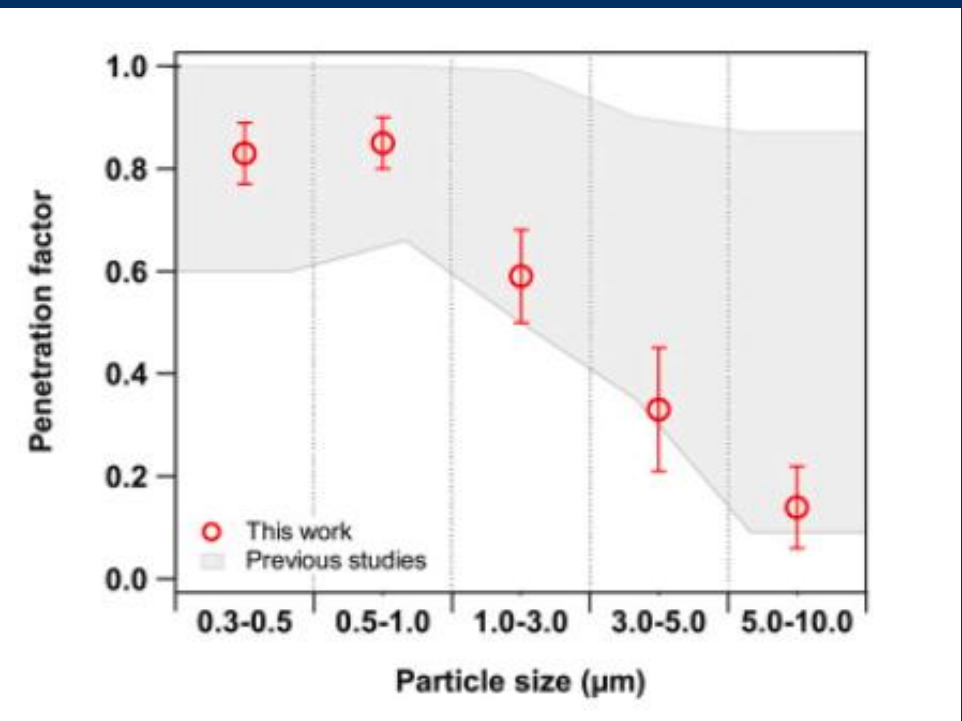
Médianes et Séries temporelles des mesures de COV
- intérieur / extérieur (Verriele et al., Indoor Air, 2015)



Échanges avec l'extérieur
Renouvellement d'air mécanique
Infiltration naturelle
Pollution extérieure



Taux de pénétration des particules en fonction de leur taille (Stratigou et al., B&E, 2020)



Caractériser les sources de polluants

Qu'est-ce qu'un taux d'émission?

Quantité de polluants émises par une source par unité de temps

Pour un matériau surfacique: par unité de surface

Pour un produit ménager: par gramme de produit

Pour un diffuseur d'huile essentielle: par diffuseur

Quel intérêt par rapport à une concentration ambiante?

S'affranchir des caractéristiques de l'espace intérieur (volume, taux de charge, taux de renouvellement d'air) et décrire uniquement les caractéristiques de la source

Selon NF EN ISO 16000-9, le **débit d'émission spécifique surfacique** $Q_{surf,i}$ d'un COV_i ($\mu g.m^{-2}.h^{-1}$):

$$Q_{surf,i} = \frac{C_i . TRA . V}{S}$$

C_i : la concentration mesurée en COV_i ($\mu g.m^{-3}$)

TRA : taux de renouvellement de l'air (h^{-1})

V : volume d'air dans la chambre (m^3)

S : surface du matériau exposé (m^2)

Sources de polluants

Bâti et matériaux de construction

Ameublement et décoration

Activités des occupants



Sources de polluants

Mesures d'émissions réglementés : chambre d'exposition

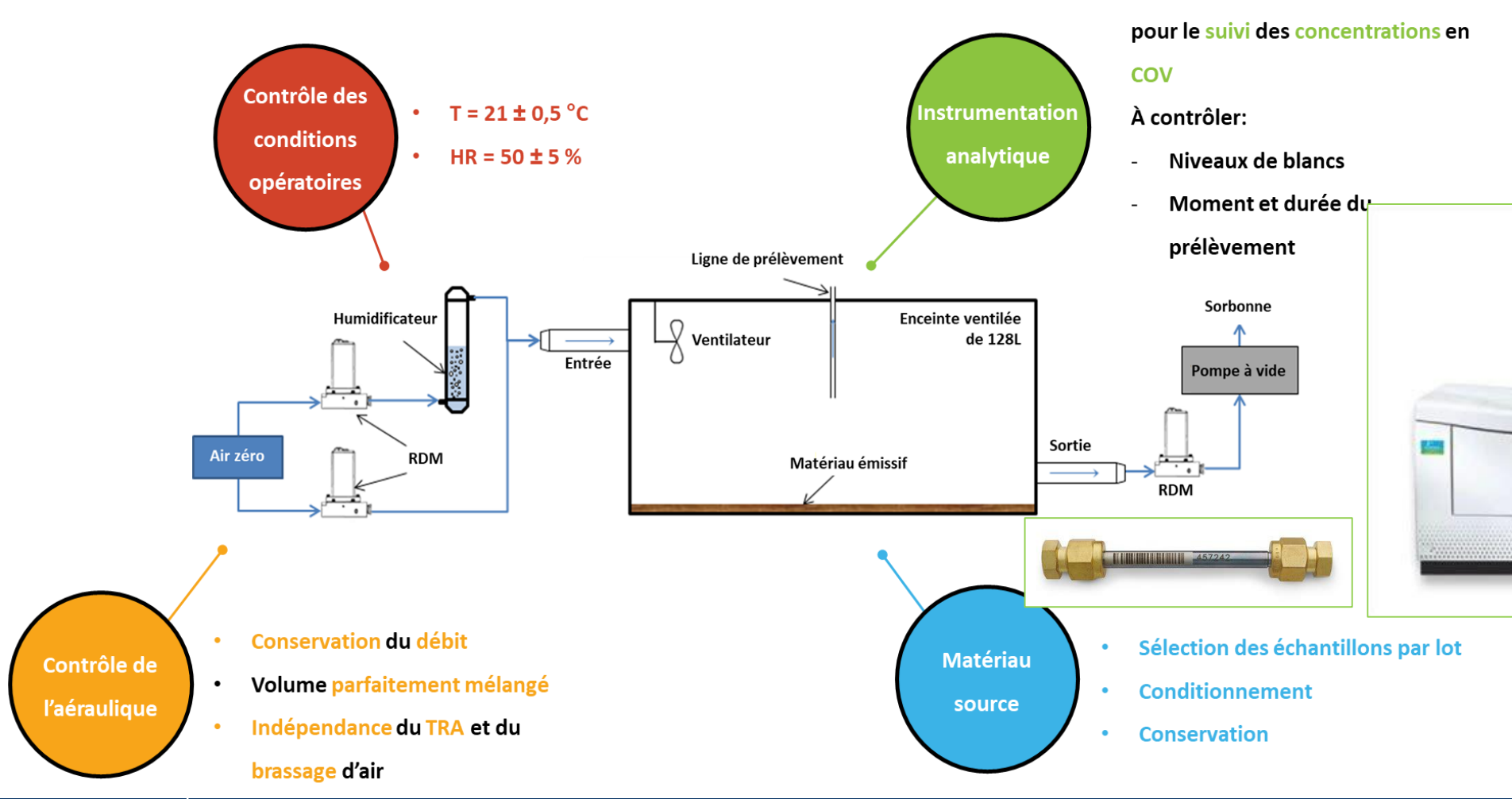
Exemple: taux d'émissions de divers COV émis par une planche de bois aggloméré (Thèse F. Caron)

Sources de polluants

Bâti et matériaux de construction

Ameublement et décoration

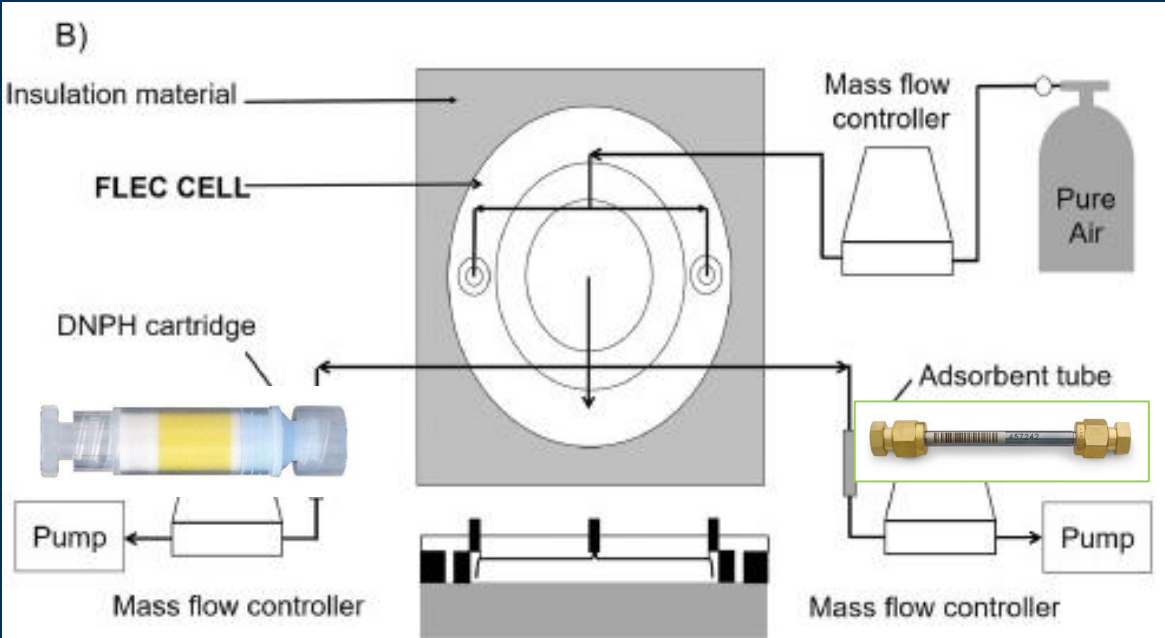
Activités des occupants



Sources de polluants

Mesures d'émissions sur le terrain:
Field and Lab Emission Cell (FLEC)

