

# Qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux



**50<sup>e</sup> journées GP Sup  
Qualité de l'air intérieur**

Corinne Mandin  
9 décembre 2021



**CSTB**  
*le futur en construction*

- Créé en 2001
- Programme de recherche sur les expositions et la santé dans les bâtiments
- Sous la tutelle des Ministères en charge de l'environnement, du logement, de la santé, avec le concours du CSTB (opérateur technique), de l'ADEME et de l'ANSES
- Une équipe d'une quinzaine de personnes au CSTB
- Un réseau d'acteurs scientifiques et opérationnels coordonné par le CSTB

# Missions de l'OQAI

- **Décrire la qualité des environnements intérieurs** en tenant compte de la diversité des situations et des usages
- **Identifier les situations à risques** en mesurant l'exposition des populations à la pollution de l'air dans les lieux de vie
- **Rechercher les paramètres qui influencent la pollution** au regard de la localisation des bâtiments, de la présence des occupants et de leurs activités, des produits de construction et de décoration, de l'ameublement, des systèmes de ventilation et de chauffage, etc.
- **Améliorer la qualité des lieux de vie et favoriser la prévention** en proposant des outils d'aide à la décision, en sensibilisant les professionnels et en formulant des conseils et des recommandations pour les usagers

# Travaux de l'OQAI

## Lieux de vie considérés :

- Logements
- Crèches et lieux d'enseignement
- Bureaux
- Espaces de loisirs
- Structures sociales et médico-sociales
- Bâtiments performants en énergie

## Campagnes nationales :

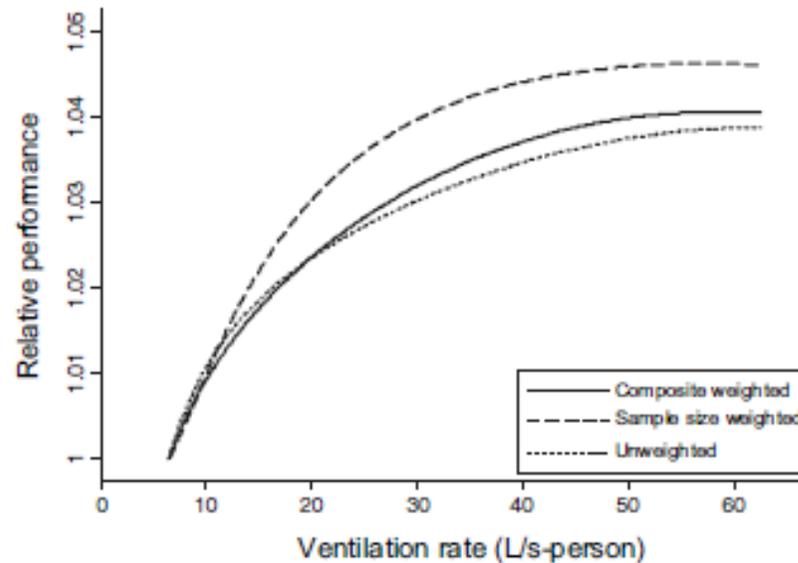
- Etat du parc de **bâtiments**
- Etat de la **pollution** chimique, physique et microbologique et du **confort**
- Connaissance des **occupants** et de leurs activités
- Recherche de **facteurs** influençant la QAI et le confort

## Etudes spécifiques :

- Emissions des produits d'entretien et des fournitures scolaires dans une école
- Pratiques d'aération dans les crèches et les écoles

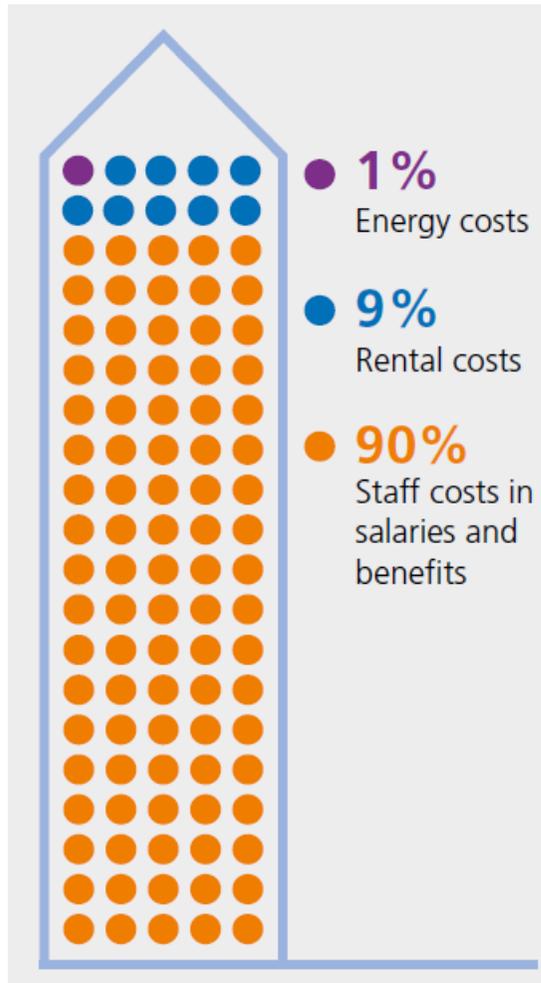
# Dans les bureaux : en lien avec la santé, des enjeux de performance au travail

Performance au travail et taux de ventilation



Seppänen et al., 2006

# Dans les bureaux : de forts enjeux économiques



*Indoor Air 2011; 21: 357–367  
wileyonlinelibrary.com/journal/jina  
Printed in Singapore. All rights reserved*

