



# Habitations performantes en énergie :

évaluation de la qualité de l'air intérieur (QAI) et  
identification des facteurs à l'origine de leurs spécificités

**Mickaël DERBEZ**

Université Paris Est / Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)  
Division Expologie/Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI)

*Colloque Qualité de l'Air Intérieur et Performance environnementale : pour un bâti durable et sain  
10 octobre 2019*





# Pourquoi s'intéresser à la **qualité de l'air intérieur** ?

Nous passons environ **90 %** de notre temps **dans des environnements clos** dont **67%** à l'intérieur de **notre logement**

**1/4 de la population** y passe plus de 20 heures (83% du temps)  
dont les **personnes les plus fragiles** (jeunes enfants, malades, personnes âgées, etc.)

*Colloque Qualité de l'Air Intérieur et Performance environnementale : pour un bâti durable et sain  
10 octobre 2019*





# Multiplicité des sources de pollution (Source : ADEME)

## Les principales sources de pollution de l'air intérieur

### Équipements

- 1 ameublement (bois collés)
- 2 ventilation et climatisation mal entretenues
- 3 chaudières, cheminées, poêles mal entretenus
- 4 production d'humidité des machines à laver, sèche-linge...
- 5 poubelles, stockage des déchets
- 6 cheminée ou poêle mal entretenus

### Activités humaines

- 7 bricolage, émanations des voitures, motos...
- 8 produits de toilette et cosmétiques, humidité
- 9 aspirateur, produits d'entretien, parfums d'intérieur, bougies, encens...
- 10 cuisson
- 11 tabagisme

### Occupation des locaux

- 12 plantes (allergènes, engrais, pesticides)
- 13 métabolisme
- 14 animaux

### Sol

- 15 émanations naturelles (radon), sols contaminés

### Matériaux de construction et de décoration

- 16 peintures, vernis, colles
- 17 isolants
- 18 revêtements de sols, murs, plafonds

### Air extérieur

- 19 pollution locale (gaz d'échappement, activités industrielles ou agricoles), pollens, bactéries, particules...





# Multiplicité des sources de pollution (Source : ADEME)

## Les principales sources de pollution de l'air intérieur

### Équipements

- 1 ameublement (bois collés)
- 2 ventilation et climatisation mal entretenues
- 3 chaudières, cheminées, poêles mal entretenus
- 4 production d'humidité des machines à laver, sèche-linge...
- 5 poubelles, stockage des déchets
- 6 cheminée ou poêle mal entretenus

### Activités humaines

- 7 bricolage, émanations des voitures, motos...
- 8 produits de toilette et cosmétiques, humidité
- 9 aspirateur, produits d'entretien, parfums d'intérieur, bougies, encens...
- 10 cuisson
- 11 tabagisme

### Occupation des locaux

- 12 plantes (allergènes, engrais, pesticides)
- 13 métabolisme
- 14 animaux

### Sol

- 15 émanations naturelles (radon), sols contaminés

### Matériaux de construction et de décoration

- 16 peintures, vernis, colles
- 17 isolants
- 18 revêtements de sols, murs, plafonds

### Air extérieur

- 19 pollution locale (gaz d'échappement, activités industrielles ou agricoles), pollens, bactéries, particules...



# Multiplicité des sources de pollution (Source : ADEME)

## Les principales sources de pollution de l'air intérieur

### Équipements

- 1 ameublement (bois collés)
- 2 ventilation et climatisation mal entretenues
- 3 chaudières, cheminées, poêles mal entretenus
- 4 production d'humidité des machines à laver, sèche-linge...
- 5 poubelles, stockage des déchets
- 6 cheminée ou poêle mal entretenus

### Activités humaines

- 7 bricolage, émanations des voitures, motos...
- 8 produits de toilette et cosmétiques, humidité
- 9 aspirateur, produits d'entretien, parfums d'intérieur, bougies, encens...
- 10 cuisson
- 11 tabagisme

### Occupation des locaux

- 12 plantes (allergènes, engrais, pesticides)
- 13 métabolisme
- 14 animaux

### Sol

- 15 émanations naturelles (radon), sols contaminés

### Matériaux de construction et de décoration

- 16 peintures, vernis, colles
- 17 isolants
- 18 revêtements de sols, murs, plafonds

### Air extérieur

- 19 pollution locale (gaz d'échappement, activités industrielles ou agricoles), pollens, bactéries, particules...



# Multiplicité des sources de pollution (Source : ADEME)

## Les principales sources de pollution de l'air intérieur

### Équipements

- 1 ameublement (bois collés)
- 2 ventilation et climatisation mal entretenues
- 3 chaudières, cheminées, poêles mal entretenus
- 4 production d'humidité des machines à laver, sèche-linge...
- 5 poubelles, stockage des déchets
- 6 cheminée ou poêle mal entretenus

### Activités humaines

- 7 bricolage, émanations des voitures, motos...
- 8 produits de toilette et cosmétiques, humidité
- 9 aspirateur, produits d'entretien, parfums d'intérieur, bougies, encens...
- 10 cuisson
- 11 tabagisme

### Occupation des locaux

- 12 plantes (allergènes, engrais, pesticides)
- 13 métabolisme
- 14 animaux

### Sol

- 15 émanations naturelles (radon), sols contaminés

### Matériaux de construction et de décoration

- 16 peintures, vernis, colles
- 17 isolants
- 18 revêtements de sols, murs, plafonds

### Air extérieur

- 19 pollution locale (gaz d'échappement, activités industrielles ou agricoles), pollens, bactéries, particules...



# Multiplicité des sources de pollution (Source : ADEME)

## Les principales sources de pollution de l'air intérieur

### Équipements

- 1 ameublement (bois collés)
- 2 ventilation et climatisation mal entretenues
- 3 chaudières, cheminées, poêles mal entretenus
- 4 production d'humidité des machines à laver, sèche-linge...
- 5 poubelles, stockage des déchets
- 6 cheminée ou poêle mal entretenus

### Activités humaines

- 7 bricolage, émanations des voitures, motos...
- 8 produits de toilette et cosmétiques, humidité
- 9 aspirateur, produits d'entretien, parfums d'intérieur, bougies, encens...
- 10 cuisson
- 11 tabagisme

### Occupation des locaux

- 12 plantes (allergènes, engrais, pesticides)
- 13 métabolisme
- 14 animaux

### Sol

- 15 émanations naturelles (radon), sols contaminés

### Matériaux de construction et de décoration

- 16 peintures, vernis, colles
- 17 isolants
- 18 revêtements de sols, murs, plafonds

### Air extérieur

- 19 pollution locale (gaz d'échappement, activités industrielles ou agricoles), pollens, bactéries, particules...



# Multiplicité des sources de pollution (Source : ADEME)

## Les principales sources de pollution de l'air intérieur

### Équipements

- 1 ameublement (bois collés)
- 2 ventilation et climatisation mal entretenues
- 3 chaudières, cheminées, poêles mal entretenus
- 4 production d'humidité des machines à laver, sèche-linge...
- 5 poubelles, stockage des déchets
- 6 cheminée ou poêle mal entretenus

### Activités humaines

- 7 bricolage, émanations des voitures, motos...
- 8 produits de toilette et cosmétiques, humidité
- 9 aspirateur, produits d'entretien, parfums d'intérieur, bougies, encens...
- 10 cuisson
- 11 tabagisme

### Occupation des locaux

- 12 plantes (allergènes, engrais, pesticides)
- 13 métabolisme
- 14 animaux

### Sol

- 15 émanations naturelles (radon), sols contaminés

### Matériaux de construction et de décoration

- 16 peintures, vernis, colles
- 17 isolants
- 18 revêtements de sols, murs, plafonds

### Air extérieur

- 19 pollution locale (gaz d'échappement, activités industrielles ou agricoles), pollens, bactéries, particules...