Sources de polluants
Bâti et matériaux de construction
Ameublement et décoration
Activités des occupants



HPLC-UV

déterminants

Sources de polluants

Exemple: taux d'émissions de divers COV émis par une planche de bois aggloméré (Thèse F. Caron)

Sources de polluants

Bâti et matériaux de construction
Ameublement et décoration
Activités des occupants



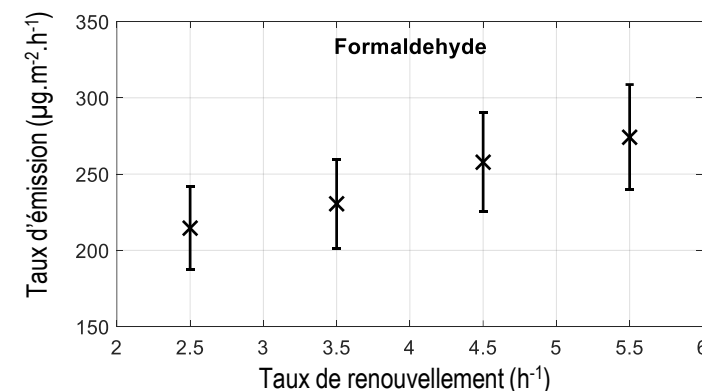
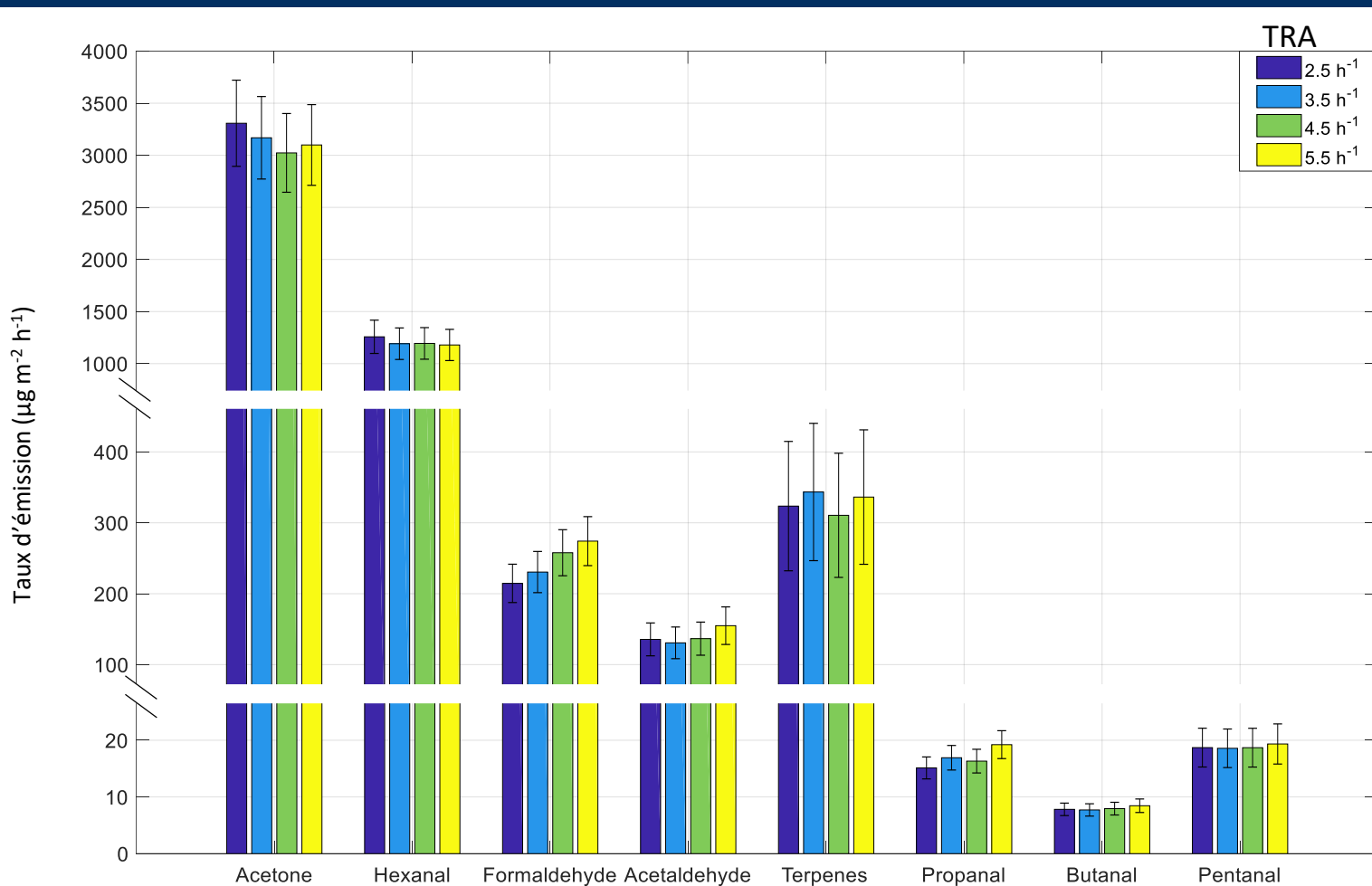
Le plus souvent :

TRA ↗

C_i ↘

(à taux d'émission constant)

➤ Pas d'influence significative
sauf pour le **formaldéhyde**



➔ L'apport d'air neuf favorise
l'émission de formaldéhyde

Sources de polluants: les surfaces

L'émission est fonction de 3 processus élémentaires :

1. Coefficient de partition K_i

Équilibre linéaire et réversible de concentration en COV entre le matériau et la phase gazeuse

$$C_{mat,eq,i} = K_i \cdot C_{air,eq,i}$$

2. Concentration initiale émissible $C_{0,i}$ (mg.m⁻³)

Concentration initiale de COV dans le matériau disponible lors du processus d'émission

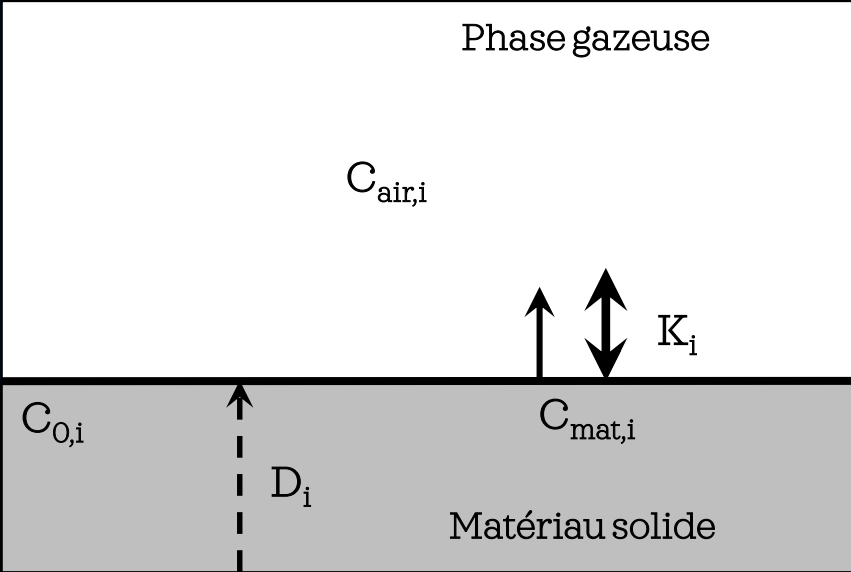
3. Coefficient de diffusion D_i (m².s⁻¹)

Diffusion unidirectionnelle du COV à travers le matériau solide

$$\frac{\partial C_{mat,i}(x,t)}{\partial t} = D_i \cdot \frac{\partial^2 C_{mat,i}(x,t)}{\partial x^2}$$



Le taux d'émission est aussi fonction:
 des conditions environnementales
 T°, %HR, P



Sources de polluants: les surfaces

L'émission est fonction de 3 processus élémentaires :

Exemple: épuisement d'un matériau dans des conditions d'alternances de phases étanches et renouvelées (thèse F. Caron)