© 2011 John Wiley & Sons A/S

INDOOR AIR  
doi:10.1111/j.1600-0668.2011.00719.x

## Benefits and costs of improved IEQ in U.S. offices

**Abstract** This study estimates some of the benefits and costs of implementing scenarios that improve indoor environmental quality (IEQ) in the stock of U.S. office buildings. The scenarios include increasing ventilation rates when they are below 10 or 15 l/s per person, adding outdoor air economizers and controls when absent, eliminating winter indoor temperatures  $> 23^{\circ}\text{C}$ , and reducing dampness and mold problems. The estimated benefits of the scenarios analyzed are substantial in magnitude, including increased work performance, reduced Sick Building Syndrome symptoms, reduced absence, and improved thermal comfort for millions of office workers. The combined potential annual economic benefit of a set of nonoverlapping scenarios is approximately \$20 billion. While the quantitative estimates have a high uncertainty, the opportunity for substantial benefits is clear. Some IEQ improvement measures will save energy while improving health or productivity, and implementing these measures should be the highest priority.

**W. J. Fisk<sup>1</sup>, D. Black<sup>1</sup>, G. Brunner<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA, <sup>2</sup>U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA

Key words: Dampness and mold; IEQ improvement; Health; Offices; Temperature; Ventilation.

W. J. Fisk  
Lawrence Berkeley National Laboratory  
1 Cyclotron Road, 90R3058, Berkeley  
CA 94720, USA  
Tel.: (510) 486 5910  
Fax: (510) 486 6658  
e-mail: wjfisk@lbl.gov

World Green Building Council, 2014

# Objectifs de la campagne nationale

- Peu de données relatives à la qualité de l'air intérieur et au confort dans les bâtiments de bureaux en France
  - De nombreux travailleurs dans ces espaces
  - Des sources spécifiques
- **Des impacts sur la santé et des conséquences économiques**
- Faire un premier **état des lieux** de la qualité de l'air intérieur et du confort dans les immeubles de bureaux en France
- Elaborer des **recommandations** pour l'amélioration de la qualité de l'air intérieur et du confort (si nécessaire)

**Focus sur les immeubles de bureaux de plus de 50 personnes**

# Constitution de l'échantillon

- Pas de base exhaustive des immeubles de bureaux en France
- Utilisation de la **base de données de HBS Research** qui recense 2,1 millions d'immeubles en 2012
  - ↳ Identification des immeubles **de bureaux** :
    - dans lesquels le cumul des effectifs déclarés > 50
    - hébergeant des entreprises ayant un code NAF correspondant à une activité de « Bureaux »
    - superficie minimale de 650 m<sup>2</sup>
- **13 709 immeubles de plus de 50 personnes en métropole**
- **Tirage au sort aléatoire** (représentativité des situations) stratifié sur la zone climatique, au prorata du nombre d'immeubles de bureaux dans chaque zone pour atteindre 300

**Inclusion de volontaires pour accélérer le recrutement**

# L'enquête en résumé

- **1 journée** par immeuble
- **3 opérateurs** se répartissant les rôles
- **3 catégories de données** :
  - relatives aux occupants : confort et santé perçus
  - descriptives du bâtiment : environnement, systèmes, entretien, performances énergétiques, etc.
  - mesures de QAI (aldéhydes, COV et particules ultrafines) et des paramètres d'ambiance (température, humidité relative et CO<sub>2</sub>)

# Choix des COV et aldéhydes d'intérêt

- **Hierarchisation des polluants de l'air intérieur en 2010 :**  
1026 substances chimiques
- COV et aldéhydes classés en trois catégories :
  - composés dont la **mesure apparaît incontournable** : benzène, toluène, tétrachloroéthylène, formaldéhyde et acétaldéhyde
  - autres composés d'intérêt (i.e. **fréquemment rencontrés dans les logements**) : hexanal, benzaldéhyde, éthylbenzène, xylènes (m/p + o), styrène, naphthalène, 2-butoxyéthanol et phénol
  - composés **spécifiques de certaines sources**, intéressants à rechercher :
    - **matériaux** : MIBK (4-méthyl-2-pentanone), 2-éthyl-1-hexanol
    - **produits d'entretien, parfums** : limonène,  $\alpha$ -pinène

**Soit une liste de 18 COV et aldéhydes d'intérêt retenus**

# Volet mesures QAI et confort (1/2)

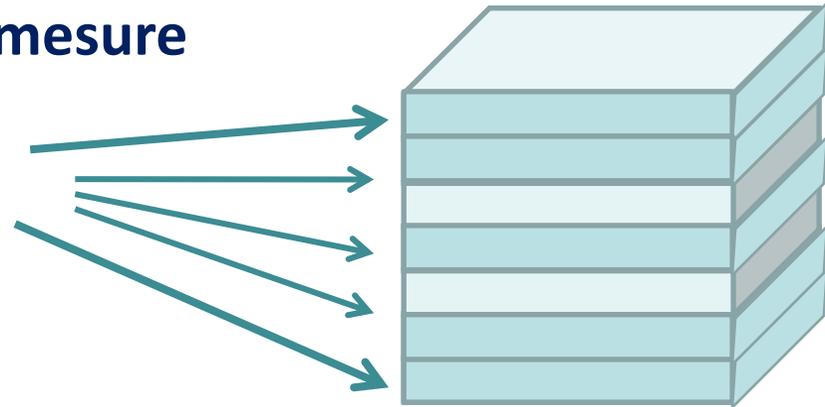
**Représentativité**  
**Faisabilité**



**5 points intérieurs**  
**+ 1 extérieur**

## Détermination des 5 points de mesure par les enquêteurs

- Répartition spatiale
- Selon différentes orientations
- Bureaux « représentatifs » des espaces de travail : fermés ou ouverts
- Bureaux occupés
- Occupant(s) d'accord pour participer