# Multiplicité des sources de pollution (Source : ADEME)

## Les principales sources de pollution de l'air intérieur

### Équipements

- 1 ameublement (bois collés)
- 2 ventilation et climatisation mal entretenues
- 3 chaudières, cheminées, poêles mal entretenus
- 4 production d'humidité des machines à laver, sèche-linge...
- 5 poubelles, stockage des déchets
- 6 cheminée ou poêle mal entretenus

### Activités humaines

- 7 bricolage, émanations des voitures, motos...
- 8 produits de toilette et cosmétiques, humidité
- 9 aspirateur, produits d'entretien, parfums d'intérieur, bougies, encens...
- 10 cuisson
- 11 tabagisme

### Occupation des locaux

- 12 plantes (allergènes, engrais, pesticides)
- 13 métabolisme
- 14 animaux

### Sol

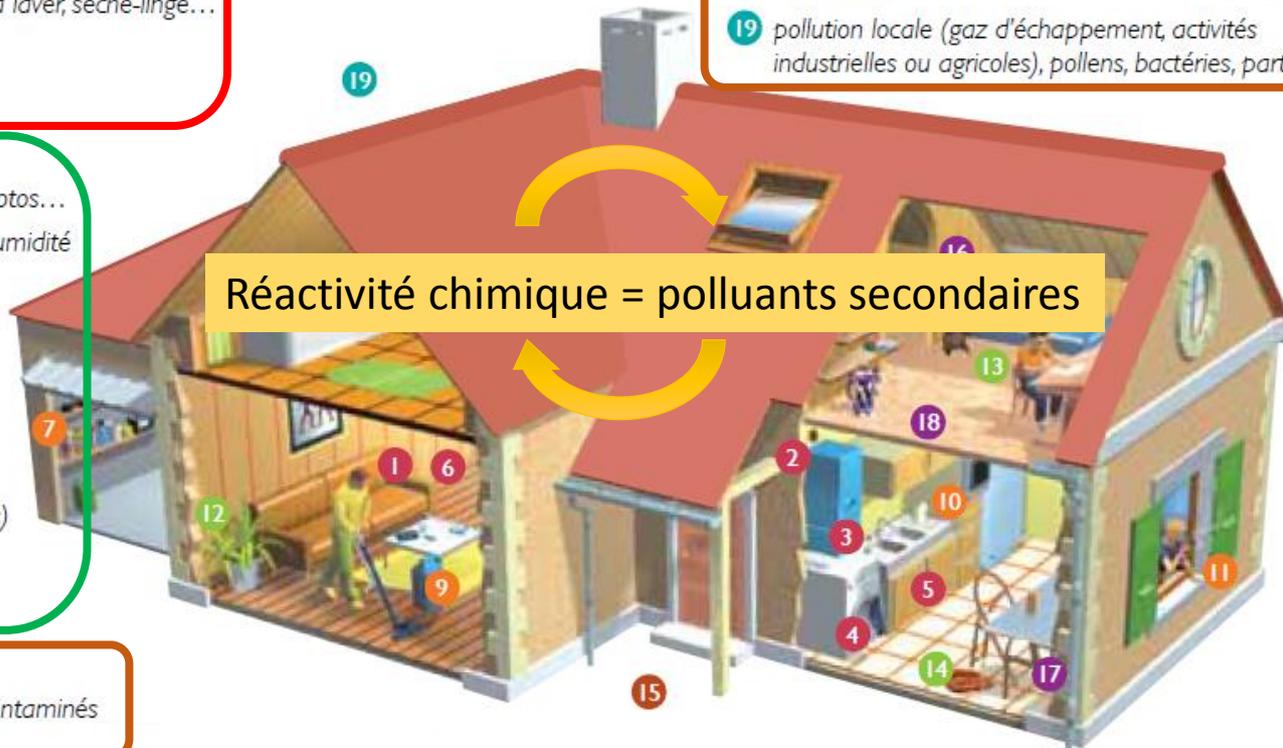
- 15 émanations naturelles (radon), sols contaminés

### Matériaux de construction et de décoration

- 16 peintures, vernis, colles
- 17 isolants
- 18 revêtements de sols, murs, plafonds

### Air extérieur

- 19 pollution locale (gaz d'échappement, activités industrielles ou agricoles), pollens, bactéries, particules...





# Multiplicité des polluants (Source : ADEME)

## LES POLLUANTS CHIMIQUES

CO (monoxyde de carbone)	Appareils de chauffage et de production d'eau chaude par combustion, mal entretenus ou peu performants, fumée de tabac
NOx (oxydes d'azote)	Combustions diverses (gazinière, chauffe-eau gaz, chauffage au bois, fumée de tabac...)
SO2 (dioxyde de soufre)	Combustion du charbon, du fioul
COSV (composés organiques semi-volatils)	Combustion, matériaux de construction ou de décoration (revêtements, plastifiants), mobilier (retardateurs de flammes), produits de traitement du bois...
Pesticides	Produits de traitement du bois, produits de traitement des plantes et des animaux domestiques, insecticides...
HAP	Cuisson de graisse animale, encens, bougies, tabagisme...
Phtalates	Matières plastiques souples (revêtements muraux et de sols), câbles électriques, parfums...
COV (composés organiques volatils)	Matériaux de construction ou de décoration, mobilier, produits d'entretien, fumée de tabac...
Formaldéhyde	Panneaux de particules, aggloméré, mousses isolantes, moquettes, textiles, colles, peintures, cosmétiques, fumée de tabac...
Éthers de glycol	Certaines peintures « à l'eau », encres, vernis, colles, produits d'entretien, diluants, cosmétiques...



# Multiplicité des polluants (Source : ADEME)

## LES POLLUANTS CHIMIQUES

CO (monoxyde de carbone)	Appareils de chauffage et de production d'eau chaude par combustion, mal entretenus ou peu performants, fumée de tabac
NOx (oxydes d'azote)	Combustions diverses (gazinière, chauffe-eau gaz, chauffage au bois, fumée de tabac...)
SO2 (dioxyde de soufre)	Combustion du charbon, du fioul
COSV (composés organiques semi-volatils)	Combustion, matériaux de construction ou de décoration (revêtements, plastifiants), mobilier (retardateurs de flammes), produits de traitement du bois...
Pesticides	Produits de traitement du bois, produits de traitement des plantes et des animaux domestiques, insecticides...
HAP	Cuisson de graisse animale, encens, bougies, tabagisme...
Phtalates	Matières plastiques souples (revêtements muraux et de sols), câbles électriques, parfums...
COV (composés organiques volatils)	Matériaux de construction ou de décoration, mobilier, produits d'entretien, fumée de tabac...
Formaldéhyde	Panneaux de particules, aggloméré, mousses isolantes, moquettes, textiles, colles, peintures, cosmétiques, fumée de tabac...
Éthers de glycol	Certaines peintures « à l'eau », encres, vernis, colles, produits d'entretien, diluants, cosmétiques...

## LES POLLUANTS BIOLOGIQUES

Agents infectieux	
Légionelles	Prolifération dans les réseaux d'eau chaude (entre 25 et 45 °C), systèmes de climatisation, tours aéro-réfrigérantes, humidificateurs, brumisateurs, jacuzzi...
Toxines bactériennes, mycotoxines	Animaux domestiques, moisissures
Allergènes	
de moisissures	Les moisissures prolifèrent dans une ambiance humide, chaude et mal aérée
de blattes	Carapaces et excréments des blattes. Les blattes prolifèrent dans des milieux humides, chauds, sombres où elles trouvent de la nourriture
d'acariens	Les acariens prolifèrent dans les poussières, la literie, les canapés et fauteuils en tissu, les tapis, les moquettes, les rideaux...
d'animaux domestiques	Salive, peau, glandes anales des chats, chiens...