Sources de polluants

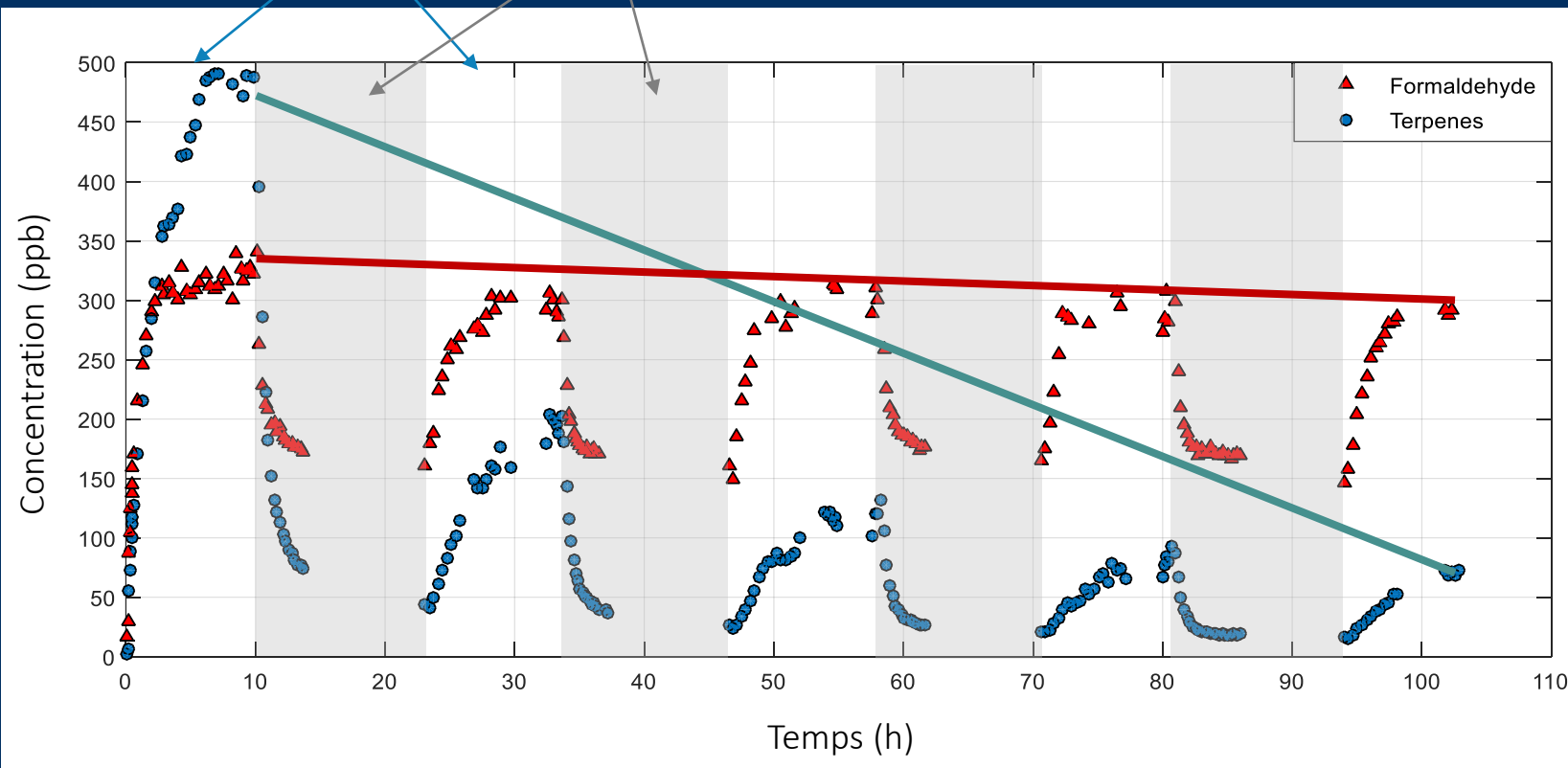
Bâti et matériaux de construction

Ameublement et décoration

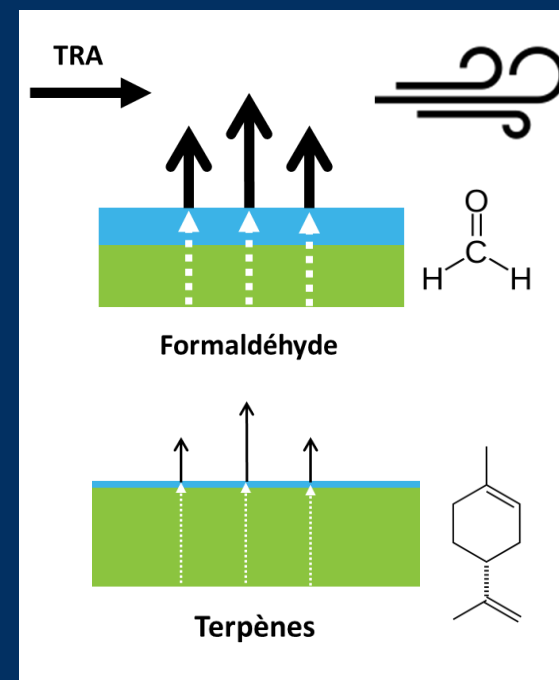


Interactions avec les surfaces

Surfaces du bâti et du mobilier
Occupants
Matière particulaire



CH_2O : K_i , D_i et C_{mat} élevés



Sources de polluants: les surfaces

Sources de polluants

Bâti et matériaux de construction
Ameublement et décoration
Activités des occupants



Interior side:
T = 22 °C
RH = 70 %

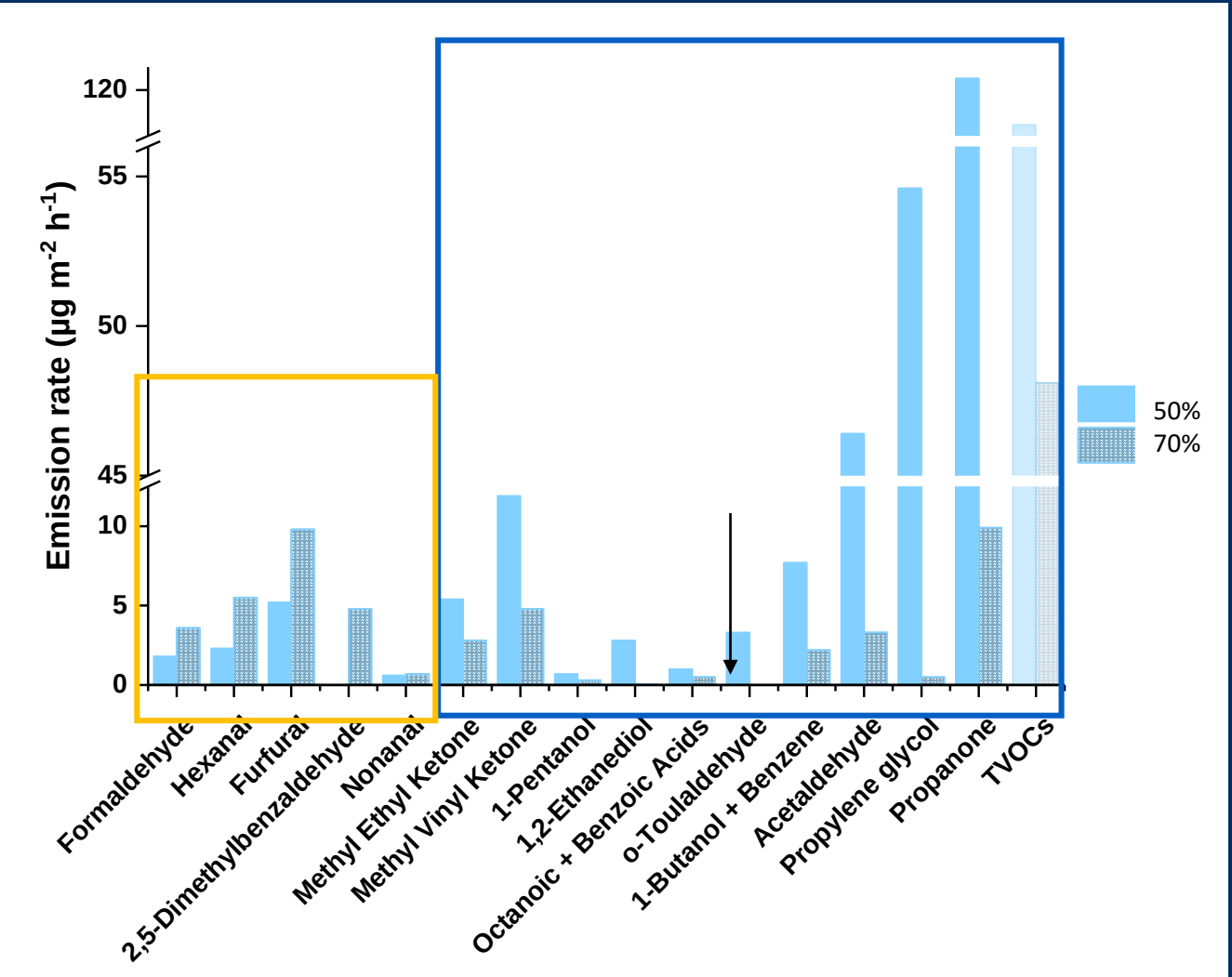
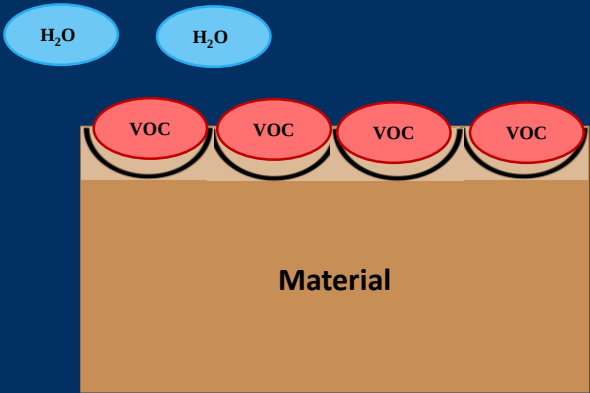
↔

