



# Qualité de l'Air Intérieur : de quoi parle-t-on ?

**Valérie PERNELET-JOLY**

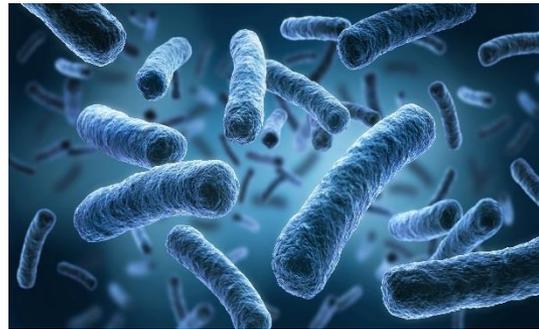
*Mardi 3 décembre 2019*

# Des théories hygiénistes du XIXème siècle à la qualité de l'air intérieur

**Pettenkofer**  
1818 - 1901



**Philadelphie, 1976**



**USA, 1980s**



**1990s : killer  
carpets**



**1992 : ISIAQ**



INTERNATIONAL SOCIETY OF  
INDOOR AIR QUALITY  
AND CLIMATE

**2001 : OQAI**



Observatoire de la qualité de  
l'air intérieur

# 2001 : Création de l'OQAI en France



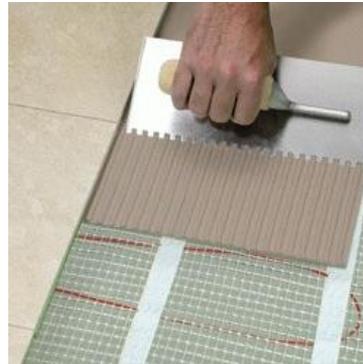
Créé officiellement le 10 juillet 2001 par une convention sous tutelles des ministères en charge du Logement, de la Santé et de l'Environnement et en lien avec l'Ademe, le CSTB, l'ANAH puis l'Afsset devenue Anses.

## ↪ Reconnu comme action phare du premier PNSE (PNSE1)

**Connaître les environnements intérieurs, caractériser les polluants présents, gérer et valoriser les données disponibles sur la QAI, aider à la gestion et à la prévention, informer.**

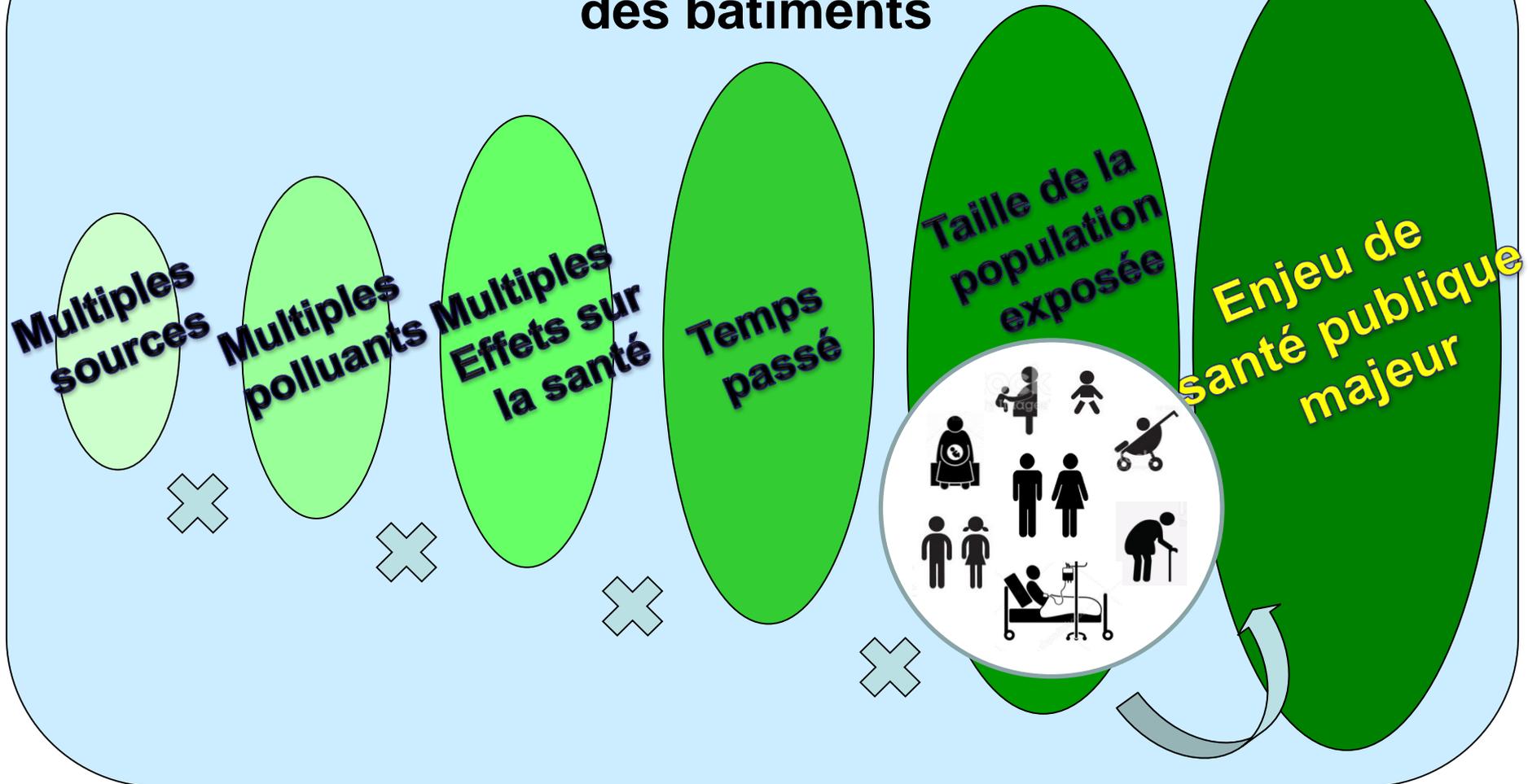
- Orientation stratégique des travaux et déontologie des actions engagées garanties par un Conseil de Surveillance ;
- Validation du programme d'actions, des protocoles et des résultats des études par un Conseil Scientifique ;
- Partage d'informations avec le grand public et les acteurs du bâtiment et de la santé au sein d'un comité consultatif ;
- Une mise en œuvre opérationnelle assurée par le CSTB ;
- Une organisation fondée sur un réseau de partenaires scientifiques et opérationnels.