# Multiplicité des polluants (Source : ADEME)

## LES POLLUANTS CHIMIQUES

CO (monoxyde de carbone)	Appareils de chauffage et de production d'eau chaude par combustion, mal entretenus ou peu performants, fumée de tabac
NOx (oxydes d'azote)	Combustions diverses (gazinière, chauffe-eau gaz, chauffage au bois, fumée de tabac...)
SO2 (dioxyde de soufre)	Combustion du charbon, du fioul
COSV (composés organiques semi-volatils)	Combustion, matériaux de construction ou de décoration (revêtements, plastifiants), mobilier (retardateurs de flammes), produits de traitement du bois...
Pesticides	Produits de traitement du bois, produits de traitement des plantes et des animaux domestiques, insecticides...
HAP	Cuisson de graisse animale, encens, bougies, tabagisme...
Phtalates	Matières plastiques souples (revêtements muraux et de sols), câbles électriques, parfums...
COV (composés organiques volatils)	Matériaux de construction ou de décoration, mobilier, produits d'entretien, fumée de tabac...
Formaldéhyde	Panneaux de particules, aggloméré, mousses isolantes, moquettes, textiles, colles, peintures, cosmétiques, fumée de tabac...
Éthers de glycol	Certaines peintures « à l'eau », encres, vernis, colles, produits d'entretien, diluants, cosmétiques...

## LES POLLUANTS BIOLOGIQUES

Agents infectieux	
Légionelles	Prolifération dans les réseaux d'eau chaude (entre 25 et 45 °C), systèmes de climatisation, tours aéro-réfrigérantes, humidificateurs, brumisateurs, jacuzzi...
Toxines bactériennes, mycotoxines	Animaux domestiques, moisissures
Allergènes	
de moisissures	Les moisissures prolifèrent dans une ambiance humide, chaude et mal aérée
de blattes	Carapaces et excréments des blattes. Les blattes prolifèrent dans des milieux humides, chauds, sombres où elles trouvent de la nourriture
d'acariens	Les acariens prolifèrent dans les poussières, la literie, les canapés et fauteuils en tissu, les tapis, les moquettes, les rideaux...
d'animaux domestiques	Salive, peau, glandes anales des chats, chiens...

## LES PARTICULES ET LES FIBRES

Particules	Air extérieur (pollens, gaz d'échappement, fumées diverses...), spores de moisissures, fumée de tabac, chauffage (au bois ou au fioul), cuisson des aliments
------------	--



# Multiplicité des polluants (Source : ADEME)

## LES POLLUANTS CHIMIQUES

CO (monoxyde de carbone)	Appareils de chauffage et de production d'eau chaude par combustion, mal entretenus ou peu performants, fumée de tabac
NOx (oxydes d'azote)	Combustions diverses (gazinière, chauffe-eau gaz, chauffage au bois, fumée de tabac...)
SO2 (dioxyde de soufre)	Combustion du charbon, du fioul
COSV (composés organiques semi-volatils)	Combustion, matériaux de construction ou de décoration (revêtements, plastifiants), mobilier (retardateurs de flammes), produits de traitement du bois...
Pesticides	Produits de traitement du bois, produits de traitement des plantes et des animaux domestiques, insecticides...
HAP	Cuisson de graisse animale, encens, bougies, tabagisme...
Phtalates	Matières plastiques souples (revêtements muraux et de sols), câbles électriques, parfums...
COV (composés organiques volatils)	Matériaux de construction ou de décoration, mobilier, produits d'entretien, fumée de tabac...
Formaldéhyde	Panneaux de particules, aggloméré, mousses isolantes, moquettes, textiles, colles, peintures, cosmétiques, fumée de tabac...
Éthers de glycol	Certaines peintures « à l'eau », encres, vernis, colles, produits d'entretien, diluants, cosmétiques...

## LES POLLUANTS BIOLOGIQUES

Agents infectieux	
Légionelles	Prolifération dans les réseaux d'eau chaude (entre 25 et 45 °C), systèmes de climatisation, tours aéro-réfrigérantes, humidificateurs, brumisateurs, jacuzzi...
Toxines bactériennes, mycotoxines	Animaux domestiques, moisissures
Allergènes	
de moisissures	Les moisissures prolifèrent dans une ambiance humide, chaude et mal aérée
de blattes	Carapaces et excréments des blattes. Les blattes prolifèrent dans des milieux humides, chauds, sombres où elles trouvent de la nourriture
d'acariens	Les acariens prolifèrent dans les poussières, la literie, les canapés et fauteuils en tissu, les tapis, les moquettes, les rideaux...
d'animaux domestiques	Salive, peau, glandes anales des chats, chiens...

## LE GAZ RADIOACTIF

### Radon

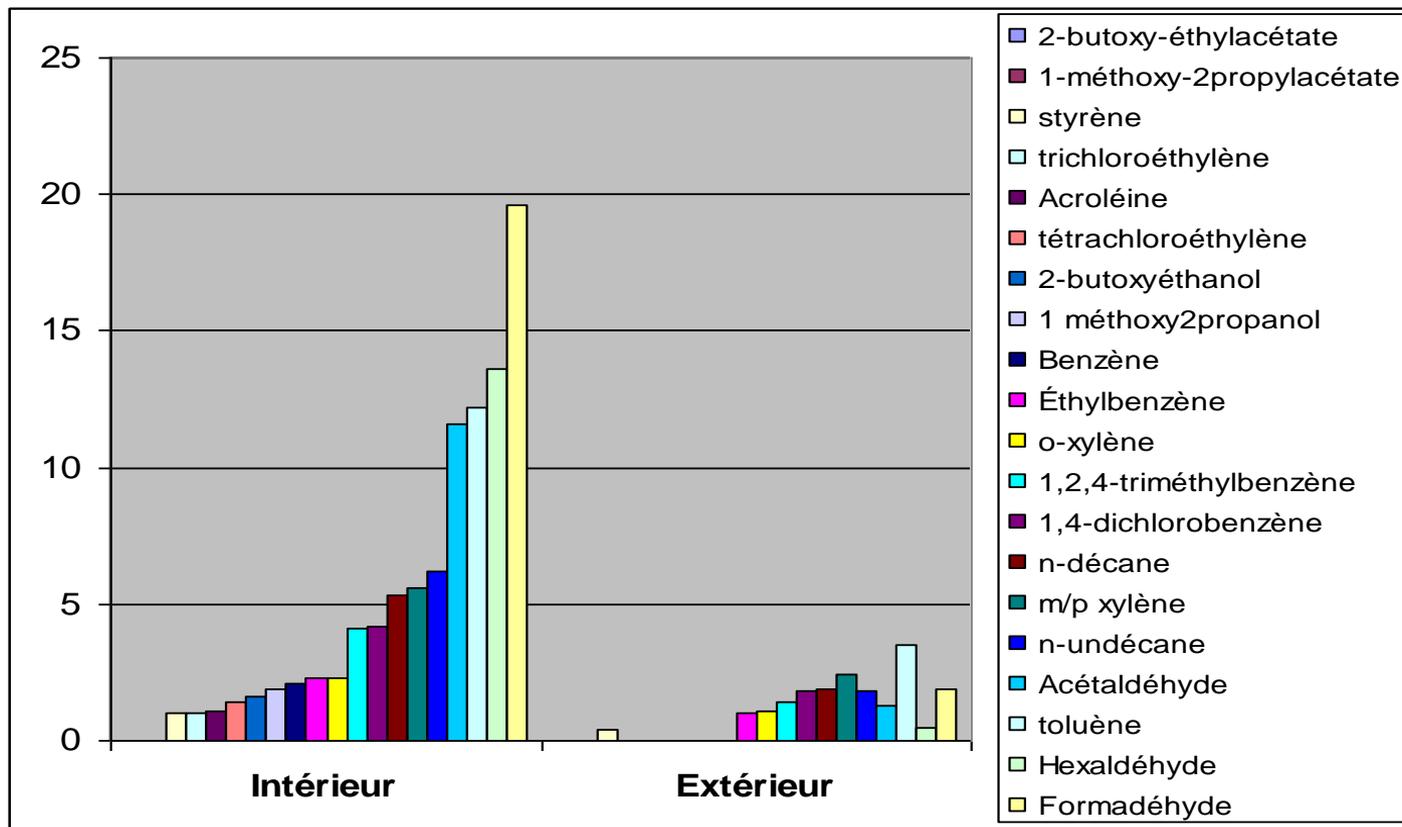
Émanations des sous-sols granitiques et volcaniques et de certains matériaux de construction