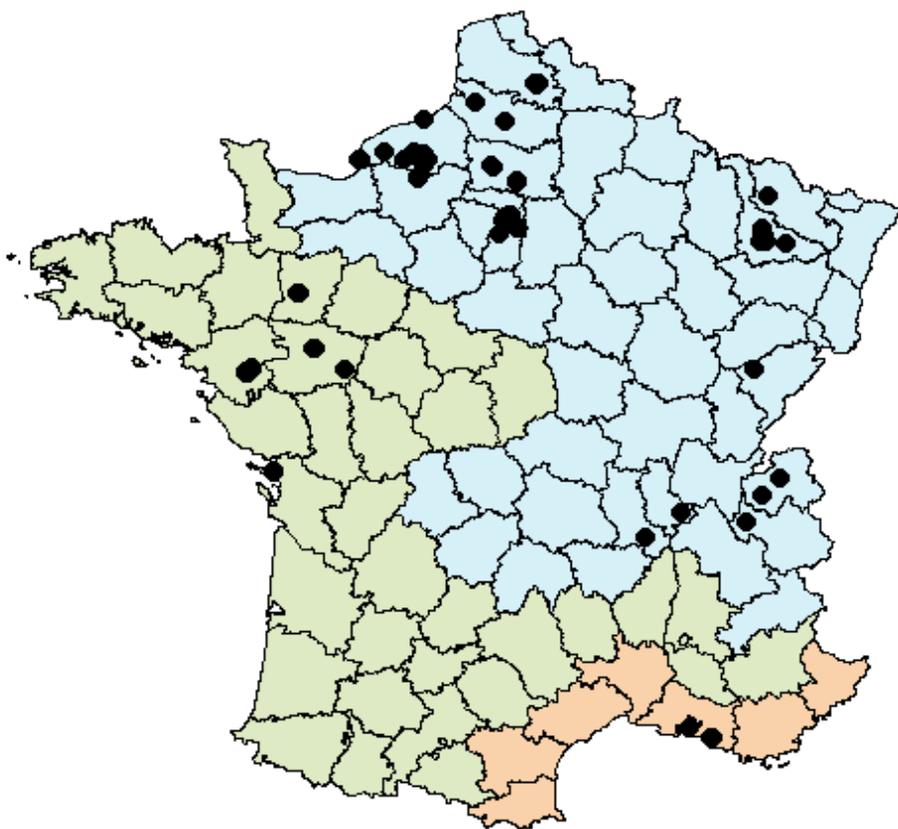


- Pendant **6 heures** :
  - mesure en continu (10 min) de la **température**, de l'**humidité relative** et du **CO<sub>2</sub>**
  - mesure en continu (1 min) des **particules ultrafines** ( $\varnothing$  10 nm-1  $\mu$ m), 1h/bureau
  - prélèvement actif des **COV** sur tubes Tenax TA 60/80 au moyen d'une pompe Pocket au débit de 20 mL/min
    - ↳ analyse en laboratoire
  - prélèvement actif des **aldéhydes** sur cartouches SKC au moyen d'une pompe Gil'Air au débit de 300 mL/min
    - ↳ analyse en laboratoire



# Localisation des 129 immeubles enquêtés

- Instrumentés entre juin 2013 et novembre 2017



- 85 tirés au sort (66 %)
- 44 volontaires (34 %)

Soit 645 espaces de travail

■ H1 ■ H2 ■ H3

# Quelques caractéristiques de ces bâtiments

## Ventilation

- **82 % sont équipés d'une VMC**
- Parmi ceux-ci : **74 % double flux**  
et 26 % simple flux

## Climatisation

- Dans **73 %** des immeubles

## Type de bureau

- **35 %** des espaces de bureaux sont des bureaux paysagés

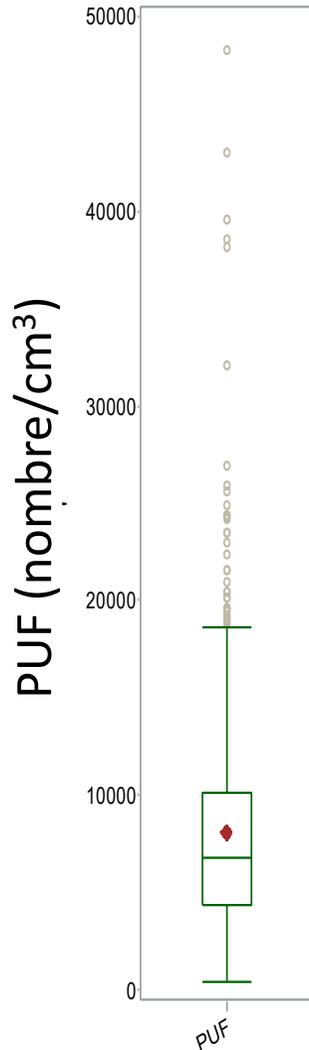
## Imprimante et photocopieuse

- **55 %** des espaces de bureaux avec **au moins une** imprimante ou une photocopieuse