# Le décor de chacun

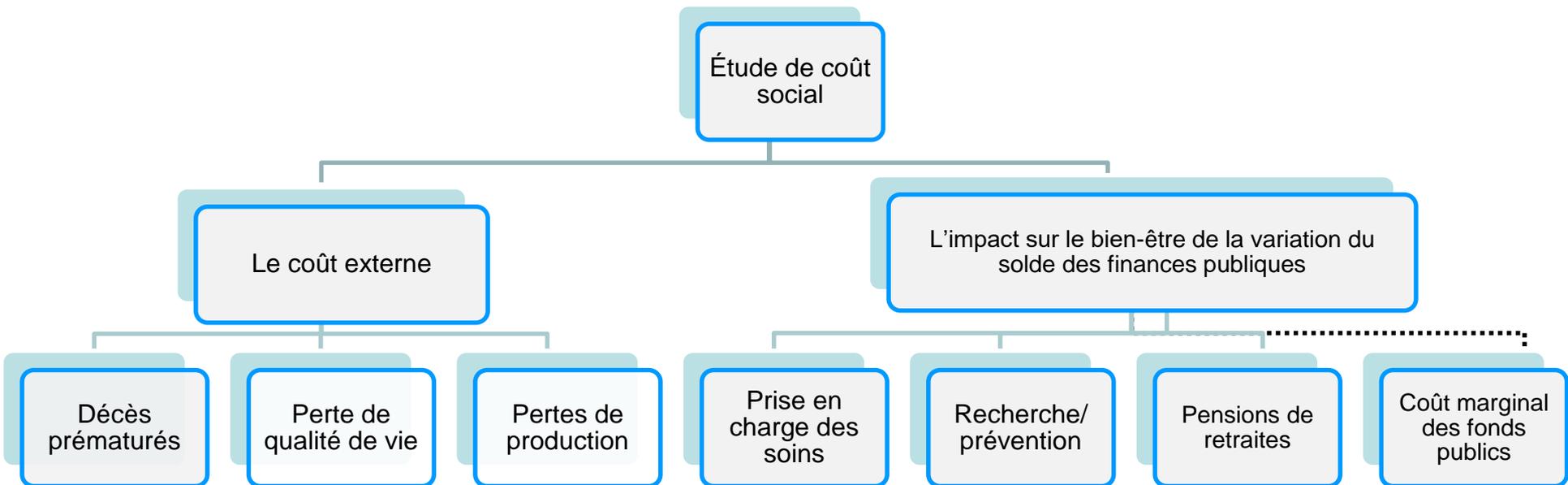


# L'affaire de tous

## Enjeu d'efficacité énergétique des bâtiments



# Coût socio-économique de la pollution de l'air intérieur



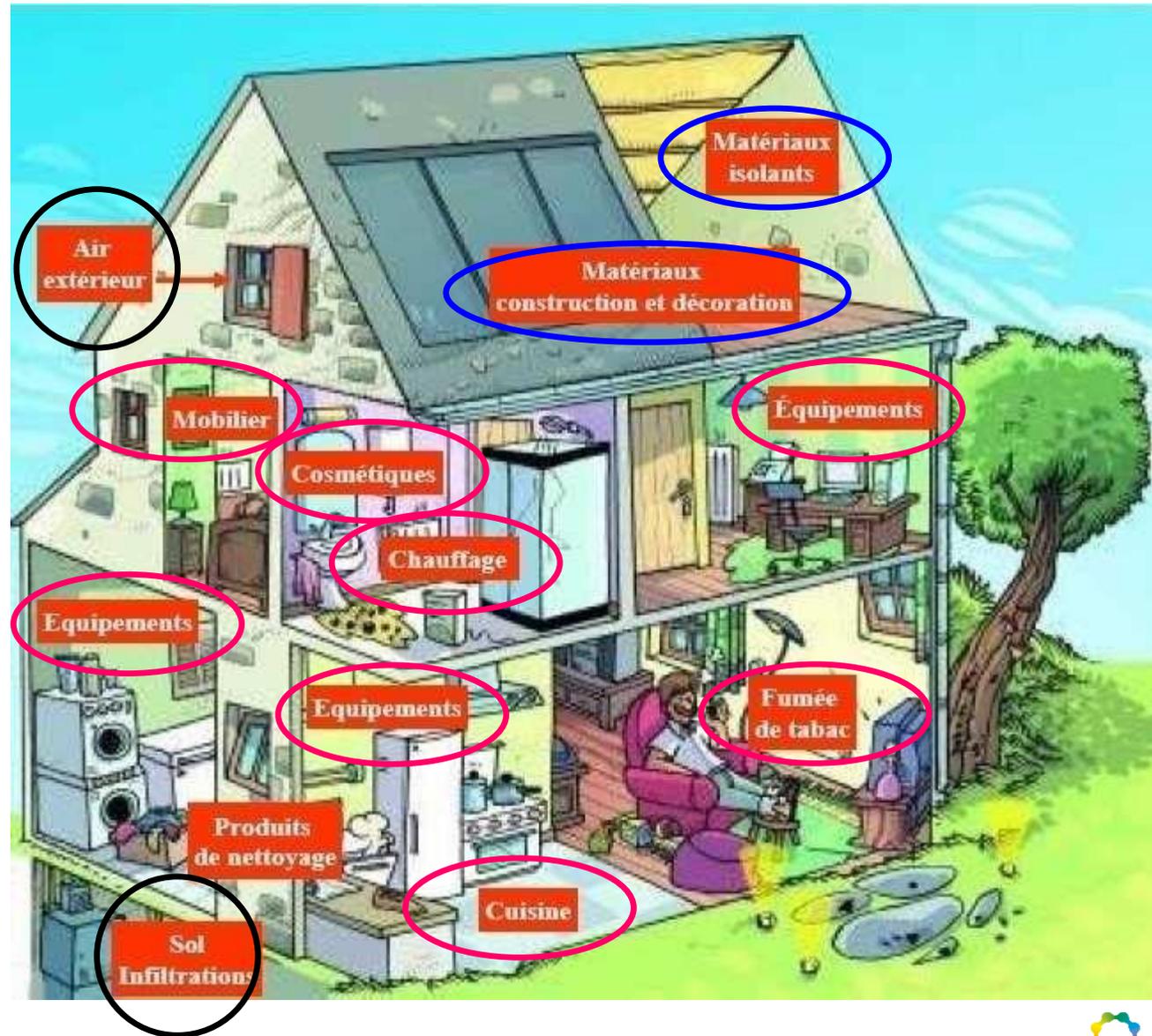
benzène, trichloroéthylène, particules, fumée de tabac environnementale, radon, monoxyde de carbone

**Coût social de la qualité de l'air intérieur estimé  
à 19 milliards € / an (1 % du PIB)  
(ANSES, OQAI, 2014)**

## Usine à gaz ??

Des sources liées :

- A l'environnement
- A l'enveloppe
- Aux occupants



## Des substances chimiques, des agents physiques :

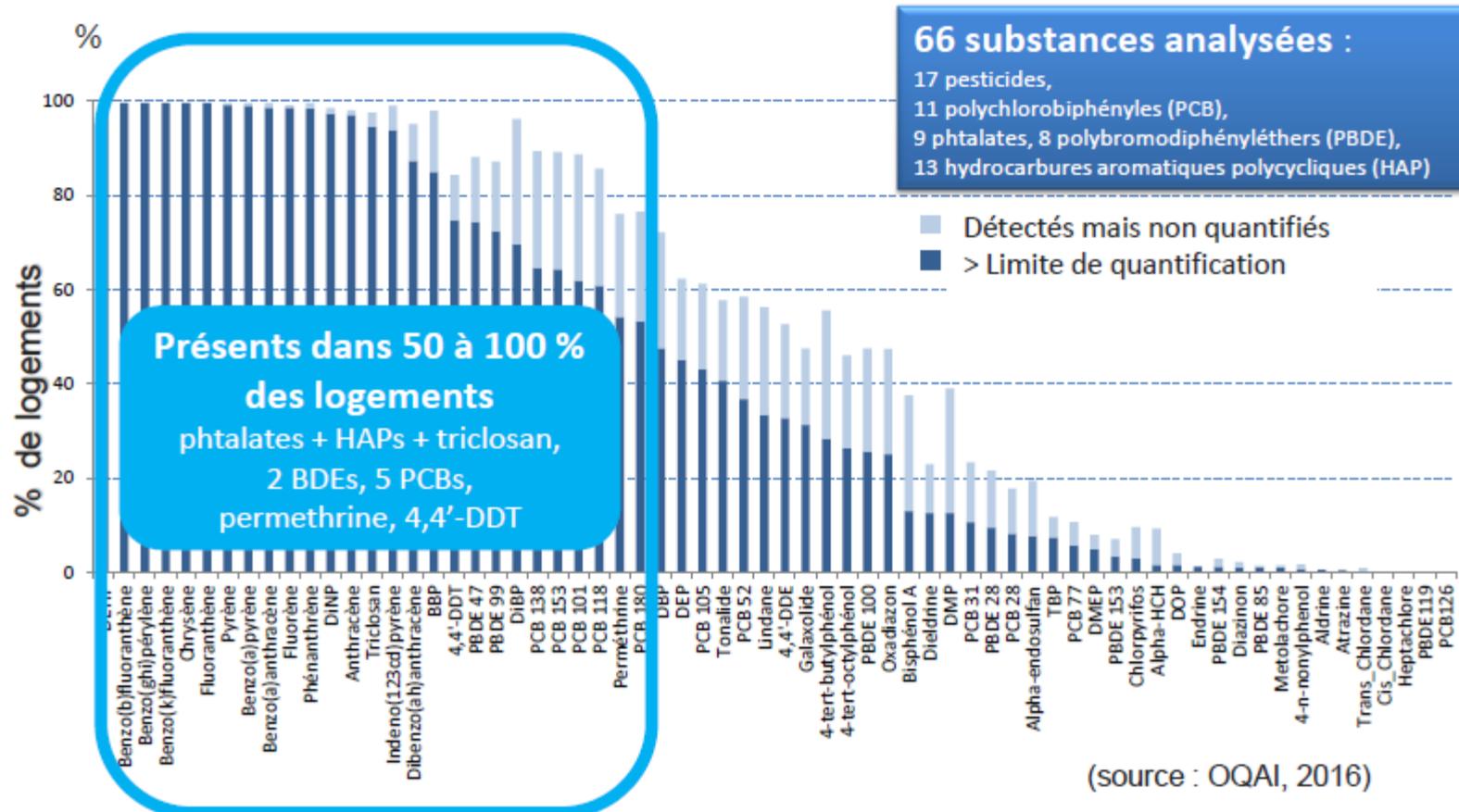
- composés organiques volatils (COV) :