## LES PARTICULES ET LES FIBRES

Particules	Air extérieur (pollens, gaz d'échappement, fumées diverses...), spores de moisissures, fumée de tabac, chauffage (au bois ou au fioul), cuisson des aliments
------------	--

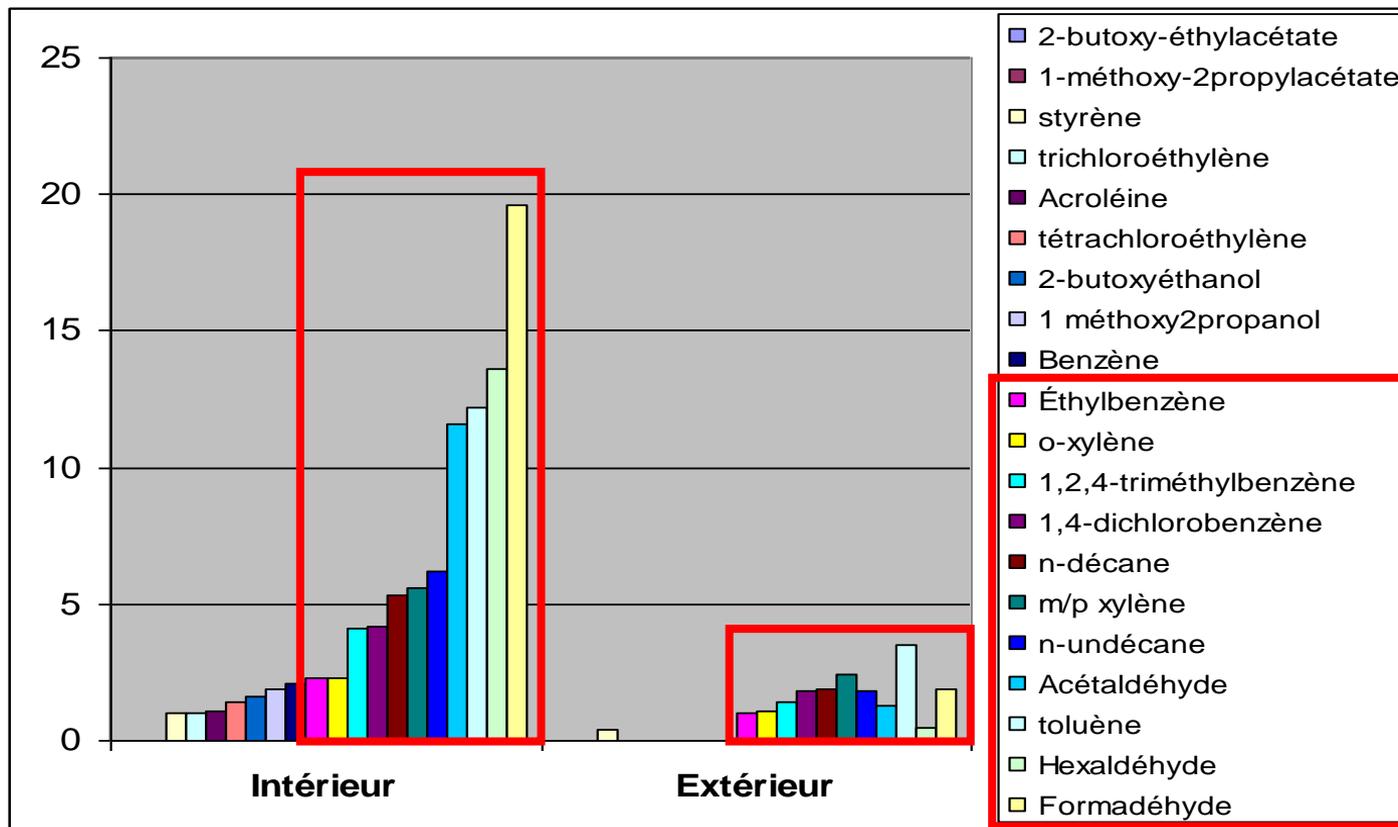


# Des concentrations intérieures **plus élevées** pour certains polluants





# Des concentrations intérieures **plus élevées** pour certains polluants





# Des enjeux **sanitaires** et **économiques**

## Inconfort

Air confiné/sec

Odeurs

## Symptômes

Irritations de la peau, des yeux,  
du nez, de la gorge

Maux de tête

Fatigue

Baisse de performance

## Maladies

Rhinite allergique

Asthme

Infections respiratoires

Légionellose

Cardiovasculaires

Liées à la reproduction

Cancer du poumon,.....



# Des enjeux **sanitaires** et **économiques**

## Inconfort

Air confiné/sec

Odeurs

## Symptômes

Irritations de la peau, des yeux,  
du nez, de la gorge

Maux de tête

Fatigue

Baisse de performance

## Maladies

Rhinite allergique

Asthme

Infections respiratoires

Légionellose

Cardiovasculaires

Liées à la reproduction

Cancer du poumon,.....

## En FRANCE :

**Plus de 28 000 nouveaux cas de pathologies** chaque année et **20 000 décès** chaque année (*ANSES/OQAI, 2014*), parmi lesquels :

- **100 décès et environ 1300 épisodes d'intoxication par an liés** au CO
- **1 200 à 2 900 décès par an** par cancer du poumon en lien avec le radon ; 2<sup>ème</sup> cause de mortalité par cancer du poumon

**Coût annuel : 20 milliards € par an**

- Coûts externes (mortalité, qualité de vie, productivité)
- impact sur finances publiques (soins, recherche, retraites non versées)

# Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur



**Créé en 2001**

**Programme de recherche** sur les expositions et la santé dans les bâtiments

**Sous la tutelle** entre les ministères en charge du Logement, de la Santé, de l'Ecologie avec le concours de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, de l'Environnement et du Travail) et du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), qui est aussi opérateur.

Une équipe d'une **quinzaine de personnes** du CSTB

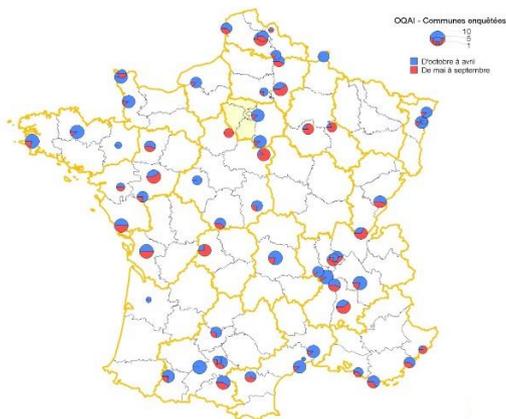
Un **réseau d'acteurs** scientifiques et opérationnels **coordonné par le CSTB**