Exterior side:
T = 12 °C
RH = 65 %

1 matériaux, 2 conditions d’RH: 50% versus 70%

Deux comportement dans les émissions des COVs:

- 1) **diminution:** sous HR élevée, les émissions diminuent : épuisement du matériau (et/ou barrière de l’eau?)
- 2) **augmentation:** notamment des aldehydes
 - Aldehydes probablement émis par le bois qui se degrade sous conditions humides
 - Compétition des sites d’adsorption avec l’eau



Sources de polluants: les surfaces

Sources de polluants
Bâti et matériaux de construction
Ameublement et décoration
Activités des occupants



The estimated indoor air concentrations ($\mu\text{g m}^{-3}$) and the respective contribution (%) of VOC emissions from the 7 building structures to VOC indoor air levels:

Braish et al., Building & Environ., 2023

VOC	Summer								
	C_{in} ($\mu\text{g m}^{-3}$)	$\sum_{i=1}^{n=7} C_{e,i}$ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Contribution (%)						
			Wall 1	Wall 2	SE	SW	NW	Floor	Ceiling
Acetic Acid	2.2	15.0	10	12	74	21	36	518	20
Phenol + Hexanoic Acid	9.8	2.9	0	1	3	2	0	6	16
Benzoic + Octanoic Acids	10.1	16.2	18	1	21	7	5	33	75
Nonanoic Acid	5.5	8.6	5	3	5	9	2	8	125
Formaldehyde	55.4	31.3	2	5	4	7	1	12	26
Propanal	3.6	1.3	0	5	0	6	0	0	25
Furfural	2.8	1.1	0	2	1	6	1	6	24
Octanal	2.7	1.9	1	1	7	8	0	10	43
Nonanal	5.0	3.3	1	2	3	7	1	19	33
Acetophenone	0.8	1.7	20	10	34	8	8	103	37
2-Ethyl-1-hexanol	5.1	5.8	2	2	3	7	1	8	91
1-Butanol	2.1	2.0	7	2	34	4	11	24	14
TVOC	101.7	136.4	7	3	10	9	4	39	62

Biosourcé: bois +
laine de bois

Traditionnel
(plâtre + PU)

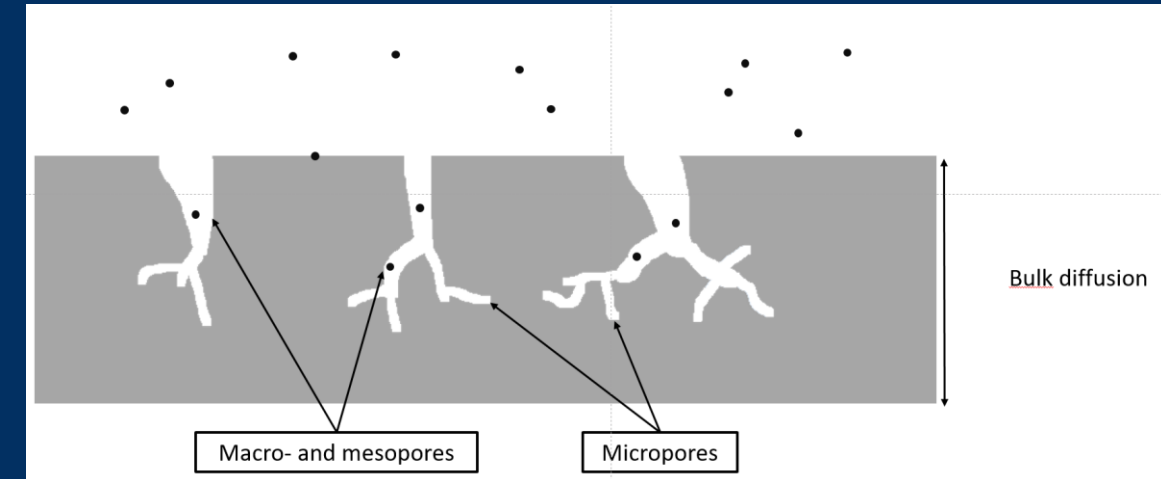
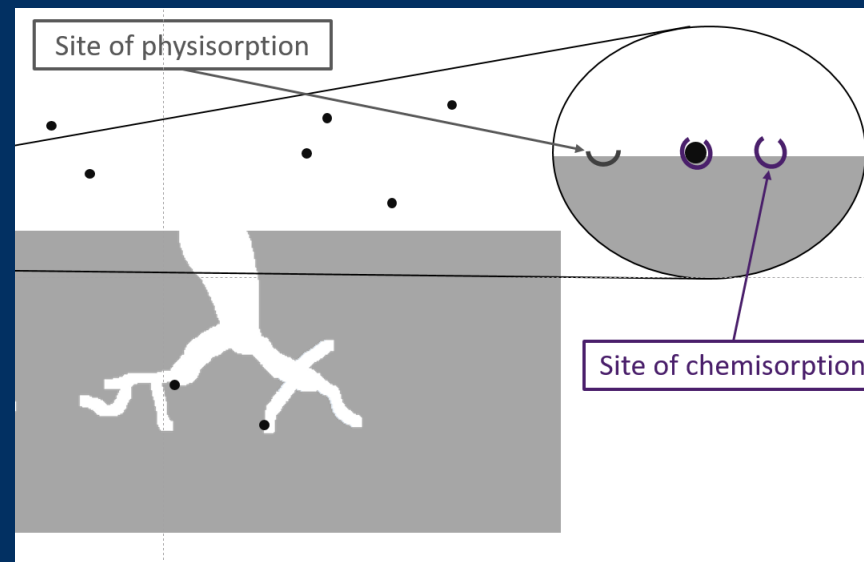
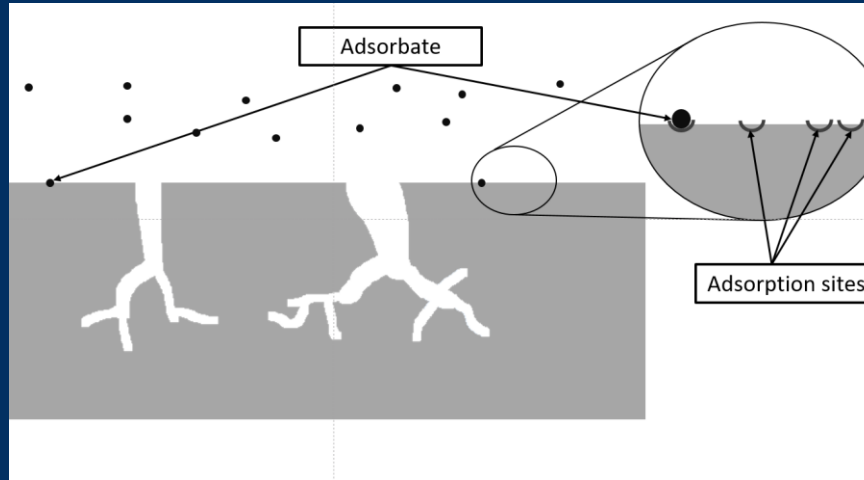
déterminants

Sources, puits et réacteurs : les surfaces

→ Voir diapos précédentes



Interactions avec les surfaces
Surfaces du bâti et du mobilier
Occupants
Matière particulaire



déterminants

Sources, puits et réacteurs : les surfaces

Déterminer l'adsorption sur une surface expérimentalement:

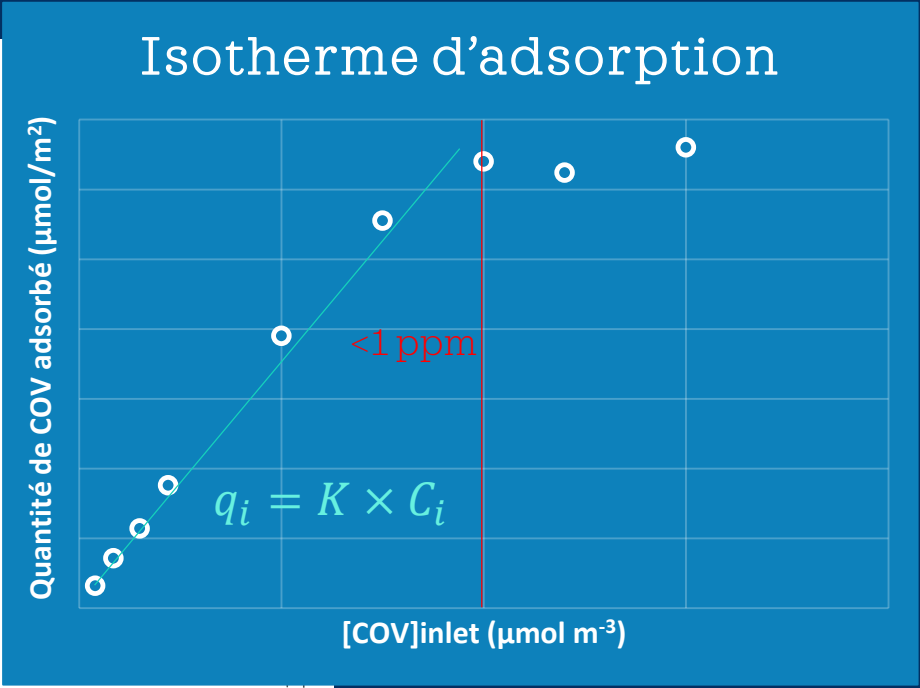
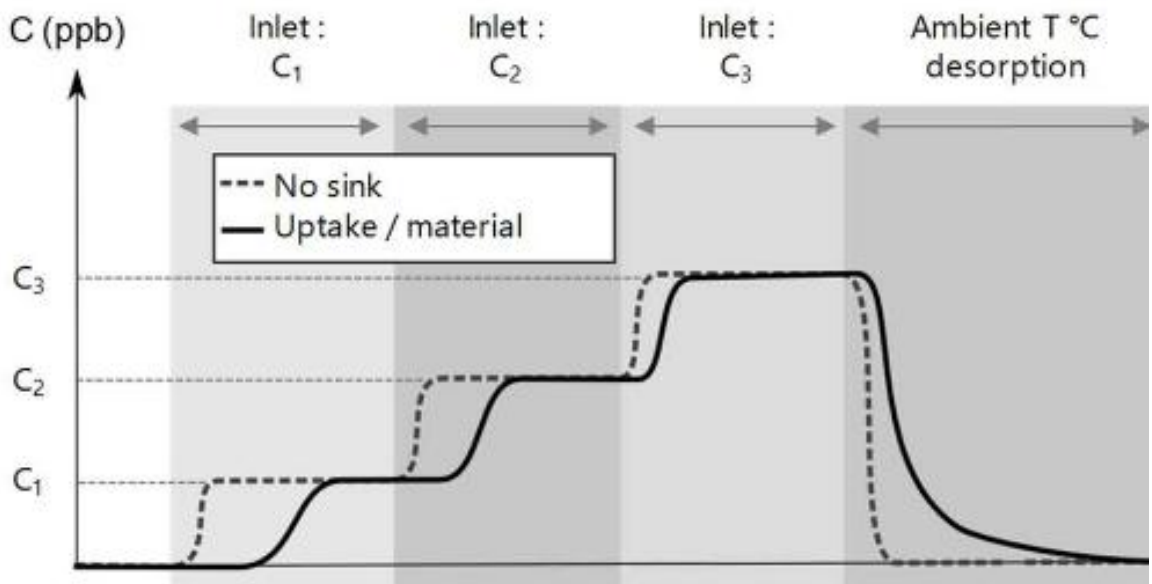


Interactions avec les surfaces

Surfaces du bâti et du mobilier

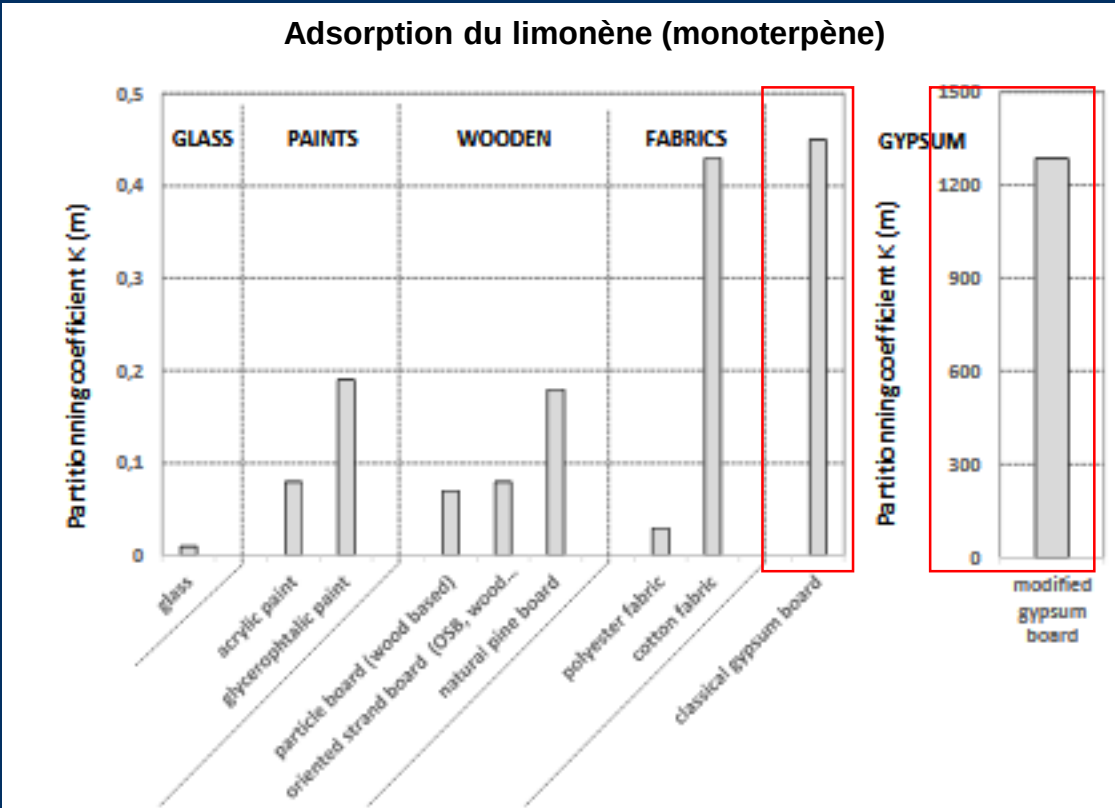
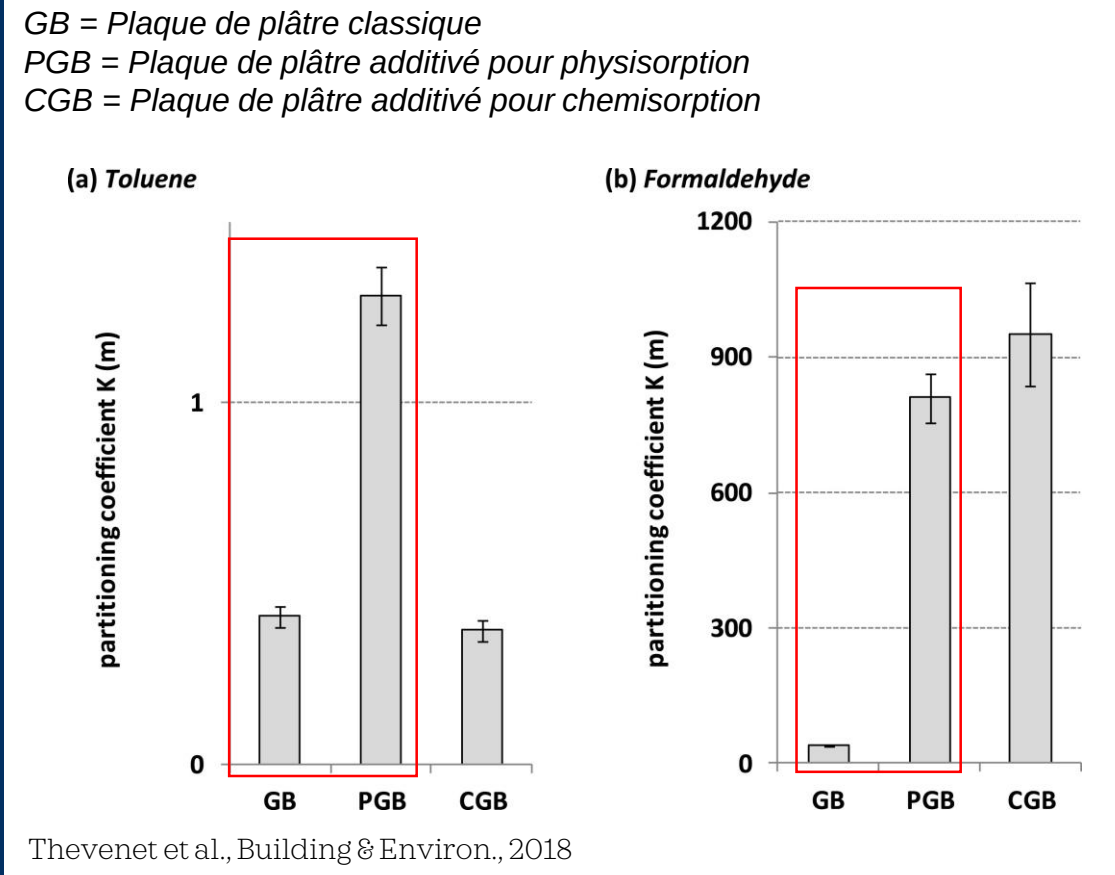
Occupants

Matière particulaire



Thevenet et al., 2021

Déterminer l'adsorption sur une surface expérimentalement: Exemple d'adsorption sur des plaques de plâtre



$K_{GB} \ll K_{PGB}$ pour les 3 COVs étudiés
 $SSA_{(PGB)}$ est 14x plus grand que $SSA_{(GB)}$ → la surface spécifique n'explique pas tout