<i>Hydrocarbures aromatiques :</i>	benzène, toluène, m/p-xylènes, o-xylène, 1,2,4-triméthylbenzène, éthylbenzène, styrène,
<i>Hydrocarbures aliphatiques :</i>	n-décane, n-undécane
<i>Hydrocarbures halogénés :</i>	trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, 1,4-dichlorobenzène
<i>Ethers de glycol :</i>	2PG1ME (1-méthoxy-2-propanol) et son acétate, EGBE (2-butoxyéthanol) et son acétate
<i>Aldéhydes :</i>	formaldéhyde, acétaldéhyde, hexaldéhyde, acroléine

- monoxyde de carbone (CO) : dans l'environnement et dans l'air alvéolaire (occupant  $\geq 6$  ans)
- radon et rayonnement gamma
- particules inertes : PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>
- dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)
- température et humidité relative
- débits d'air extrait : dans les logements équipés de conduits spécifiques de ventilation
- **Des métaux (plomb,...)**

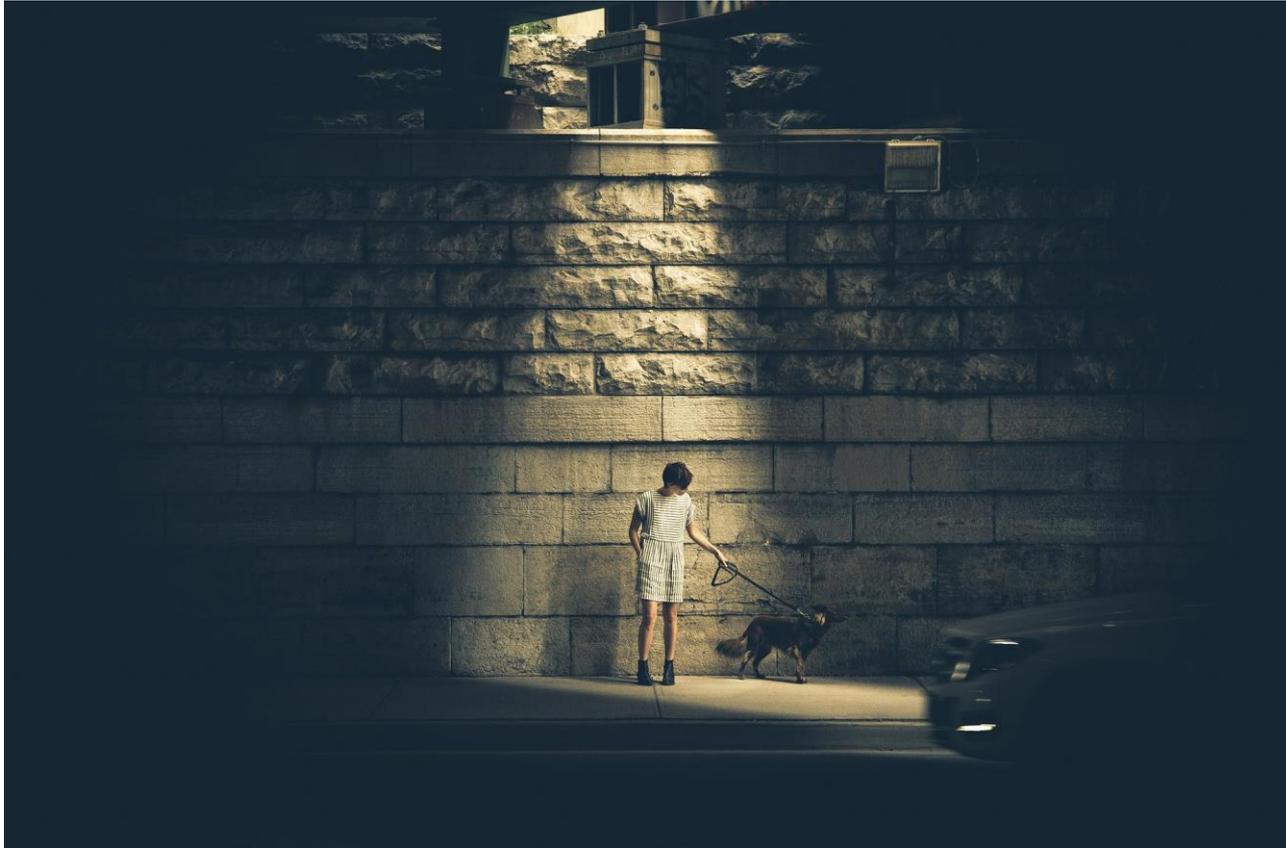
# Nature et sources des polluants de l'air intérieur

COsV dans l'air (PM<sub>10</sub>) de N=24 672 136 logements (2011-2014)



/ 10

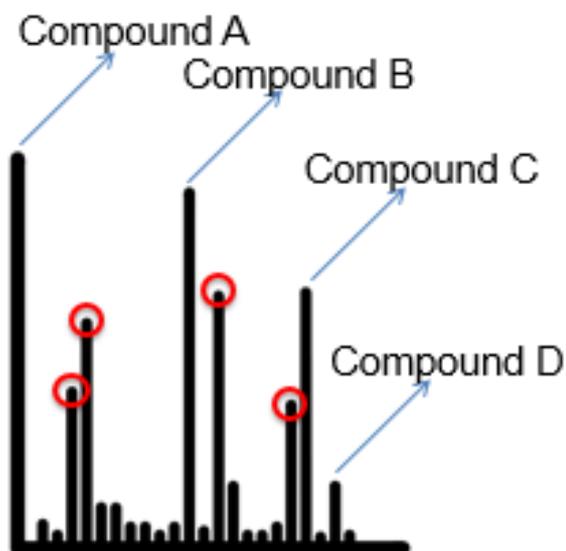
# Nature et sources des polluants de l'air intérieur



# Nature et sources des polluants de l'air intérieur

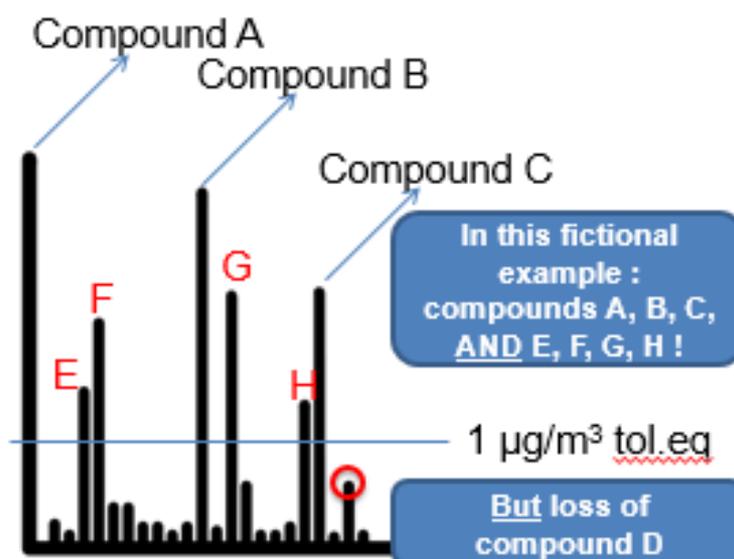
### ➤ Let's imagine a fictional example based on the classic approach

- Target list of 4 compounds: A, B, C & D



### ➤ AND compare it with the approach of this study

- To illustrate the interest of alternative methods



○ Compound(s) missed by one approach but not the other

# Results of automatic screening – semi-quantitative data

- **13 substances quantified in more than 50% of the 40 investigated dwellings and with the highest concentrations: mean > 3 µg/m<sup>3</sup> tol.eq.**