## Possibilité d'ouverture des fenêtres

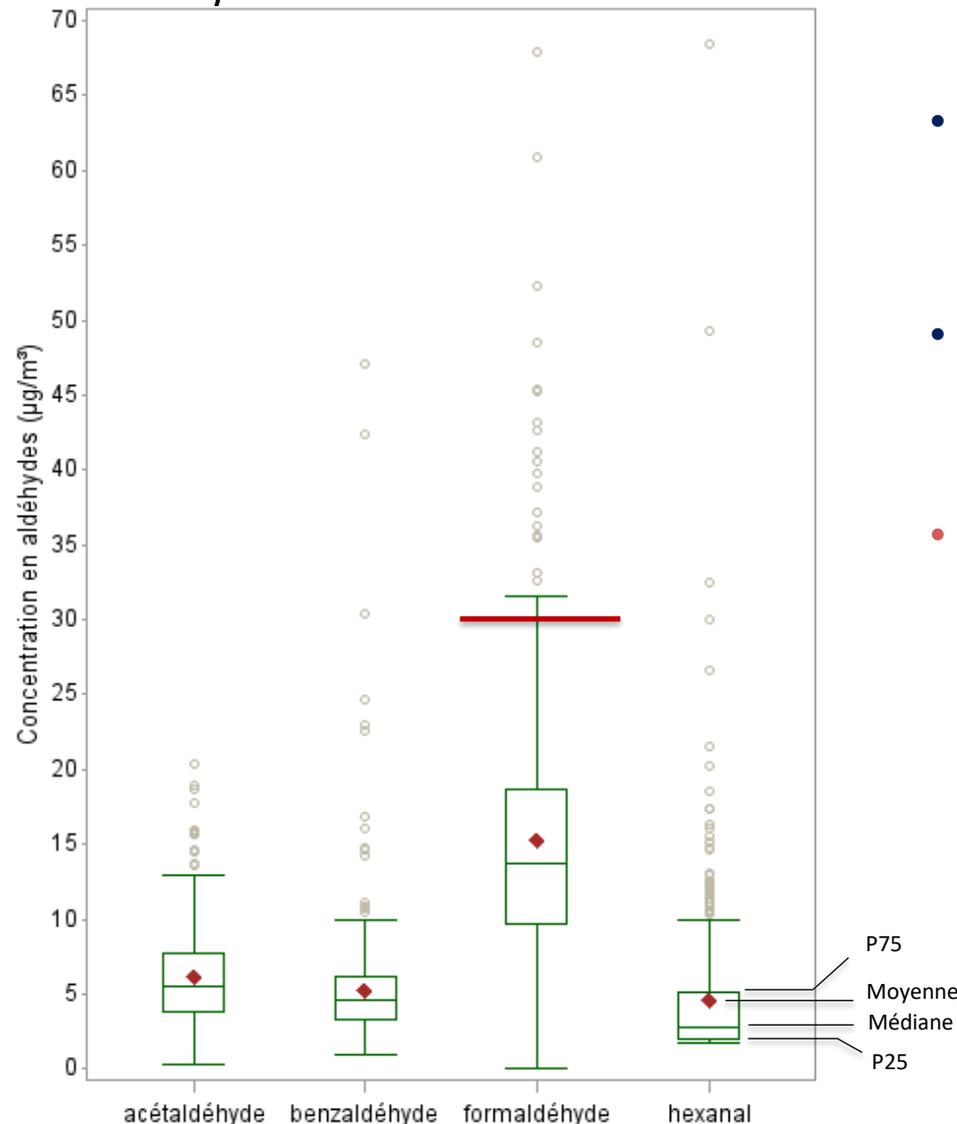
- Il est **impossible d'ouvrir les fenêtres dans 15 %** des espaces de bureaux

# Concentrations en particules ultrafines



- Concentration médiane (n = 628) : **6800 particules/cm<sup>3</sup>**
- **Concentrations associées à :**
  - des périodes de construction plutôt anciennes
  - l'absence de VMC ou une ventilation mécanique simple flux
  - la saison estivale
  - la présence d'au moins une imprimante ou photocopieuse dans le bureau

## Concentrations en aldéhydes



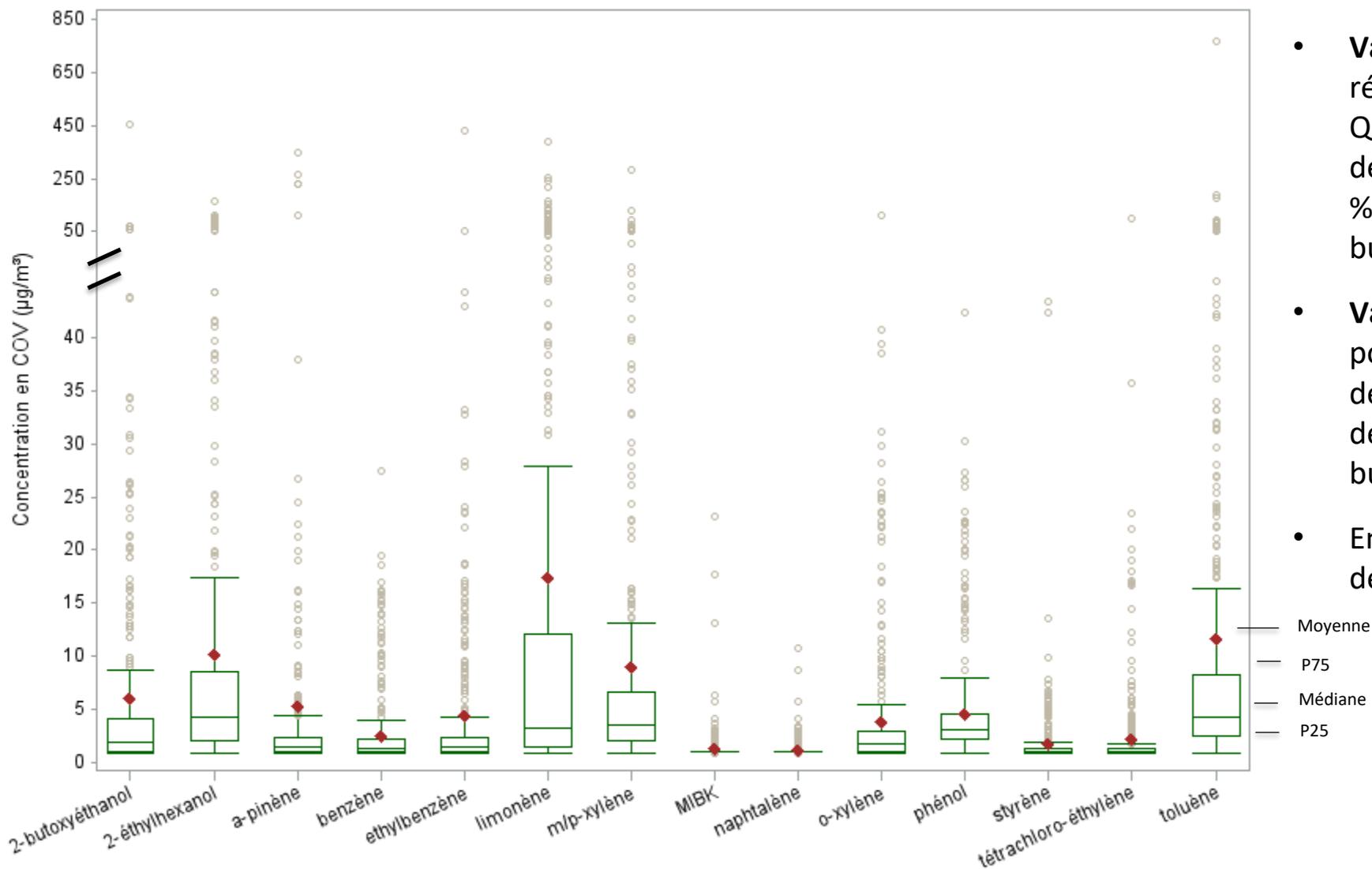
- **VGAI sanitaire de l'acétaldéhyde** (160 µg/m³) : jamais dépassée