# Campagnes nationales de mesure dans les bâtiments en France

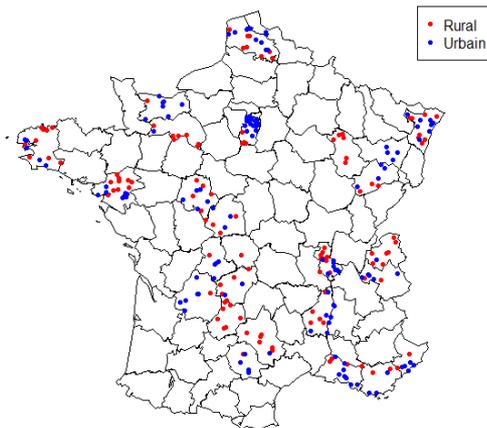
## Logements (CNL)

567 logements  
2003-2005



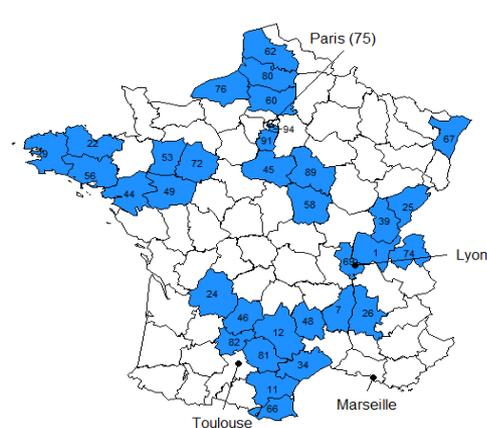
## Ecoles (CNE)

602 salles de classe  
2013-2017



## Bureaux (CNB)

130 immeubles de bureau  
2013-2017

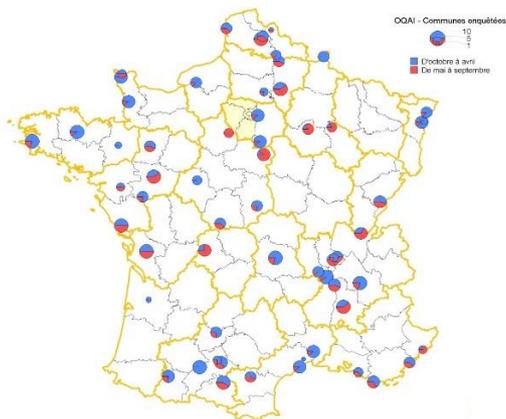




# Campagnes nationales de mesure dans les bâtiments en France

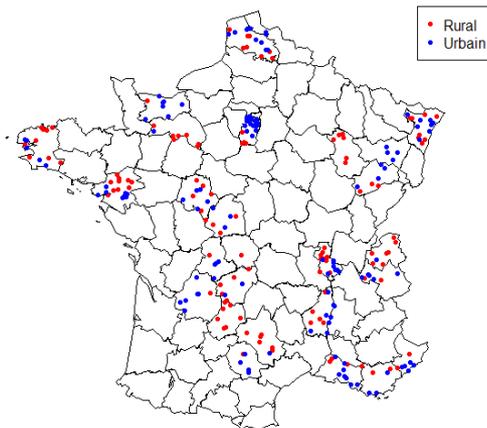
## Logements (CNL)

567 logements  
2003-2005



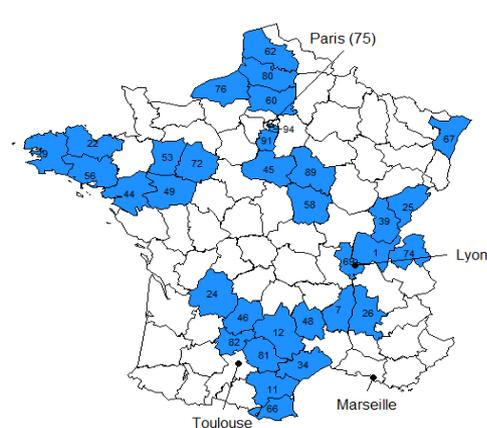
## Ecoles (CNE)

602 salles de classe  
2013-2017



## Bureaux (CNB)

130 immeubles de bureau  
2013-2017



**En cours :**

**Etablissements sociaux et médico-sociaux (ESMS) :** 100 établissements enquêtés en 2019 et 2020

Etude pilote pour la **campagne nationale logements 2** prévue entre 2020 et 2022



# Programme **Bâtiments performants en énergie** (2012-2018)

Lutte contre le **réchauffement climatique** et la  
**précarité énergétique**

Amélioration de la **performance énergétique** des  
bâtiments : renforcement de l'isolation, réduction de la perméabilité à l'air  
des façades

*Colloque Qualité de l'Air Intérieur et Performance environnementale : pour un bâti durable et sain*  
10 octobre 2019





# Programme **Bâtiments performants en énergie** (2012-2018)

Lutte contre le **réchauffement climatique** et la  
**précarité énergétique**

Amélioration de la **performance énergétique** des  
bâtiments : renforcement de l'isolation, réduction de la perméabilité à l'air  
des façades

**Maintien de la qualité sanitaire** des bâtiments et du  
**bien-être** des occupants

*Colloque Qualité de l'Air Intérieur et Performance environnementale : pour un bâti durable et sain*  
10 octobre 2019





# Programme **Bâtiments performants en énergie** (2012-2018)

## Existe-t-il des **contre-performances** ?

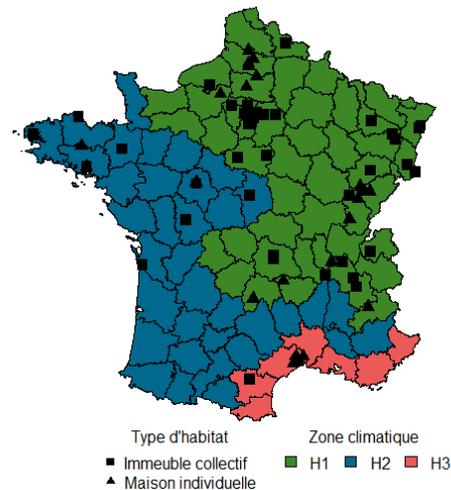
- **Réduction du taux de renouvellement** d'air global par limitation des infiltrations d'air parasites → pathologies bâtiment et santé
- **Risque de condensation et de développement fongique** sur les parois froides (parois non/insuffisamment isolées, ponts thermiques) → pathologies bâtiment et santé
- **Risque de surchauffe estivale** (absence ou mauvaise gestion des ouvrants et des protections solaires) **OU d'inconfort en hiver** (absence de système de chauffage avec émetteurs de chaleur) → confort thermique et santé
  - Etc.





# Programme **Bâtiments performants en énergie** (2012-2018)

- **128 logements occupés** (82 bâtiments répartis en 28 maisons individuelles et 54 immeubles collectifs) **neufs** (RT 2012 ou RT2005 avec respect des critères des labels énergétiques existants tel que BBC2005) ou **récemment rénovés** (avec respect des critères du label Effinergie-rénovation ou équivalent) sélectionnés sur la **base du volontariat**
- Chaque logement a fait l'objet de deux enquêtes d'une semaine : **CHAUFFE** et **HORS-CHAUFFE**
  - Mesure en continu du CO<sub>2</sub>, de la T et de l'HR
  - Mesure séquencée des particules (PM<sub>2,5</sub>)
  - Mesure intégrée des polluants chimiques (ALD, COV, NO<sub>2</sub>) et du radon
  - Mesure ponctuelles des débits/pressions aux bouches des VMC
  - Inspection visuelle des moisissures et calcul de l'activité fongique





# Programme **Bâtiments performants en énergie** (2012-2018)

- En complément des mesures et des prélèvements, **des questionnaires ont été renseignés** afin de collecter les informations relatives à :
  - Informations générales sur l'environnement extérieur : zone climatique, altitude, environnement, proximité de sources de pollution, etc.
  - Caractéristiques générales du bâtiment : type de bâtiment, date de construction, date de rénovation, nombre d'étages, matériaux de construction et d'isolation, performances énergétiques, systèmes de ventilation, de chauffage, de climatisation, etc.
  - Description du logement : type de logement, type de menuiseries et de protections solaires, nature et âge des revêtements de surface et du mobilier, installations de cuisine, composition du ménage et occupation du logement pendant les mesures, usages des occupants (chauffage, ventilation, aération, séchage du linge)
  - Accompagnement de la mesure : occupation du bâtiment, paramètres de ventilation et d'aération, survenue d'activités domestiques polluantes ou de travaux et tous autres événements durant la semaine de mesure.



# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

- **Confinement de l'air** (concentration en CO<sub>2</sub> en ppm en occupation)

😊 BPE < CNL	😐 BPE = CNL	😞 BPE > CNL
Chauffe	Hors-Chauffe	

➔ **niveau de confinement  
égal voire inférieur**

# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

- **Confinement de l'air** (concentration en CO<sub>2</sub> en ppm en occupation)



- État et dysfonctionnement des systèmes **comparables** à ceux observés dans l'ensemble des logements français
  - 53 VMC hygroréglables A ou B : **40% à 70% des mesures dans la plage préconisée** par les fabricants (entre 70 et 160 Pa) sinon en dessous de 70 Pa
  - 38 systèmes VMC autoréglables : entre **20 et 50% des débits d'extraction sont conformes** aux débits réglementaires



# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

- Aldéhydes**

	😊 BPE < CNL	😐 BPE = CNL	😞 BPE > CNL
<b>Acétaldéhyde</b>	Chauffe	Hors-Chauffe	
<b>Formaldéhyde</b>	Chauffe	Hors-Chauffe	
<b>Hexaldéhyde</b>			Chauffe / Hors-Chauffe



# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

- Aldéhydes

	😊 BPE < CNL	😐 BPE = CNL	😞 BPE > CNL
Acétaldéhyde	Chauffe	Hors-Chauffe	
Formaldéhyde	Chauffe	Hors-Chauffe	
<b>Hexaldéhyde</b>			<b>Chauffe / Hors-Chauffe</b>

➔ Concentrations égales voir inférieures sauf pour l'hexaldéhyde quelle que soit la saison



# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

- COV**

	😊 BPE < CNL	😐 BPE = CNL	😞 BPE > CNL
1.2.4-triméthylbenzène	Chauffe/Hors-chauffe		
1-méthoxy-2-propanol	Chauffe/Hors-chauffe		
2-butoxyéthanol	Chauffe/Hors-chauffe		
alpha-pinène	Chauffe/Hors-chauffe		
Benzène	Chauffe/Hors-chauffe		
n-décane	Chauffe/Hors-chauffe		
éthylbenzène	Chauffe/Hors-chauffe		
Limonène	Hors-chauffe		Chauffe
styrène	Chauffe/Hors-chauffe		
toluène	Chauffe/Hors-chauffe		
(m+p)-xylènes	Chauffe/Hors-chauffe		
o-xylène	Chauffe/Hors-chauffe		



# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

- COV**

	😊 BPE < CNL	😐 BPE = CNL	😞 BPE > CNL
1.2.4-triméthylbenzène	Chauffe/Hors-chauffe		
1-méthoxy-2-propanol	Chauffe/Hors-chauffe		
2-butoxyéthanol	Chauffe/Hors-chauffe		
<b>alpha-pinène</b>			<b>Chauffe/Hors-chauffe</b>
Benzène	Chauffe/Hors-chauffe		
n-décane	Chauffe/Hors-chauffe		
éthylbenzène	Chauffe/Hors-chauffe		
<b>Limonène</b>		Hors-chauffe	<b>Chauffe</b>
styrène	Chauffe/Hors-chauffe		
toluène	Chauffe/Hors-chauffe		
(m+p)-xylènes	Chauffe/Hors-chauffe		
o-xylène	Chauffe/Hors-chauffe		

# **Comparaison** de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

- Autres polluants : NO<sub>2</sub>, radon, PM<sub>2,5</sub>

	😊 BPE < CNL	😐 BPE = CNL	😞 BPE > CNL
NO <sub>2</sub>	Chauffe/Hors-chauffe		
Radon	Chauffe		
PM <sub>2,5</sub>	Chauffe/Hors-chauffe		

- Conditions hygrothermiques

	😊 BPE < CNL	😐 BPE = CNL	😞 BPE > CNL
Température (chambre)	Chauffe/Hors-chauffe		
Température (séjour)	Chauffe/Hors-chauffe		
Humidité relative (chambre)	Chauffe	Hors-chauffe	
Humidité relative (séjour)	Chauffe/Hors-chauffe		

# **Comparaison** de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

- **Autres polluants : NO<sub>2</sub>, radon, PM<sub>2,5</sub>**

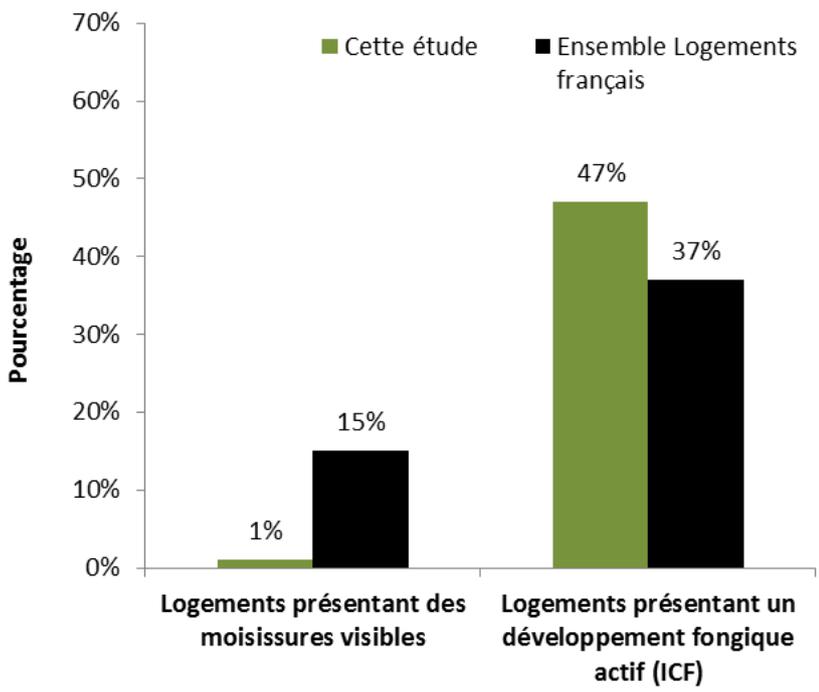
	😊 BPE < CNL	😐 BPE = CNL	😞 BPE > CNL
NO <sub>2</sub>	Chauffe/Hors-chauffe		
Radon	Chauffe		
PM <sub>2,5</sub>	Chauffe/Hors-chauffe		

- **Conditions hygrothermiques**

	😊 BPE < CNL	😐 BPE = CNL	😞 BPE > CNL
Température (chambre)			Chauffe/Hors-chauffe
Température (séjour)			Chauffe/Hors-chauffe
Humidité relative (chambre)	Chauffe	Hors-chauffe	
Humidité relative (séjour)	Chauffe/Hors-chauffe		