Sources, puits et réacteurs : les surfaces

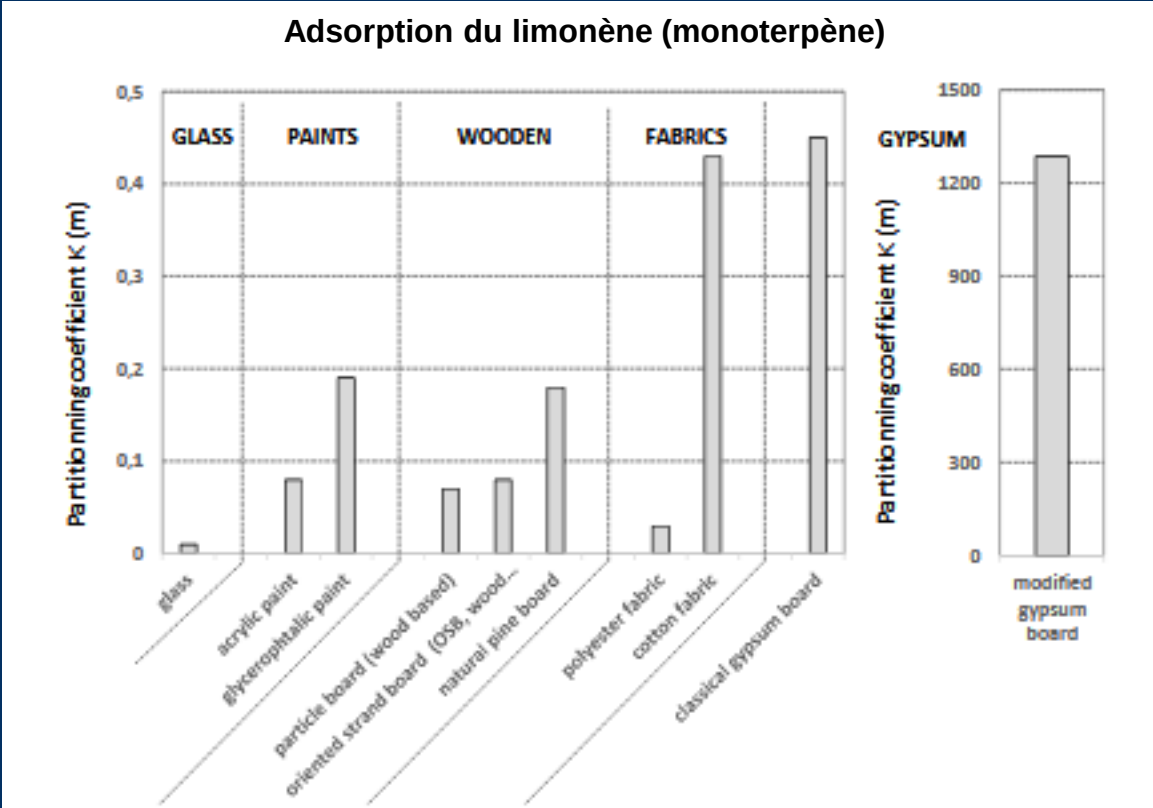
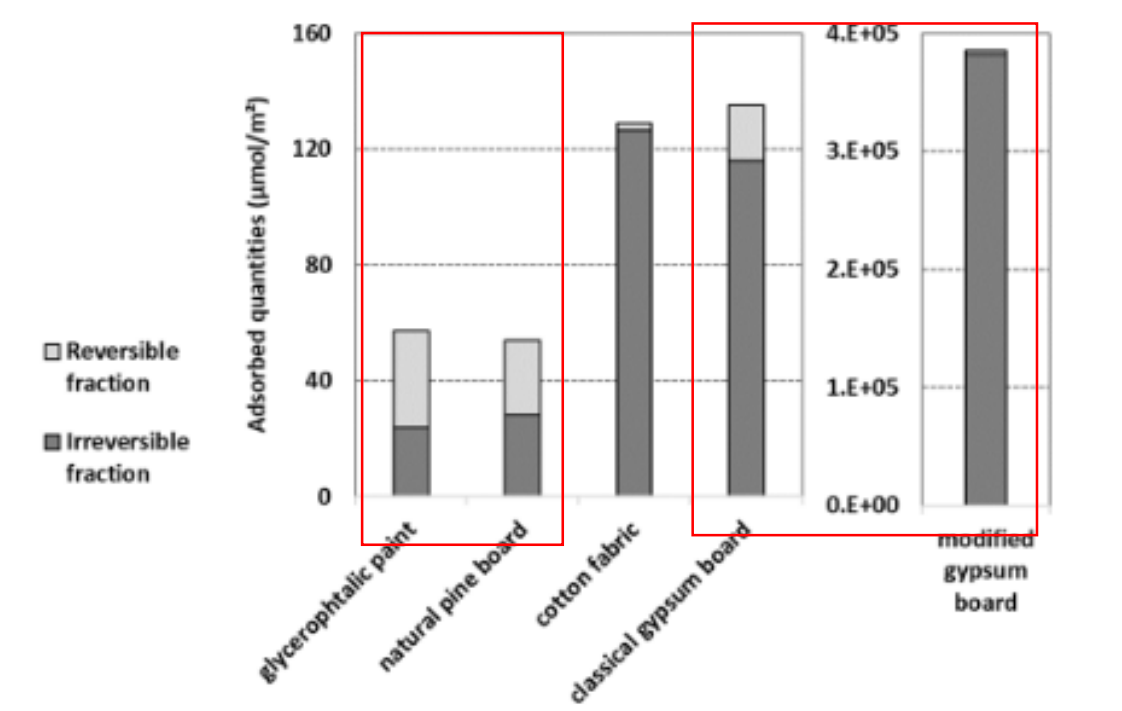


Interactions avec les surfaces

Surfaces du bâti et du mobilier
Occupants
Matière particulaire

Déterminer l'adsorption sur une surface expérimentalement:
Exemple d'adsorption sur des plaques de plâtre

déterminants



Le plâtre PGB : un puits net pour le limonène (fraction adsorbé irréversible : ~98%)
La plaque de pin : comportement ‘tampon’ i.e. un puits temporaire pour (une fraction) du limonène

!! Plaques de plâtre: puits intenses mais FINIS!!

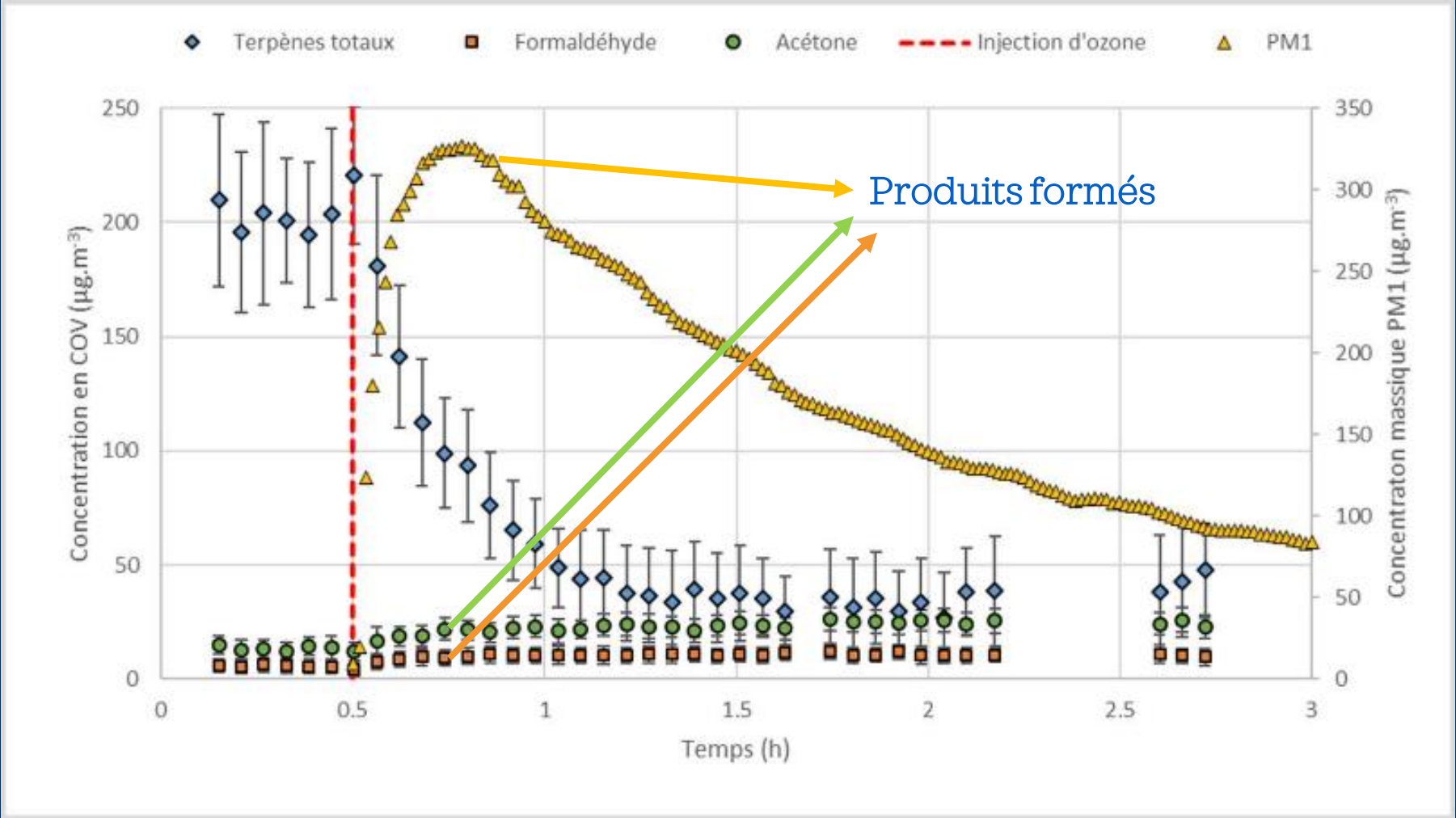
Réaction des produits émis

Exemple de la réactivité des terpènes issues d'une huile essentielle avec l'ozone (O₃)



Réactivité homogène et hétérogène

déterminants





Normalisation

NF ISO 16000 – Air Intérieur

40 parties!