- **VGAI d'alerte du formaldéhyde** (100 µg/m³) : jamais dépassée

- **VGAI réglementaire du formaldéhyde** (30 µg/m³) : dépassée dans 5,5 % des bureaux

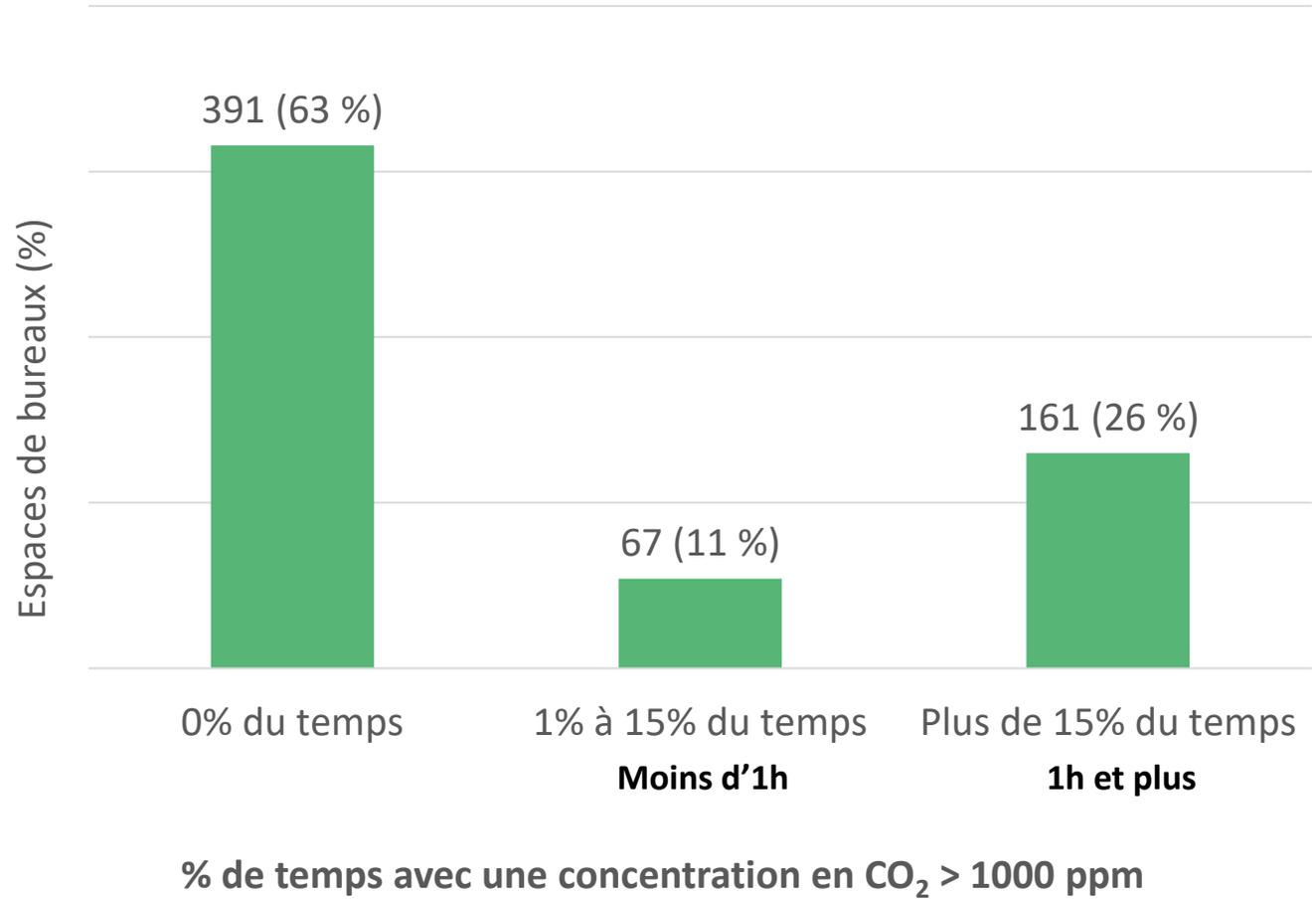
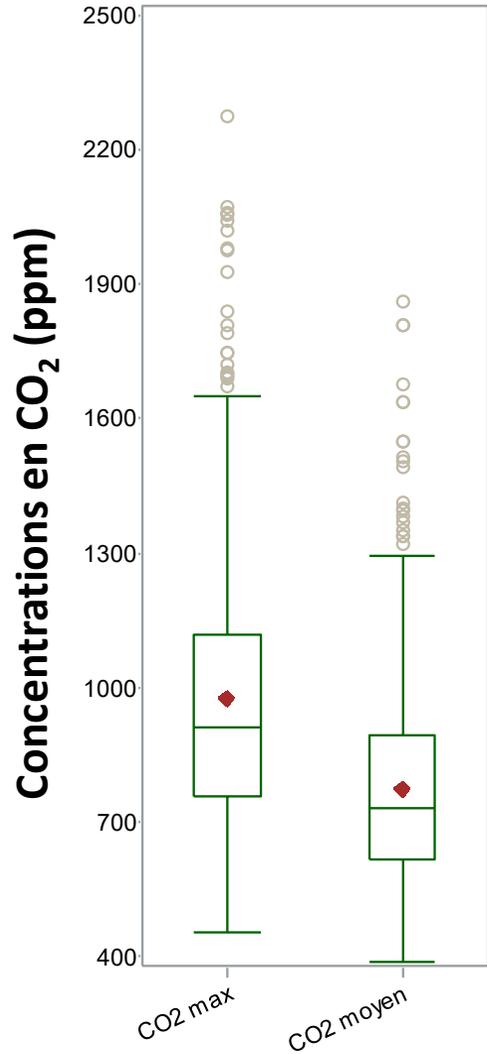
21 % dans les logements