CAS number	Chemical name	Occurrence data				Concentration data (µg/m <sup>3</sup> )		
		N <sub>&gt;LOD</sub>	F <sub>&gt;LOD</sub>	N <sub>&gt;LOQ</sub>	F <sub>&gt;LOQ</sub>	Mean	Min	Max
541-05-9	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	38	95%	38	95%	3.8	0.7	22.8
71-36-3	1-Butanol	38	95%	35	88%	8.0	0.3	43.9
79-92-5	Camphene	34	85%	34	85%	4.2	0.5	40.6
64-19-7	Acetic acid	33	83%	33	83%	3.8	0.6	14.4
141-78-6	Ethyl Acetate	33	83%	33	83%	6.4	0.6	55.6
565-80-0	3-Pentanone, 2,4-dimethyl-	33	83%	33	83%	3.4	0.4	12.1
1195-32-0	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-	28	70%	28	70%	3.4	0.3	21.8
470-82-6	Eucalyptol	27	68%	27	68%	5.0	0.3	87.0
57-55-6	Propylene Glycol	32	80%	26	65%	9.3	0.5	58.7
527-84-4	o-Cymene	24	60 %	23	58 %	5.7	0.8	46.1
535-77-3	m-Cymene	24	60 %	23	58 %	6.5	0.7	38.7
5131-66-8	2-Propanol, 1-butoxy-	22	55 %	22	55 %	5.5	0.4	37.7
556-67-2	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	22	55 %	22	55 %	3.4	0.4	21.2

N<sub>>LOD</sub>: number of dwellings with concentrations above LOD; F<sub>>LOD</sub>: frequency of dwellings with concentrations above LOD; N<sub>>LOQ</sub>: number of dwellings with concentrations above LOQ; F<sub>>LOQ</sub>: frequency of dwellings with concentrations above LOQ.

- **That belong to various chemical classes found**

Acetate esters

Acids

Alcohols

Ketones

Monoterpenes

Organosilicon compounds

## Des agents biologiques :



**Moisissures**



**Allergènes (acariens, allergènes de chien, chat...)**



**Virus et bactéries**

# Vie des occupants / vie des bâtiments



Conception

Construction

Réception

Usage /exploitation

Fin de vie



Sources : Vanessa DC photographe, Edward Hopper

/ 35

CSTB (S. Kirchner)

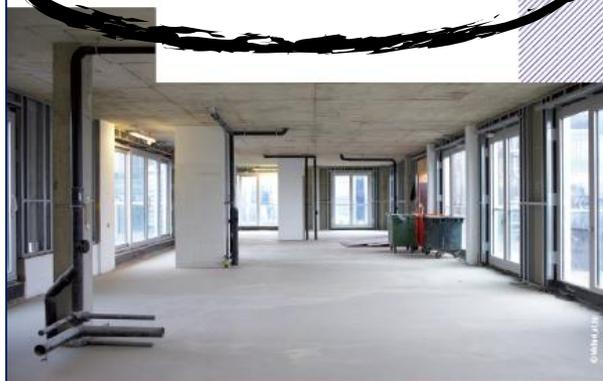


Prévenir les désordres,  
améliorer la qualité  
de la construction

PÔLE  
PRÉVENTION  
CONSTRUCTION  
Professionnels



## PENSER QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR LORS DE LA PHASE CHANTIER



## RÉDUIRE LES RISQUES DE DÉVELOPPEMENT FONGIQUE

En plus d'affecter la durabilité de l'ouvrage, l'exposition aux moisissures peut avoir des effets avérés sur la santé respiratoire, notamment pour les populations sensibles (enfants, personnes âgées, "malades"...).

Une augmentation du développement fongique, en lien avec un confinement de l'air et un excès d'humidité, a été observée dans des bâtiments performants dès la phase chantier.

### 3 conditions favorisent leur prolifération :



présence de nutriments (cellulose, bois et dérivés, biosourés, carton des plaques de plâtre, kraft des isolants...);



taux d'humidité de l'air élevé pouvant entraîner des condensations de surface ou dans les pores des matériaux (60 - 90%);



températures douces (entre 5 et 25°C).



### 4 gestes pour éviter le développement de moisissures



**Fixer** des délais d'exécution tenant compte du séchage des ouvrages (lière constructive, saison de mise en œuvre) et respecter les dispositions de réception des supports, prévues dans les Règles de l'art.



**Maîtriser** les apports d'eau et d'humidité par la :

- suppression des entrées d'eau accidentelles (absence de couvertines, d'appuis de fenêtre ou de revêtements extérieurs, descentes des eaux pluviales non raccordées...);
- protection des matériaux vis-à-vis des intempéries;
- prise en compte du type de procédé constructif (lière sèche, lière humide).



**Évacuer** l'humidité par aération ou par la mise en place d'un système de ventilation provisoire.



**Soigner** la mise en œuvre des isolants, du plan d'étanchéité à l'air et de l'enveloppe. Les ponts thermiques et les défauts d'étanchéité constituent des points fragiles vis-à-vis de la condensation au sein des parois.

### Quelles actions correctives en cas de prolifération de moisissures ?

- Rechercher la source d'humidité et y remédier.
- Mettre en œuvre des équipements permettant de ventiler et de déshumidifier l'ambiance intérieure.
- Remplacer les matériaux souillés si les surfaces affectées sont importantes. Les spores, organes de reproduction des moisissures, peuvent rester en état de latence et se développer lors de l'apparition de conditions favorables (forte charge d'humidité et présence de nutriments...).

# Campagne Nationale Logement (CNL)

- Entre 2003 et 2005, l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) organise la première campagne nationale de mesure de la qualité de l'air au sein de logements en France.
- C'est le premier état de la qualité de l'air représentatif de la situation de 24 millions de résidences principales en France métropolitaine continentale.

# L'air de nos logements

## Points à souligner :

- Les aldéhydes sont parmi les molécules les plus fréquentes et les plus concentrées dans les logements : observés dans 99 à 100% des logements selon le composé.

L'acétaldéhyde, le formaldéhyde et l'hexaldéhyde sont observés dans tous les logements.

- Les hydrocarbures sont fréquents : détectés dans 83 à 100% des logements selon les composés

➤ 10% des logements français peuvent être qualifiés de « multi-pollués » (3 à 8 des composés recherchés sont mesurés à de fortes concentrations),

➤ 45% des logements sont « peu pollués » (l'ensemble des composés étant présents à des concentrations inférieures aux médianes de l'ensemble des logements).

➤ 50% des logements ont des teneurs en allergènes d'acariens dans la poussière supérieures au seuil de sensibilisation à partir duquel il a été montré un risque pour certaines personnes de produire des anticorps spécifiques de la réaction allergique.

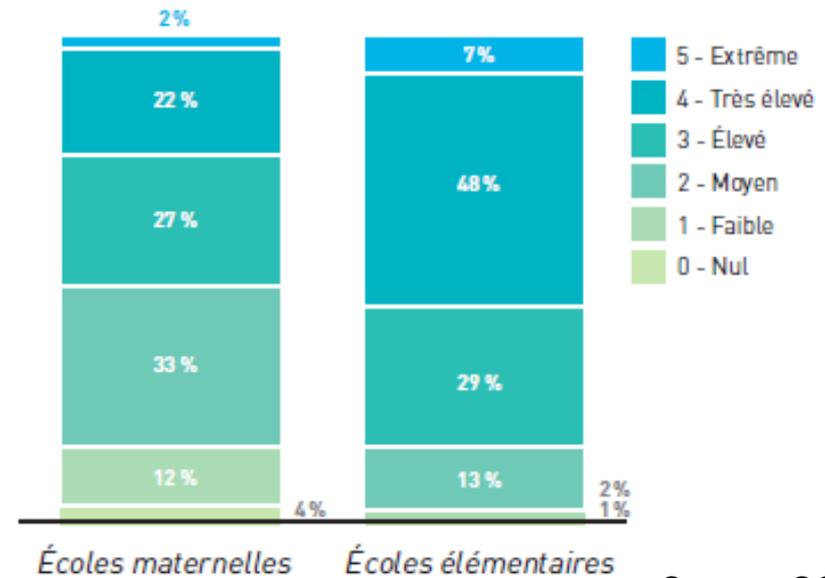
# Qualité de l'air et confort dans les écoles Fr.

★ Certains COSV présents dans l'air de la quasi-totalité des écoles : 3 phtalates (DiBP, DEP, DBP), 2 muscs (tonalide et galaxolide), 1 pesticide (lindane), le PCB 52 et 4 HAP (phénanthrène, fluoranthène, acénaphtène, fluorène). Dans une salle de classe sur deux, au moins 20 COSV sont détectés dans l'air.