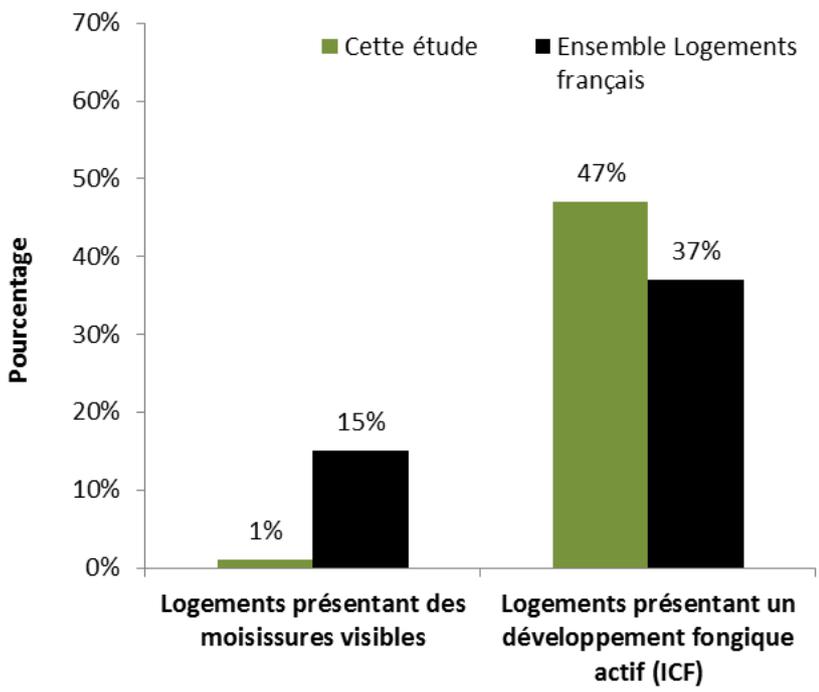
# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

- **Moisissures**



# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

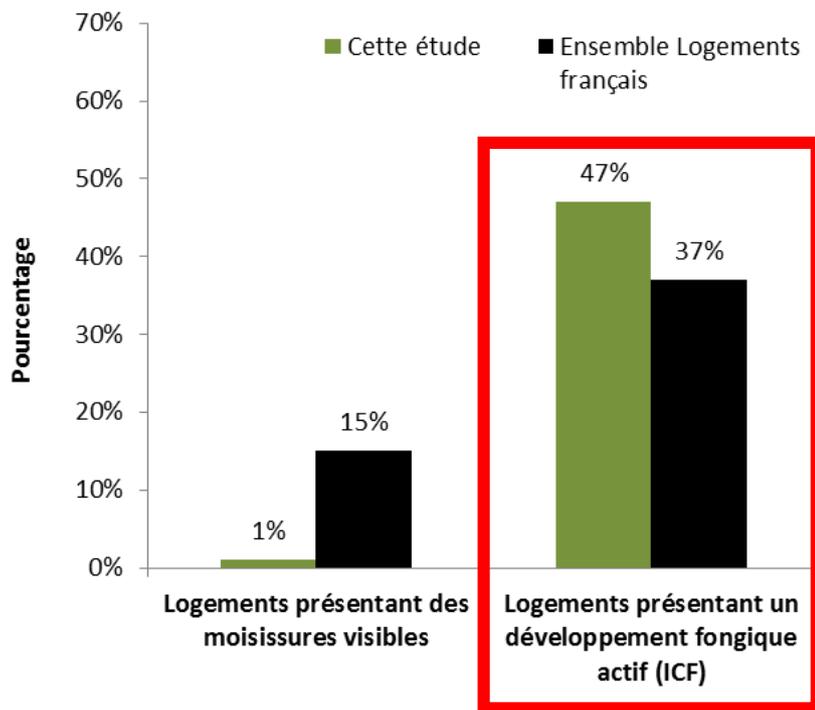
- **Moisissures**



😊 % de logements présentant des moisissures visibles **inférieur à celui de l'ensemble des logements français**

# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

- **Moisissures**



 % de logements présentant des moisissures visibles **inférieur à celui de l'ensemble des logements français**

 % de logements présentant un développement actif **supérieur à celui de l'ensemble des logements français** : moisissures dans des zones non apparentes, derrière les meubles, les revêtements de surface et possiblement à l'intérieur des parois



# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

Qualité d'environnement intérieur **globalement similaire voire meilleure** dans les BPE avec certains **points de vigilance** :

- Valeurs plus élevées de la **température**, des concentrations de **l'hexaldéhyde et de l'alpha-pinène** pour les deux saisons
- Concentrations plus élevées pour le **limonène** en chauffe
- Proportion plus élevée de logements présentant une **contamination fongique active**



# Comparaison de la qualité de l'air des **BPE** (128 logements) avec les **logements français** (567 logements)

Qualité d'environnement intérieur **globalement similaire voire meilleure** dans les BPE avec certains **points de vigilance** :

- Valeurs plus élevées de la **température**, des concentrations de **l'hexaldéhyde et de l'alpha-pinène** pour les deux saisons
- Concentrations plus élevées pour le **limonène** en chauffe
- Proportion plus élevée de logements présentant une **contamination fongique active**

**Comment explique-t-on ces spécificités ?**



# Recherche des **facteurs** à l'origine des spécificités de la QAI des BPE

- **Méthode statistique utilisée**

	<b>Variables à expliquer</b>	<b>Modèle statistique à utiliser</b>
<b>Alpha-pinène Hexaldéhyde Limonène</b>	Quantitative (concentration)	Régression linéaire multiniveaux*
<b>Développement fongique</b>	Binaire (Oui/Non)	Régression logistique multiniveaux*

\* permet de prendre en compte la saison (chauffe/hors-chauffe) et la dépendance des variables à expliquer (logement enquêté à 2 reprises, logements regroupés dans le même immeuble collectif)



# Recherche des **facteurs** à l'origine des spécificités de la QAI des BPE

- **Méthode statistique utilisée**

	<b>Variables à expliquer</b>	<b>Modèle statistique à utiliser</b>
<b>Alpha-pinène Hexaldéhyde Limonène</b>	Quantitative (concentration)	Régression linéaire multiniveaux*
<b>Développement fongique</b>	Binaire (Oui/Non)	Régression logistique multiniveaux*

\* permet de prendre en compte la saison (chauffe/hors-chauffe) et la dépendance des variables à expliquer (logement enquêté à 2 reprises, logements regroupés dans le même immeuble collectif)

- **Pré-sélection des variables** (issues des questionnaires) : 3 étapes

<b>1<sup>ère</sup> étape</b>	<b>2<sup>ème</sup> étape</b>	<b>3<sup>ème</sup> étape</b>
<b>Suppression des variables</b> qui ne présentent pas d'intérêt pour la recherche des déterminants	<b>Test individuel des variables</b> à introduire dans chaque modèle	<b>Etude des corrélations entre les variables retenues</b> afin d'éviter de biaiser le modèle



# Recherche des **facteurs** à l'origine des spécificités de la QAI des BPE

## Facteurs associés à une augmentation de concentration

### Alpha-pinène

- Structure des parois du logement en **ossature bois**
- Présence d'un comble/grenier isolé par un **isolant végétal** (fibres de bois ou fibres de cellulose) au dessus du logement
- **Mobilier** exclusivement en **bois** (brut ou reconstitué) dans la pièce de mesure

### Hexaldéhyde

- Structure des parois du logement en **ossature bois**
- Présence de **revêtements de sol** à base de **bois** (brut ou reconstitué) dans le logement

### Limonène

- Augmentation des concentrations avec la **surface habitable**
- **Introduction de meubles neufs** au cours de la semaine de mesure dans le logement



# Recherche des **facteurs** à l'origine des spécificités de la QAI des BPE

## Facteurs associés à une proportion plus élevée de logements présentant un développement fongique (réf)

**Ecart d'humidité  
absolue  $\geq 0,9$   
g/kg en chauffe**  
( $< 0,9$  g/kg)

- Augmentation du **risque de condensation de la vapeur d'eau** au sein des parois en période de chauffe

**Délai d'enquête  
< 1,5 ans**  
( $> 1,5$  ans)

- **Humidité résiduelle liée aux travaux** qui s'évacue progressivement lorsque le bâtiment est ventilé, aéré et à condition qu'il n'y ait pas d'arrivées d'eau accidentelles et que le renouvellement de l'air soit suffisant pour éliminer tout excès d'humidité