# Concentrations en COV



- **Valeur guide** réglementaire de QAI en **benzène** dépassée dans 26 % des espaces de bureaux
- **Valeur d'alerte** pour le **benzène** dépassée dans 2 % des espaces de bureaux
- En zone urbaine dense

# Concentrations en CO<sub>2</sub>



## Trois profils de pollution intérieure

- Espaces de bureaux peu pollués : 386 (69 %)
- Espaces de bureaux multipollués : 27 (5%)
  - Mesures en hiver ; proximité d'une route à fort trafic ; nettoyage plus fréquent
- Espaces de bureaux avec des concentrations plus élevées en aldéhydes : 144 (26 %)
  - Rénovés récemment ; sans VMC ; nettoyage plus fréquent

# Confort et santé perçus

**5547 répondants**

## Sexe

60 % de femmes

## Emploi

- Chef d'entreprise et directeur : 3 %
- Cadre administratif et commercial : 21 %
- Ingénieur et cadre technique : 20 %
- Employé administratif : 26 %
- Profession intermédiaire : 22 %
- Autre ou manquant : 9 %

## Age

- Moins de 30 ans : 14 %
- 30 - 40 ans : 26 %
- 40 - 50 ans : 24 %
- 50 - 60 ans : 24 %
- Plus de 60 ans : 4 %
- Manquant : 8 %

# Confort

Comment décrivez-vous les conditions de travail typiques dans votre bureau en **hiver**?

*Veillez cocher une case pour chaque échelle.*

## Température en hiver

Confortable  1  2  3  4  5  6  7 Inconfortable

Trop chaud  1  2  3  4  5  6  7 Trop froid

Stable  1  2  3  4  5  6  7 Varie pendant la journée

## Mouvements d'air en hiver

Trop stagnant  1  2  3  4  5  6  7 Courants d'air

## Qualité de l'air en hiver

Trop sec  1  2  3  4  5  6  7 Trop humide

Renouvelé  1  2  3  4  5  6  7 Confiné

Sans odeur  1  2  3  4  5  6  7 Odeurs très fortes

## Autres bruits (à part les installations) provenant du bâtiment en hiver

Satisfaisant  1  2  3  4  5  6  7 Non satisfaisant

## Bruits hivernaux, en général

Satisfaisant  1  2  3  4  5  6  7 Non satisfaisant

## Vibrations, tremblements dans le bâtiment

Satisfaisant  1  2  3  4  5  6  7 Non satisfaisant

## Confort général en hiver

Satisfaisant  1  2  3  4  5  6  7 Non satisfaisant

Veillez indiquer de combien vous estimez que votre productivité est influencée par les conditions de travail en hiver.

## Productivité en hiver

Productivité   $\geq +30\%$    $+20\%$    $+10\%$   0   $-10\%$    $-20\%$    $\leq -30\%$  Productivité

augmentée de réduite de

Comment décrivez-vous les conditions de travail

# Bien-être personnel

Ne notez la fréquence des symptômes que s'ils s'atténuent en dehors du bureau.

Durant les derniers **3 mois**, avez-vous eu plus de deux épisodes de:

## Sécheresse des yeux

Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", vous sentiez-vous mieux en dehors du bureau? Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", à quelle fréquence ?

Chaque jour au bureau

Plusieurs jours par semaine

Moins souvent

Cochez une case s.v.p.

Durant les derniers **3 mois**, avez-vous eu plus de deux épisodes de:

## Yeux larmoyants ou irrités

Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", vous sentiez-vous mieux en dehors du bureau? Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", à quelle fréquence ?

Chaque jour au bureau

Plusieurs jours par semaine

Moins souvent

Cochez une case s.v.p.