★ La présence de **plomb** dans des peintures présentant un état dégradé à des concentrations surfaciques supérieures au seuil réglementaire a été observée dans 10 % des écoles.

★ 41% des écoles ont au moins une classe très confinée.

Figure 13. Confinement de l'air  
Répartition de l'indice ICONE selon le type d'écoles



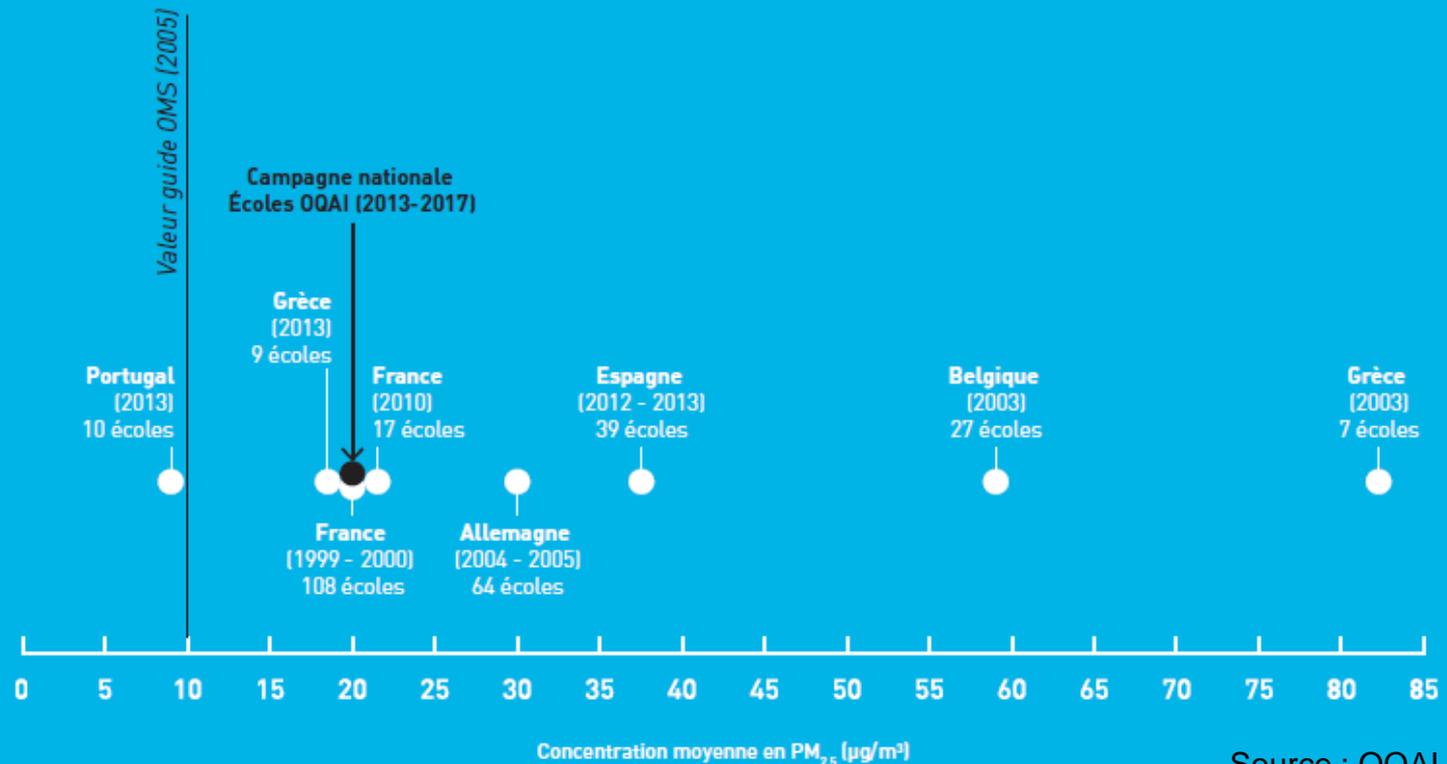
Source : OQAI

# Qualité de l'air et confort dans les écoles Fr.

## ★ Une pollution particulaire omniprésente

Figure 9. Particules fines : comparaison entre études européennes  
Concentrations moyennes en  $PM_{2,5}$  dans les écoles en France et en Europe depuis 2000

La valeur guide de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  proposée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en 2005 pour les  $PM_{2,5}$  et recommandée par l'Anses en 2010 est dépassée dans 93 % des classes.





## Enquête nationale sur les utilisations domestiques de pesticides



Méthodologie et résultats  
généraux sur les  
utilisations domestiques de  
pesticides en métropole

# Pesti'home : caractéristiques des produits ?



**1507**

ménages interviewés  
dans toute la France  
métropolitaine

**5408**

produits stockés inventoriés  
dans les domiciles



## Produits concernés par l'enquête



**Les produits utilisés contre les nuisibles**  
insectes, rongeurs,  
parasites du bois.



**Les produits pour traiter les plantes d'intérieur et d'extérieur**

contre champignons,  
herbes indésirables,  
etc.



**Certains antiparasitaires**  
traitements anti-poux, anti-acariens  
et traitements contre les puces ou  
tiques pour chiens  
et chats, etc.

- Observation des emballages des produits stockés pour les identifier
- Description des usages des produits stockés et utilisés dans les 12 derniers mois (n=1093 foyers)

Catégories de produits	% de ménages ayant utilisé au moins un produit dans l'année
Biocide	74,2
Phytopharmaceutique	48,2
Médicament Vétérinaire <sup>1</sup>	34,5
Médicament Humain	2,3