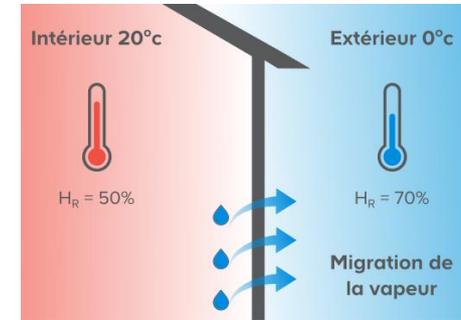
**Filière humide  
(béton, pierre)**  
(filière sèche : ossature  
bois)

- **Nécessite beaucoup d'eau** pour la mise en œuvre des éléments humides (béton, chape) qui ne peut pas être évacuée en l'absence de ventilation spécifique en phase chantier
- **Risque de condensation au sein de la paroi** plus grand dans le cas de façades traditionnelles composées de plusieurs matériaux (mur, isolant, plaque de plâtre, revêtements)

# Recherche des **facteurs** à l'origine des spécificités de la QAI des BPE

- Augmentation du **risque de condensation de la vapeur d'eau** au sein des parois en période de chauffe

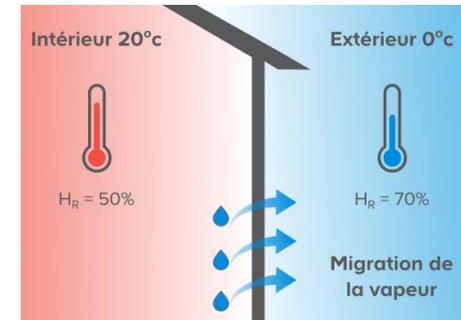
**Transfert de la vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur** : les parois se chargent en humidité par condensation d'autant plus que l'écart moyen d'humidité absolue entre l'intérieur et l'extérieur est important. Dans notre cas, ce phénomène a lieu/s'intensifie à partir d'un écart moyen d'humidité absolue supérieur ou égal à 0,9 g/kg



# Recherche des **facteurs** à l'origine des spécificités de la QAI des BPE

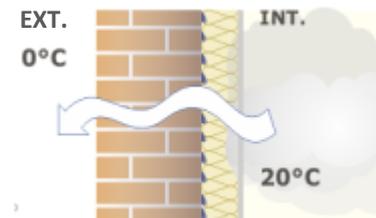
- Augmentation du **risque de condensation de la vapeur d'eau** au sein des parois en période de chauffe

**Transfert de la vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur** : les parois se chargent en humidité par condensation d'autant plus que l'écart moyen d'humidité absolue entre l'intérieur et l'extérieur est important. Dans notre cas, ce phénomène a lieu/s'intensifie à partir d'un écart moyen d'humidité absolue supérieur ou égal à 0,9 g/kg



**Les logements avec un écart moyen d'humidité absolue  $\geq$  à ce seuil (en chauffe) se distinguent des autres par :**

- Une médiane des concentrations hebdomadaires du CO<sub>2</sub> plus élevée (906 contre 577 ppm)
- La présence plus fréquente du système de chauffage dans le volume habitable du logement (45% contre 10%)





# Recherche des **facteurs** à l'origine des spécificités de la QAI des BPE

- Augmentation du **risque de condensation de la vapeur d'eau** au sein des parois en période de chauffe

A titre de comparaison, pour l'échantillon de logements de la CNL, le seuil d'écart moyen d'humidité absolue séparant le mieux les logements contaminés ( $ICF > 0$ ) des autres est bien supérieur à celui de notre étude : **3,3 g/kg (CNL) contre 0,9 g/kg (BPE)**

→ Le risque de condensation (et de développement fongique) semble plus élevé dans les logements BPE que dans les logements CNL pour le même écart moyen d'humidité absolue.

# Recherche des **facteurs** à l'origine des spécificités de la QAI des BPE

- Augmentation du **risque de condensation de la vapeur d'eau** au sein des parois en période de chauffe

A titre de comparaison, pour l'échantillon de logements de la CNL, le seuil d'écart moyen d'humidité absolue séparant le mieux les logements contaminés ( $ICF > 0$ ) des autres est bien supérieur à celui de notre étude : **3,3 g/kg (CNL) contre 0,9 g/kg (BPE)**

→ Le risque de condensation (et de développement fongique) semble plus élevé dans les logements BPE que dans les logements CNL pour le même écart moyen d'humidité absolue.

**Réduction du pouvoir tampon hydrique des matériaux ne jouant plus le rôle de régulateur d'humidité ?**

**Saturation en eau des matériaux lors de la phase chantier ?**



# Recherches en cours relatives au développement fongique dans les BPE

Dynamique du développement fongique en phase chantier, risque de réémergence d'une contamination fongique antérieure à la phase d'occupation, solutions de réduction d'excès d'humidité en phase chantier :

- Étude **MYCO-BAT** (BATRESP 2018 : Indiggo, AQC, CSTB, EHESP) : réduire le risque d'apparitions de moisissures sur les chantiers de construction neuve
  - suivi expérimental de 3 opérations, depuis la mise hors d'eau-hors d'air des bâtiments jusqu'à leur phase d'occupation : dynamique de la contamination fongique, risque réémergence, impact phase chantier
  - Études de modélisation pour hiérarchiser les différents facteurs selon leur impact sur l'hygrométrie intérieure des bâtiments.



# Recherches en cours relatives au développement fongique dans les BPE

Dynamique du développement fongique en phase chantier, risque de réémergence d'une contamination fongique antérieure à la phase d'occupation, solutions de réduction d'excès d'humidité en phase chantier :

- Étude **MYCO-BAT** (BATRESP 2018 : Indiggo, AQC, CSTB, EHESP) : réduire le risque d'apparitions de moisissures sur les chantiers de construction neuve
  - suivi expérimental de 3 opérations, depuis la mise hors d'eau-hors d'air des bâtiments jusqu'à leur phase d'occupation : dynamique de la contamination fongique, risque réémergence, impact phase chantier
  - Études de modélisation pour hiérarchiser les différents facteurs selon leur impact sur l'hygrométrie intérieure des bâtiments.
- Etude **MYCO-PACT** (CORTEA 2019 : Indiggo, AQC, CETIAT, CSTB, EHESP) : études de la contribution des transferts hygrothermiques à l'échelle de la paroi sur le développement fongique, et de solutions actives pour réduire ce développement en phase chantier
  - Etude des transferts d'humidité à travers les parois d'une des 3 opérations MYCO-BAT
  - Mise en œuvre de solutions actives de réduction d'humidité en phase chantier (aération, ventilation, déshumidification, chauffage)



# Remerciements

**Financeurs du programme OQAI-BPE** : Ministères en charge du Logement, de la Santé et de l'Ecologie, ADEME

**Opérateurs du dispositif OQAI-BPE** : Air Breizh, Air Effcience, Air Languedoc Roussillon, Air Lorraine, Air Normand, Air Rhône Alpes, Aldes, Allie'Air, ASPA, ATCHYS ventilation, ATMO Auvergne, Atmo Franche Comté, Atmo Poitou-Charentes, Atmo-Picardie, CEREMA Est, CEREMA Centre Est (Dpt Clermont-Ferrand), CEREMA Méditerranée, CEREMA Centre Est (Dpt labo Autun), CEREMA Centre Est (Lyon), CEREMA Centre Est (Bron), CEREMA Nord Picardie, CEREMA Normandie Centre, CEREMA Ouest, CEREMA Sud-Ouest, Certifair, Communauté Agglomération Rouen, INERIS, Lig'air, Medieco, SGS Multilab, Univ. La Rochelle

**Occupants des logements** pour leur participation active à l'étude

## Merci pour votre attention