Durant les derniers **3 mois**, avez-vous eu plus de deux épisodes de:

## Nez bouché

Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", vous sentiez-vous mieux en dehors du bureau? Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", à quelle fréquence ?

Chaque jour au bureau

Plusieurs jours par semaine

Moins souvent

Cochez une case s.v.p.

# Bien-être personnel

Ne notez la fréquence des symptômes que s'ils s'atténuent en dehors du bureau.

Durant les derniers 3 mois, avez-vous eu plus de deux épisodes de:

## Sécheresse des yeux

Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", vous sentiez-vous mieux en dehors du bureau? Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", à quelle fréquence ?

Cochez une case s.v.p.

Chaque jour au bureau

Plusieurs jours par semaine

Moins souvent

Durant les derniers 3 mois, avez-vous eu plus de deux épisodes de:

## Yeux larmoyants ou irrités

Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", vous sentiez-vous mieux en dehors du bureau? Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", à quelle fréquence ?

Cochez une case s.v.p.

Chaque jour au bureau

Plusieurs jours par semaine

Moins souvent



**Symptôme  
« attribuable »**

Durant les derniers 3 mois, avez-vous eu plus de deux épisodes de:

## Nez bouché

Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", vous sentiez-vous mieux en dehors du bureau? Cochez une case s.v.p.

OUI  NON

Si "Oui", à quelle fréquence ?

Cochez une case s.v.p.

Chaque jour au bureau

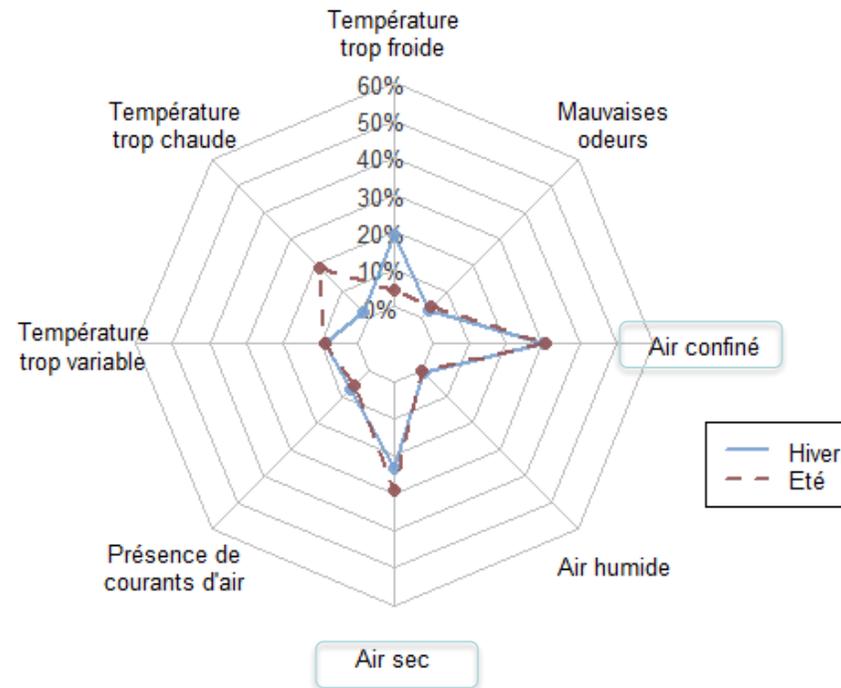
Plusieurs jours par semaine

Moins souvent

# Confort perçu

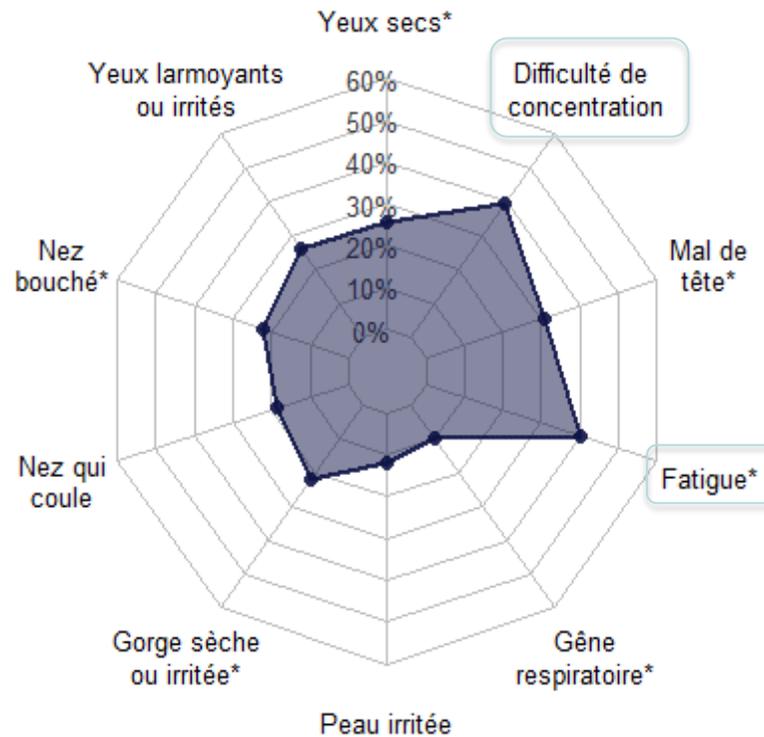
Le bruit est le principal motif d'insatisfaction (entre 48 % et 51 % selon la saison).