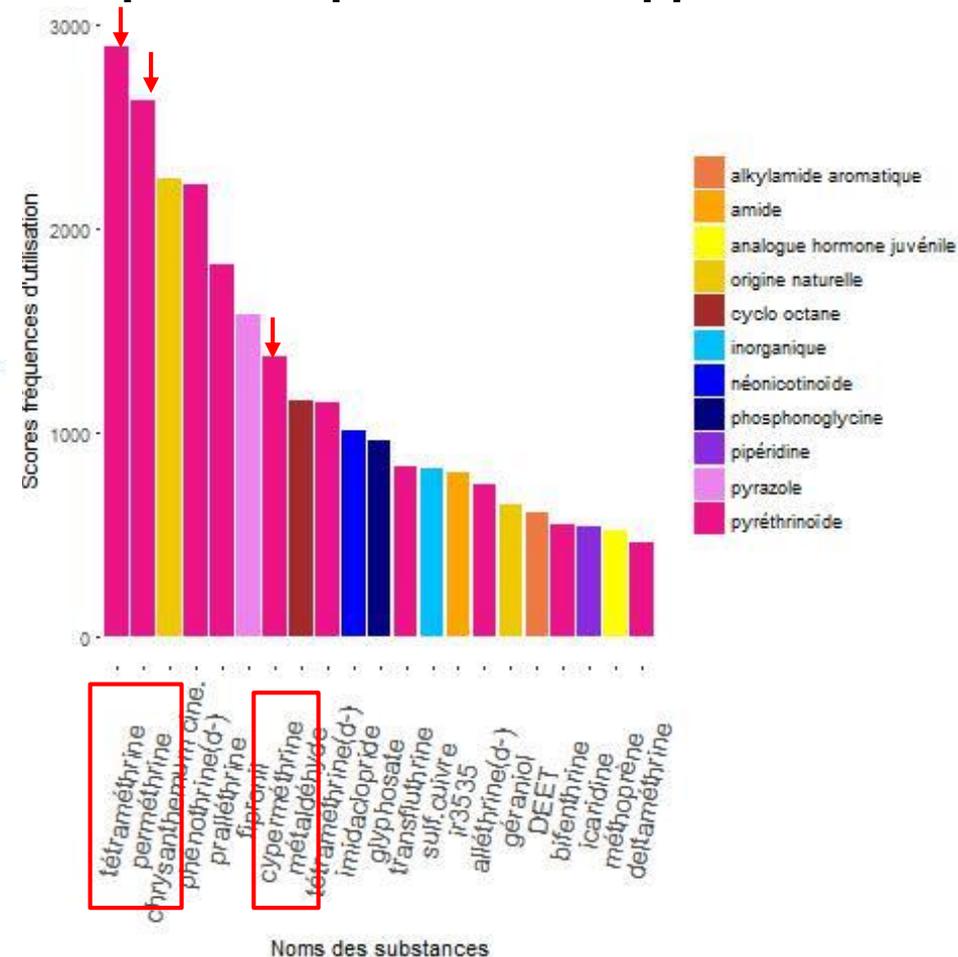
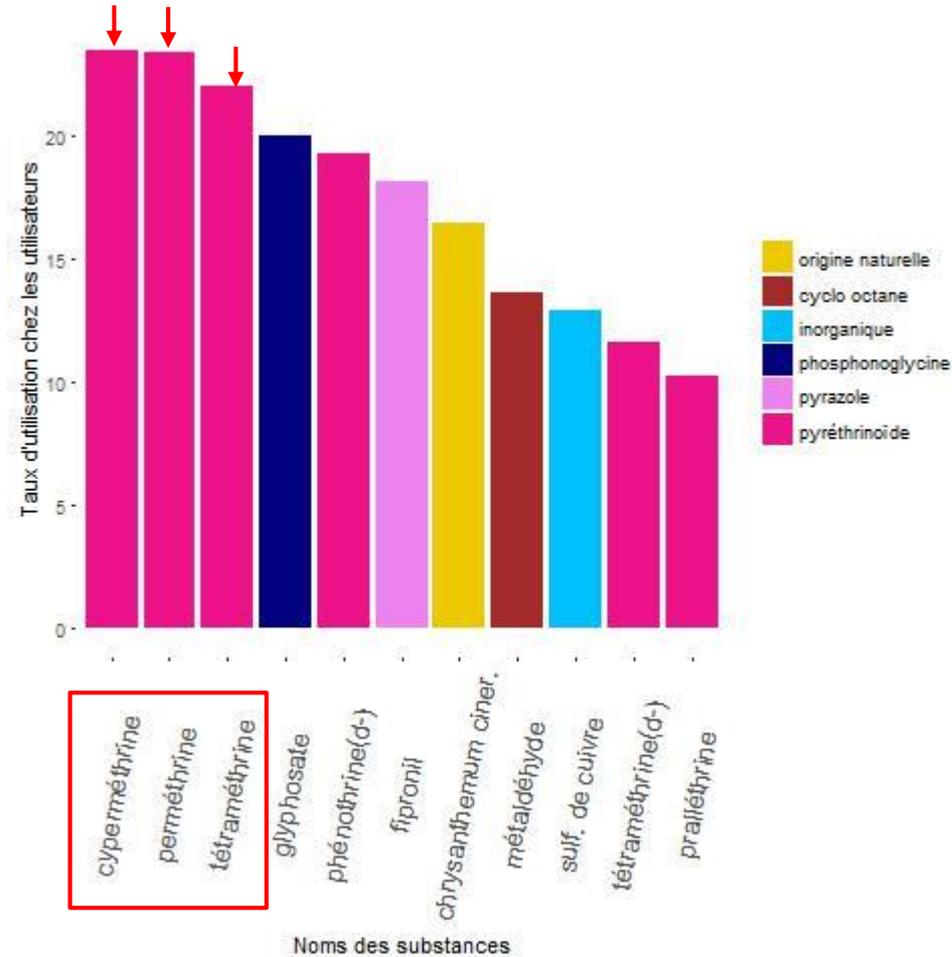
# Pesti'home : caractéristiques des produits ?

- Description des usages des produits stockés et utilisés dans les 12 derniers mois (n=1093)

Types de nuisibles traités		% de ménages avec au moins un produit
Insectes volants	<b>Moustique</b>	<b>42,6</b>
	<b>Mouche</b>	<b>35,7</b>
	Guêpes/frelons	13,8
Insectes rampants	<b>Fourmis</b>	<b>32,0</b>
	Araignées	17,2
	Cafards/blattes	9,4
	Acarien de maison	6,3
Parasite humain/animal	<b>Puces</b>	<b>25,6</b>
	Tiques	17,8
	Poux	11,0
Ravageur du bois		2,5
Rongeur		9,2
Jardin	<b>Adventices</b>	<b>23,6</b>
	Gastéropodes	16,2
	Puceron	15,8
	Autre ravageur jardin	13,6
	Autre insecte jardin	8,4
	Autre adventice	6,9
	Maladie plantes d'intérieur	1,5
Autres		13,2

# Pesti'home : SA contenues dans les produits stockés et utilisés ?

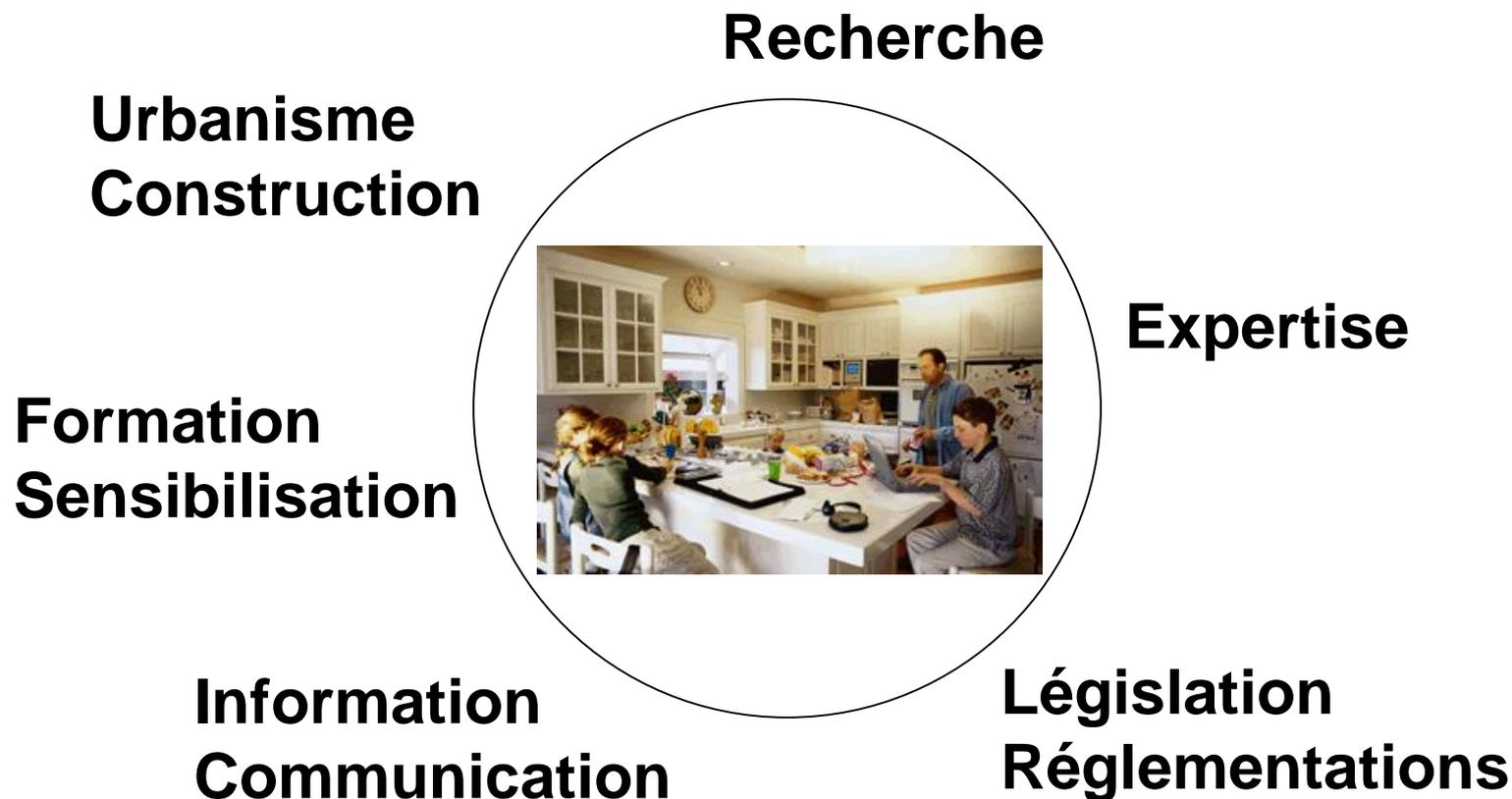
## Les substances actives et les familles chimiques auxquelles elles appartiennent



Les 11 substances actives avec un taux d'utilisation chez les utilisateurs >10%

Les 21 substances les plus fréquemment utilisées (>P90)