- Partie 1 : Aspects généraux de la stratégie d'échantillonnage
- Partie 2 - 4 : Échantillonnage - mesure formaldéhyde
- Partie 5 - 6 : Échantillonnage - mesure COV
- Partie 7 : Amiante
- Partie 8 : Age de l'air
- Partie 9 - 11 : Méthodes de mesures et dosage des 'émissions des COV de produits de construction et d'objets d'équipement + préparation des matériaux
- Partie 12 - 14: Échantillonnage et dosage des PCB, PCDD, HAP
- Partie 15 : Échantillonnage e et dosage NO₂
- Partie 16 -21 & 36: Microbio
- Partie 23-24: Performances matériaux sorptifs
- Partie 25: Méthode de la µchambre (SCOV)
- Partie 26 : Échantillonnage CO₂
- Partie 27: Poussière fibreuse
- Partie 28 : Détermination des émissions d'odeurs des produits de construction au moyen de chambres d'essai
- Partie 29: détecteurs de COV
- Partie 30 : Essai sensoriel de l'air intérieur
- Partie 31 - 35: Mesurage ignifigeants, phtalates, autres SCOV
- Partie 36 : Purification d'air (microbien)
- Partie 37 : Mesurages de PM2.5
- Partie 38-39 : Échantillonnage et mesures d'amines
- Partie 40: Système de management de la qualité de l'air intérieur



Normalisation

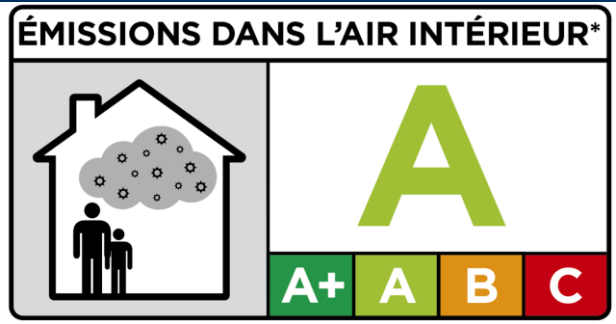
NF ISO 16000 – Air Intérieur

40 parties!

- Partie 1 : Aspects généraux de la stratégie d'échantillonnage
- Partie 2 - 4 : Échantillonnage - mesure formaldéhyde
- Partie 5 - 6 : Échantillonnage - mesure COV
- Partie 7 : Amiante

Partie 9 – 11 : Méthodes de mesures et dosage des 'émissions des COV de produits de construction et d'objets d'équipement + préparation des matériaux

- Partie 12 : Échantillonnage et dosage CO₂
- Partie 16 -21 & 36: Microbio
- Partie 23-24: Performances matériaux sorptifs
- Partie 25: Méthode de la µchambre (SCOV)
- Partie 26 : Échantillonnage CO₂
- Partie 27: Poussière fibreuse
- Partie 28 : Détermination des émissions d'odeurs des produits de construction au moyen de chambres d'essai
- Partie 29: détecteurs de COV
- Partie 30 : Essai sensoriel de l'air intérieur
- Partie 31 - 35: Mesurage ignifugeants, phtalates, autres SCOV
- Partie 36 : Purification d'air (microbien)
- Partie 37 : Mesurages de PM2.5
- Partie 38-39 : Échantillonnage et mesures d'amines
- Partie 40: Système de management de la qualité de l'air intérieur



A. — Méthode de caractérisation des émissions dans l'air intérieur

PARAMÈTRE	MÉTHODE	DATE de publication
Echantillonnage et préparation des éprouvettes d'essai	NF EN ISO 16000-11	2006
Méthode de la chambre d'essai d'émission	NF EN ISO 16000-9	2006
Méthode de la cellule d'essai d'émission	NF EN ISO 16000-10	2006

Conditionnement des éprouvettes d'essai en chambre d'essai d'émission

Les conditions opératoires en chambre d'essai d'émission doivent être les suivantes :

- Un spécimen de test par chambre de test
- Température de 23°C +/- 1°C
- Humidité relative de l'air en entrée de chambre 50%RH +/- 5%RH
- Débit de ventilation spécifique surfacique déterminé selon le facteur de charge
- Facteur de charge :
 - 1 m²/m³ pour le scénario « murs »
 - 0,4 m²/m³ pour le scénario « sol » ou « plafond »
 - 0,007 m²/m³ pour le scénario « très petites surfaces »

Ou facteur de charge respectant au moins 50% de la valeur du facteur de charge prévue dans la pièce de référence, avec un maximum de 2 m²/m³

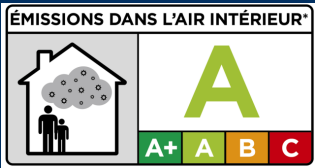
- Taux de renouvellement d'air compris entre 0,25 et 1,5 h⁻¹

	Facteur de charge dans la pièce de référence, m²/m³	Facteur de charge minimal en chambre d'essai, m²/m³	Facteur de charge maximal en chambre d'essai, m²/m³
Scénario "mur"	1,0	0,5	2,0
Scénario "sol ou plafond"	0,4	0,2	2,0
Scénario "très petites surfaces"	0,007	0,0035	2,0

Mesures réalisées après 28 jours en chambre ou en cellule d'essai d'émission, ou avant ce délai si les émissions respectent les exigences de la classe des émissions les plus faibles (A+)

Réglementation et normes

Mise en œuvre de l'étiquetage des produits de construction & de décoration



Les classes d'émission sont déterminées à partir des concentrations d'exposition calculées pour une pièce de référence

Pièce de référence :

$$V = 30 \text{ m}^3$$

$$TRA = 0,5 \text{ h}^{-1}$$

$$C = \frac{Q \times S}{TRA \times V}$$

C : concentration d'exposition en $\mu\text{g.m}^{-3}$

Q : taux d'émission en $\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$

TRA : taux de renouvellement de l'air en h^{-1}

S : surface exposée en m^2

V : volume en m^3

Seuils limites des concentrations d'exposition (en $\mu\text{g.m}^{-3}$)

CLASSES	C	B	A	A+
Formaldéhyde		< 120	< 60	< 10
Acétaldéhyde		< 400	< 300	< 200
Toluène		< 600	< 450	< 300
Tétrachloroéthylène		< 500	< 350	< 250
Xylène		< 400	< 300	< 200
1,2,4-Triméthylbenzène		< 2000	< 1500	< 1000
1,4-Dichlorobenzène		< 120	< 90	< 60
Ethylbenzène		< 1500	< 1000	< 750
2-Butoxyéthanol		< 2000	< 1500	< 1000
Styrène		< 500	< 350	< 250
COVT		< 2000	< 1500	< 1000

Sources de polluants: les surfaces

Sources de polluants

Bâti et matériaux de construction
Ameublement et décoration
Activités des occupants



The estimated indoor air concentrations ($\mu\text{g m}^{-3}$) and the respective contribution (%) of VOC emissions from the 7 building structures to VOC indoor air levels:

Braish et al., Building & Environ., 2023

VOC	Summer					
	C_{in} ($\mu\text{g m}^{-3}$)	$\sum_{i=1}^{n=7} C_{e,i}$ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	CLASSES	B	A	A+
			Formaldéhyde	< 120	< 60	< 10
Acetic Acid	2.2	15.0	Acétaldéhyde	< 400	< 300	< 200
Phenol + Hexanoic Acid	9.8	2.9	Toluène	< 600	< 450	< 300
Benzoic + Octanoic Acids	10.1	16.2	Tétrachloroéthylène	< 500	< 350	< 250
Nonanoic Acid	5.5	8.6	Xylène	< 400	< 300	< 200
Formaldehyde	55.4	31.3	1,2,4-Triméthylbenzène	< 2000	< 1500	< 1000
Propanal	3.6	1.3	1,4-Dichlorobenzène	< 120	< 90	< 60
Furfural	2.8	1.1	Ethylbenzène	< 1500	< 1000	< 750
Octanal	2.7	1.9	2-Butoxyéthanol	< 2000	< 1500	< 1000
Nonanal	5.0	3.3	Styrène	< 500	< 350	< 250
Acetophenone	0.8	1.7	COVT	< 2000	< 1500	< 1000
2-Ethyl-1-hexanol	5.1	5.8				
1-Butanol	2.1	2.0				
TVOC	101.7	136.4				

47

Réglementation et normes

Mesures normatifs

	Type de prélèvement	COV
Chambre d'essai d'émission (ISO 16000-9)	Actif	COV oxygénés, hydrocarbures
Cellule FLEC (ISO 16000-10)	Actif	



norme européenne

norme française

NF EN ISO 16000-10

Août 2006

Indice de classement : X 43-404-10

ICS : 13.040.20

Air intérieur

Partie 10 : Dosage de l'émission de composés organiques volatils de produits de construction et d'objets d'équipement — Méthode de la cellule d'essai d'émission

E : Indoor air — Part 10: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing — Emission test cell method

D : Innenraumluftverunreinigungen — Teil 10: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen — Emissionsprüfzellen-Verfahren

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 juillet 2006 pour prendre effet le 5 août 2006.