# Acteurs de la qualité de l'air intérieur en France



# Air intérieur – réglementation française

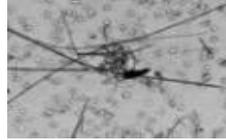
- Par polluants : radon, plomb, amiante, monoxyde de carbone, fumée de tabac environnementale



*Radon : dépister et disposer de valeurs repères*



*Plomb : diagnostiquer, remédier (établissements sensibles)*



*Amiante : diagnostiquer, retirer*

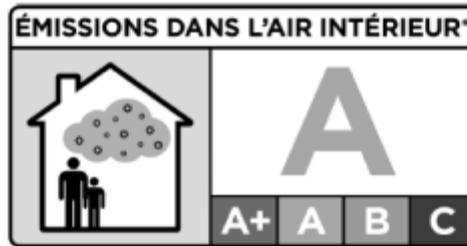


*Monoxyde de carbone : agir sur les installations*



*Tabac : agir sur les pratiques*

- Etiquetage des matériaux émissifs



Ventiler la pièce après utilisation

Eviter d'inhaler directement la fumée



- Surveillance de la qualité de l'air intérieur



2018

2020

2023

# Travaux d'expertise collective : la contribution de l'Anses



## Elaboration de Valeurs guide d'Air Intérieur (VGAI)

# VGAI

- Objectif :
  - proposer un cadre de référence afin de protéger la population des effets sanitaires liés à une exposition à la pollution de l'air par inhalation et *in fine* de réduire, voire de supprimer les expositions aux contaminants ayant un effet néfaste sur la santé humaine et le bien-être.
- Définition d'une valeur guide de qualité d'air intérieur :
  - **Effet à seuil** : concentration dans l'air, associée à un temps d'exposition, en dessous de laquelle aucun effet sanitaire ou aucune nuisance ayant un retentissement sur la santé (dans le cas de composés odorants) ne sont en principe attendus pour la population générale.
  - **Effet sans seuil** : les valeurs guides sont exprimées sous la forme de niveaux de risque correspondant à une probabilité de survenue de la maladie.
  - Prise en compte des **populations sensibles**

# Méthode d'élaboration des VGAI

## Valeur guide air intérieur OMS

1/ Recherche puis 2/ analyse critique approfondie de la valeur guide air intérieur de l'OMS

*Qualité de l'étude source retenue, effet critique choisi, facteurs d'incertitude, durée d'exposition considérée pour la valeur guide, etc*

Si valeur guide absente ou jugée non satisfaisante

Si valeur guide jugée satisfaisante

## Synthèse des connaissances

### Synthèse des effets sanitaires

- Toxicocinétique, toxicodynamie
- Mécanisme d'action
- Relations dose-réponse
- Effets sanitaires
- Populations sensibles, etc

### Recueil des VTR (US EPA, ATSDR, OEHHA, RIVM, etc) et Valeur Guide du projet Index (Commission Européenne)

*Synthèse détaillée  
(Étude source, populations, relations dose-effet, méthode de construction, etc)*

## Construction de VGAI

### Analyse critique

*Choix d'un ou de plusieurs effets critiques, du ou des mécanismes d'action et des durées d'exposition pertinentes*

### Construction de VGAI

*Choix de la ou des études sources puis construction de VGAI selon les méthodes d'élaboration proposées par l'Anses*

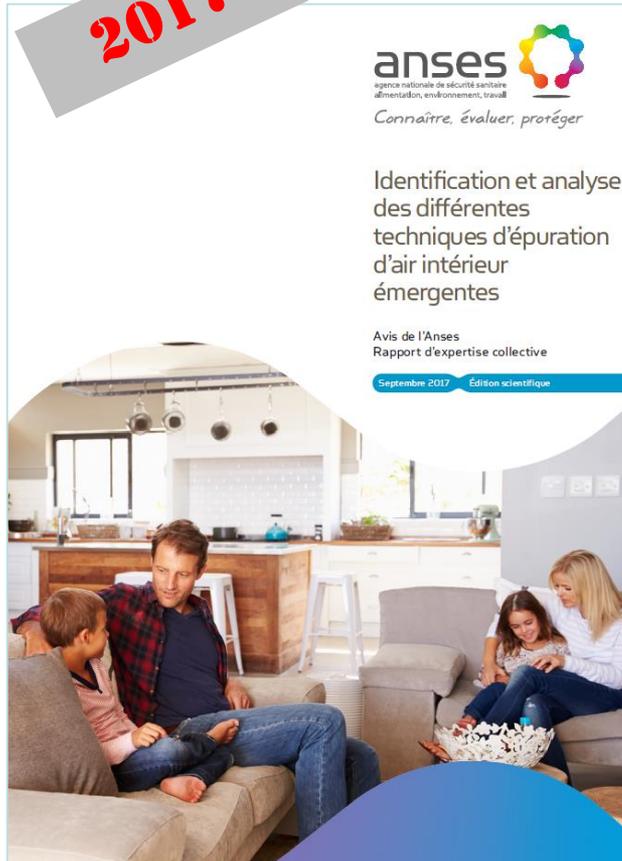
### Proposition de VGAI

## Evaluation des méthodes de mesure pour la comparaison aux VGAI proposées

*Éléments d'accompagnement : réglementation, analyse critique des méthodes de mesure, stratégie d'échantillonnage, identification de situations à risques, contribution des différentes voies et sources d'exposition dans l'exposition globale, évaluation de l'impact sanitaire, etc.*

# Travaux d'expertise collective : la contribution de l'Anses

2017



## Questions posées

1. **Recenser les nouvelles techniques d'épuration d'air** utilisées en environnement intérieur pour le grand public et pour de petites unités volumétriques ou en traitement d'appoint en milieu professionnel (caractéristiques techniques, modalités de mise en œuvre, processus d'élimination, efficacité revendiquée, spectre d'activité pour les substances chimiques, particules, agents biologiques, etc.),
2. **Rassembler et analyser les connaissances disponibles** sur l'évolution de la qualité de l'air associée à l'utilisation des nouvelles techniques d'épuration d'air, notamment en présence de mélanges de polluants (polluants traités, non traités et secondaires) et en fonction de la mise en œuvre des dispositifs. Il ne s'agira pas d'évaluer l'efficacité des différents dispositifs disponibles sur le marché. Les techniques reposant sur la filtration, ne sont pas couvertes.



<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2012SA0236Ra.pdf>

## Champ de l'expertise

### • Nouvelles technologies d'épuration « mobiles »

- Exclusion des dispositifs industriels
- Exclusion des systèmes intégrés aux systèmes de ventilation
- Exclusion des technologies de filtration
- Exclusion de l'épuration par les plantes

## Méthodologie

- Etude de marché
- Conduite d'auditions
- Analyse de la littérature scientifique