Remplace la norme expérimentale XP ENV 13419-2, de mars 2000.

norme européenne

norme française

NF EN ISO 16000-9

Août 2006

Indice de classement : X 43-404-9

ICS : 13.040.20

Air intérieur

Partie 9 : Dosage de l'émission de composés organiques volatils de produits de construction et d'objets d'équipement — Méthode de la chambre d'essai d'émission

E : Indoor air — Part 9: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing — Emission test chamber method

D : Innenraumluftverunreinigungen — Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen — Emissionsprüfkammer-Verfahren

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 juillet 2006 pour prendre effet le 5 août 2006.

Remplace la norme expérimentale XP ENV 13419-1, de mars 2000.

Réglementation et normes

La réglementation en France – Le plan d'action du Ministère de la Transition Ecologique (PNSE 3, PNSE4)

- la création d'une application grand public ;
- la mise en œuvre de la surveillance de la qualité de l'air dans les ERP
- la mise en œuvre d'une surveillance dans des lieux ayant des pollutions spécifiques, tels que les enceintes ferroviaires souterraines ;
- la réduction de l'exposition aux principales sources de pollution de l'air intérieur (produits désodorisants : encens, bougies, diffuseurs, produits d'entretien et meubles...), en travaillant en particulier sur l'information et l'étiquetage de ces produits ;
- l'interdiction progressive de l'utilisation du perchloréthylène dans les pressings ;
- la publication de valeurs guides pour l'air intérieur ;
- le soutien au développement du métier de conseiller en environnement intérieur.



Mise en œuvre de la surveillance dans les établissements recevant du public (ERP)

Le nouveau dispositif réglementaire 2018-2023



La surveillance de **la qualité de l'air intérieur** dans les lieux accueillant des enfants

Le rôle des collectivités locales et des gestionnaires de structures privées



Réalisation d'une évaluation des moyens d'aération et de ventilation

FICHE 1.

Mise en œuvre d'un programme d'actions de prévention

FICHE 2.

Campagne de mesures de la qualité de l'air intérieur

FICHE 3.

Quelles sont les valeurs de référence pour l'interprétation des résultats ?

Substances	Valeur-guide pour l'air intérieur		Valeur-limite
Formaldéhyde	30 µg/m³ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2015	10 µg/m³ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2023	100 µg/m³
Benzène	5 µg/m³ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2013	2 µg/m³ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2016	10 µg/m³
Dioxyde de carbone			Indice de confinement de niveau 5*
Tétrachloroéthylène			1250 µg/m³

Un indice de confinement de 5 correspond à des pics de concentration en CO2 élevés supérieurs à 4 000 ppm (partie par million) et à des valeurs moyennes pendant l'occupation supérieures à 2 000 ppm.



Respirez un bon coup! C'est la **FIN**

Rapport Emibio, ADEME, 2022

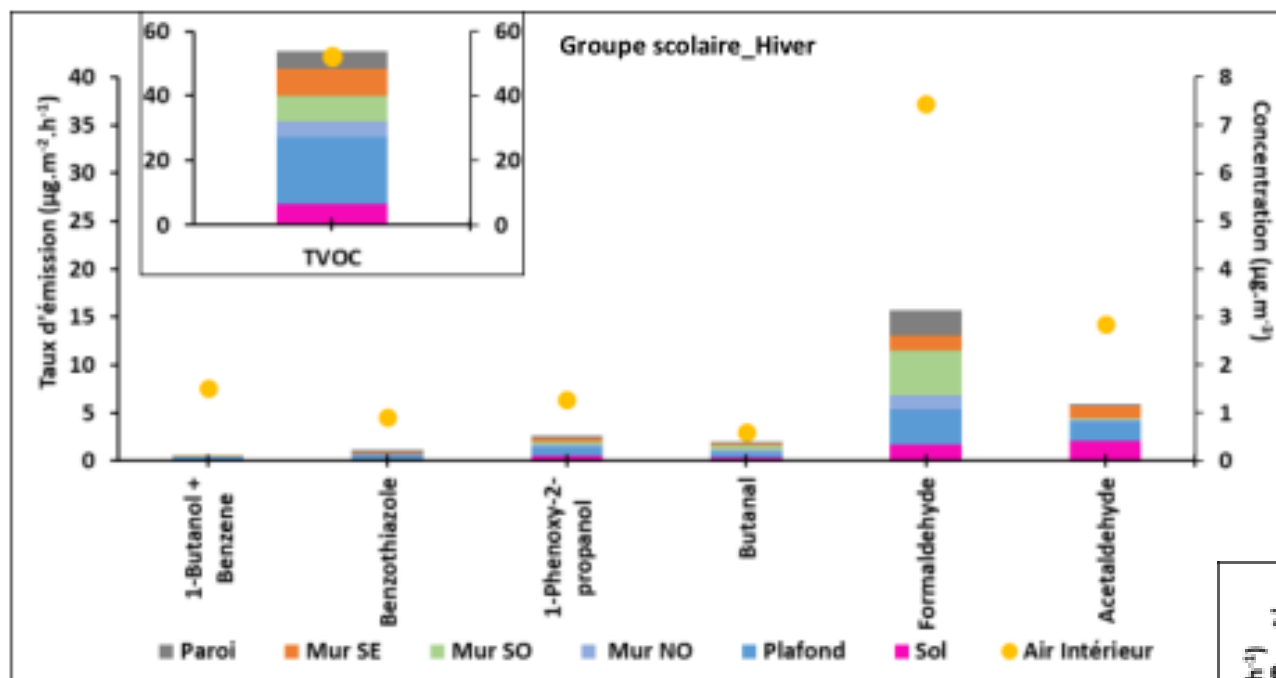


Figure 63: Mise en regard des émissions des différentes surfaces (axe des ordonnées gauche) et des concentration en air intérieur (axe des ordonnées droit) sur le site du groupe scolaire lors de la campagne hivernale. Source : IMT Europe

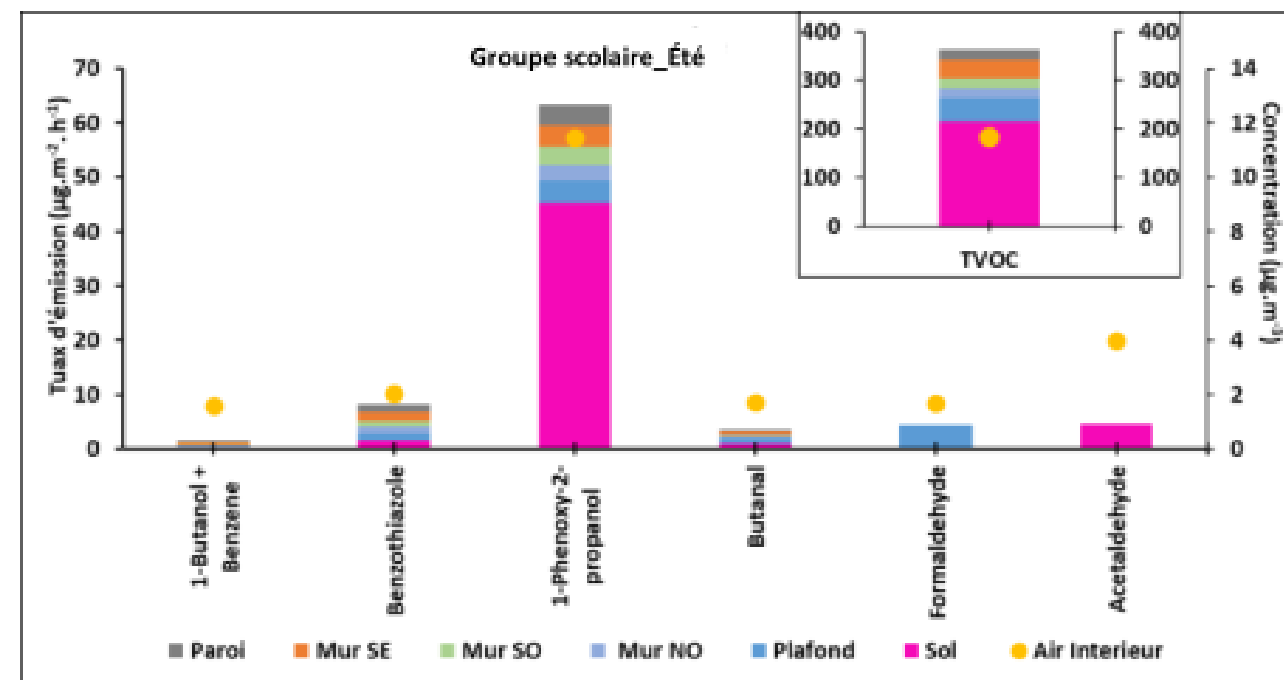


Figure 64: Mise en regard des émissions des différentes surfaces (axe des ordonnées gauche) et des concentrations mesurées en air intérieur (axe des ordonnées droit) sur le site du groupe scolaire lors de la campagne estivale. Source : IMT Nord-Europe