Technique d'épuration	Principe	Revendications d'efficacité	Limites/inconvénients relevés par l'analyse de la littérature scientifique
Ionisation/filtration électrostatique	Injection d'ions dans l'air qui sont captés par les particules. Les particules chargées sont captées par les surfaces du bâtiment, ionisation simple, ou par des plaques électriquement chargées présentes au sein de l'épuration dans le cas de la précipitation électrostatique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Élimination des contaminants biologiques</li> <li>• Élimination des contaminants chimiques</li> <li>• Amélioration du bien-être</li> </ul>	<p>L'efficacité est peu démontrée en conditions réelles d'utilisation.</p> <p>Emissions potentielles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ozone → formation de particules secondaires en présence de terpènes</li> <li>• Espèces réactives de l'oxygène → réactions avec les polluants de l'air intérieur pouvant former des polluants secondaires</li> </ul>
Ozonation	Oxydation des polluants par la décomposition de l'ozone	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Élimination des composés organiques</li> <li>• Élimination des odeurs</li> <li>• Élimination des micro-organismes</li> </ul>	<p>L'ozone peut être efficace sur les contaminants chimiques et biologiques, mais à des concentrations dans l'air qui peuvent avoir un impact sur la santé humaine. L'efficacité est faible aux concentrations d'ozone sans effet sur la santé humaine.</p> <p>La génération d'ozone entraîne des concentrations dans l'air supérieures à 100 µg.m<sup>-3</sup> (valeur guide de l'OMS sur 8h dans l'air ambiant)</p> <p>Formation de polluants secondaires, ex :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Particules en présence de terpènes</li> <li>• Acide acétique en présence de formaldéhyde</li> </ul>
Plasma froid	Minéralisation des molécules organiques au travers de réactions d'oxydation initiées par les radicaux libres produits dans un champ ionisant.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Élimination des contaminants biologiques</li> <li>• Élimination des contaminants chimiques</li> <li>• Élimination des odeurs</li> </ul>	<p>Le plasma froid seul a de réelles capacités à minéraliser les polluants en CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> en conditions expérimentales, mais en pratique, il est observé :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une minéralisation incomplète → génération de polluants secondaires</li> <li>• L'émission d'ozone → formation de particules secondaires en présence de terpènes</li> <li>• L'émission d'oxydes d'azote</li> </ul>
Plasma/catalyse	Synergie entre un plasma et une catalyse ou photocatalyse, permettant de limiter la génération de polluants secondaires (NO <sub>2</sub> et O <sub>3</sub> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Élimination des contaminants biologiques</li> <li>• Élimination des contaminants chimiques</li> <li>• Élimination des odeurs</li> </ul>	<p>Les mêmes limites que pour les plasmas froids « seuls » sont recensées, la formation de produits secondaires restant cependant moindre.</p>
Photocatalyse	Activation d'un catalyseur hétérogène par un rayonnement lumineux, souvent une lampe UV. Minéralisation des polluants.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Élimination des contaminants biologiques</li> <li>• Élimination des contaminants chimiques</li> <li>• Élimination des odeurs</li> </ul>	<p>En théorie la photocatalyse aboutit à une minéralisation des polluants en CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>.</p> <p>En pratique la minéralisation est incomplète, ce qui engendre la formation de produits secondaires (ex : cétones, aldéhydes, acides organiques).</p>
Huiles essentielles contenues dans les sprays dits « assainissants »	Action biocide	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Élimination des bio-contaminants</li> <li>• Élimination des odeurs</li> </ul>	<p>L'efficacité n'a pas été recherchée dans la littérature.</p> <p>La principale limite est l'émission de COV dans l'air intérieur lors de l'utilisation de ces produits. Par ailleurs, la présence d'huiles essentielles dans l'air peut aggraver ou provoquer un asthme.</p>

## Principale conclusion

D'une façon générale, les éléments scientifiques collectés et analysés ne permettent pas de démontrer une efficacité en conditions réelles d'utilisation des dispositifs d'épuration de l'air intérieur.

# Travaux d'expertise collective : la contribution de l'Anses

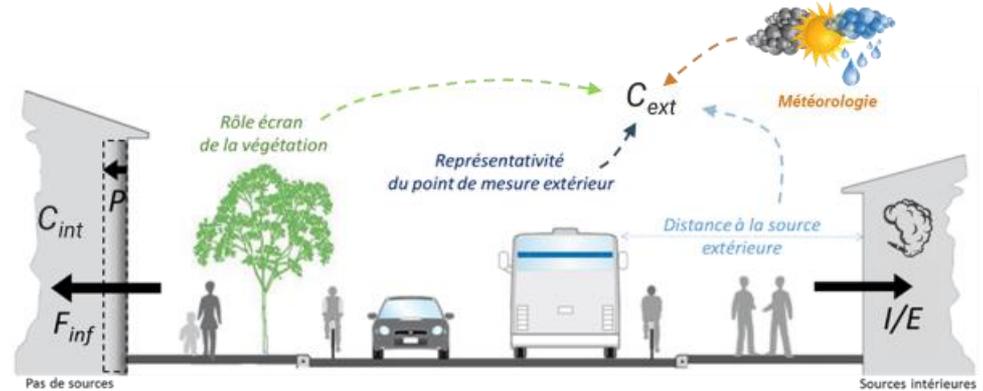
2019



Caractérisation des transferts de pollution de l'air extérieur vers l'intérieur des bâtiments

Avis de l'Anses  
Rapports d'expertise collective

Mai 2019 - Édition scientifique

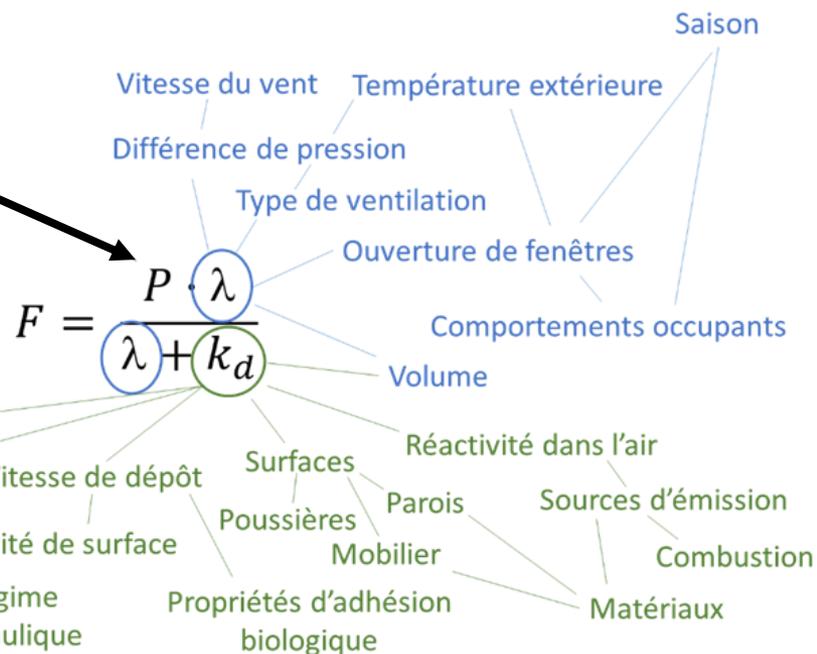
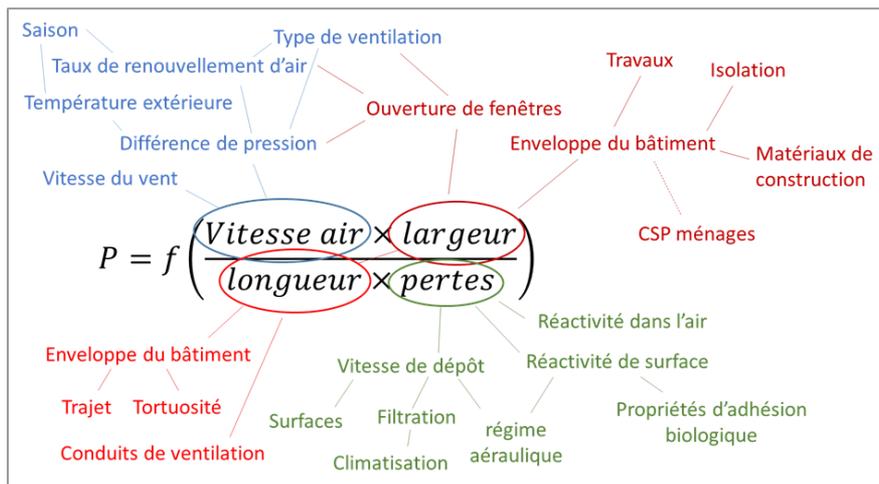


**$P$**  : Facteur de pénétration ou efficacité de transfert décrit le passage d'un polluant au travers de l'interface int/ext du bâtiment (enveloppe, entrée d'air, conduit, fenêtre, etc.)

**$F_{inf}$**  : Facteur d'infiltration ou fraction de la concentration extérieure d'un polluant qui a pénétré à l'intérieur et qui reste en suspension dans l'air

**$I/E$**  : ratio int/ext =  $F_{inf}$  + contributions éventuelles des sources intérieures

# Facteurs affectant le transfert : composantes susceptibles de favoriser ou réduire le passage de polluants



## Exposition intérieure aux polluants extérieurs

Part provenant de l'extérieur

$$C_{int} = [F \times C_{ext}] + Sources_{int}$$

- Représentativité du point de mesure extérieur | air entrant
- Distance aux sources extérieures
- Conditions météorologiques
- Rôle écran de la végétation

→ Complexité et multiplicité des paramètres

# Des préconisations formulées...

1

- Sur la source de pollution de l'air extérieur

2

- Sur l'urbanisme et la planification territoriale

3

- Sur l'hygiène et la salubrité publique

4

- Pour la construction et l'usage des bâtiments

5

- Pour les usagers

6

- Acquisition de connaissances

---

***Merci de votre attention***