**5547 occupants**



# Santé perçue

3387 occupants



# Conclusion

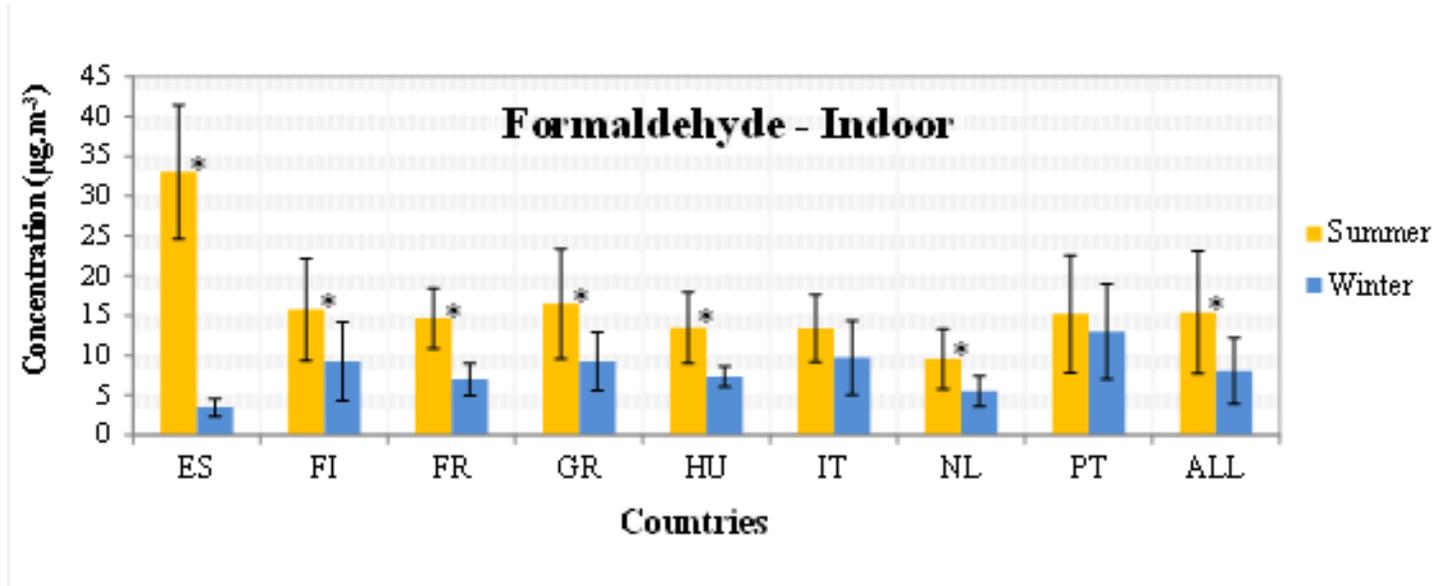
- **Premier état** de la qualité de l'air intérieur et du confort perçu dans les bureaux en France
- Les concentrations à l'intérieur des bâtiments sont **faibles**, mais présence de tous les composés recherchés et dépassements de la VGAI et de la valeur d'alerte pour le **benzène**
- Les **facteurs influençant la qualité de l'air intérieur sont divers** : l'environnement extérieur, les sources intérieures (imprimante, produits de nettoyage), le type de ventilation et la saison
- Le **bruit** lié aux autres occupants est le principal motif d'insatisfaction vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur
- Les symptômes les plus fréquents rapportés par les occupants et attribués au bâtiment sont **la fatigue et la difficulté de concentration**

**CSTB**  
*le futur en construction*

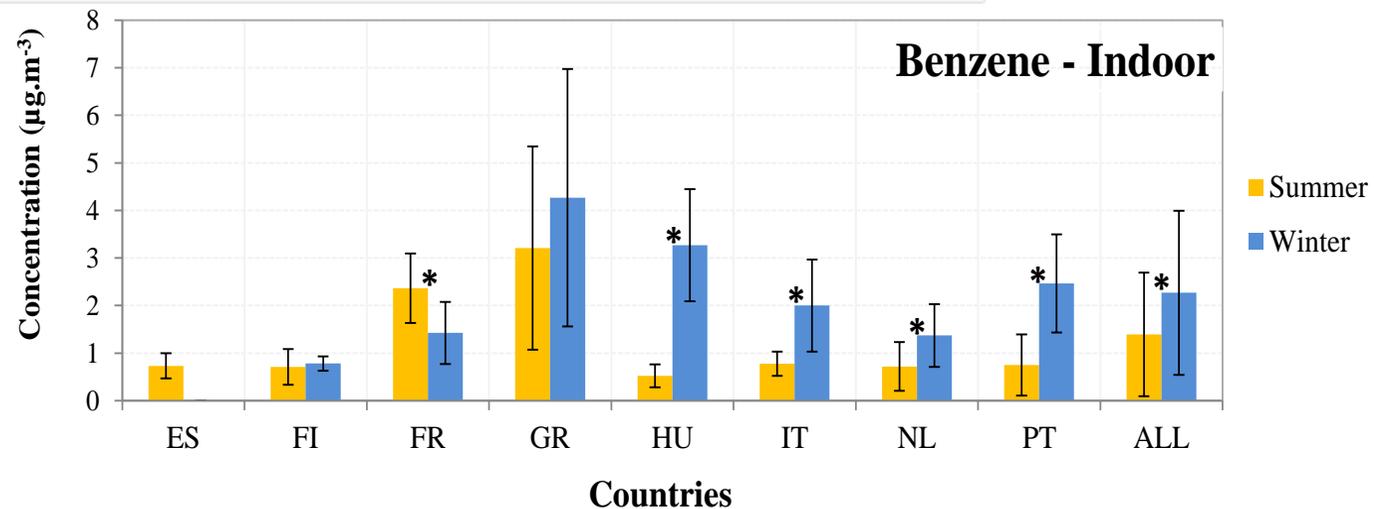
# Projet européen OFFICAIR (2011-2014)



# Variabilités saisonnières (1/3)

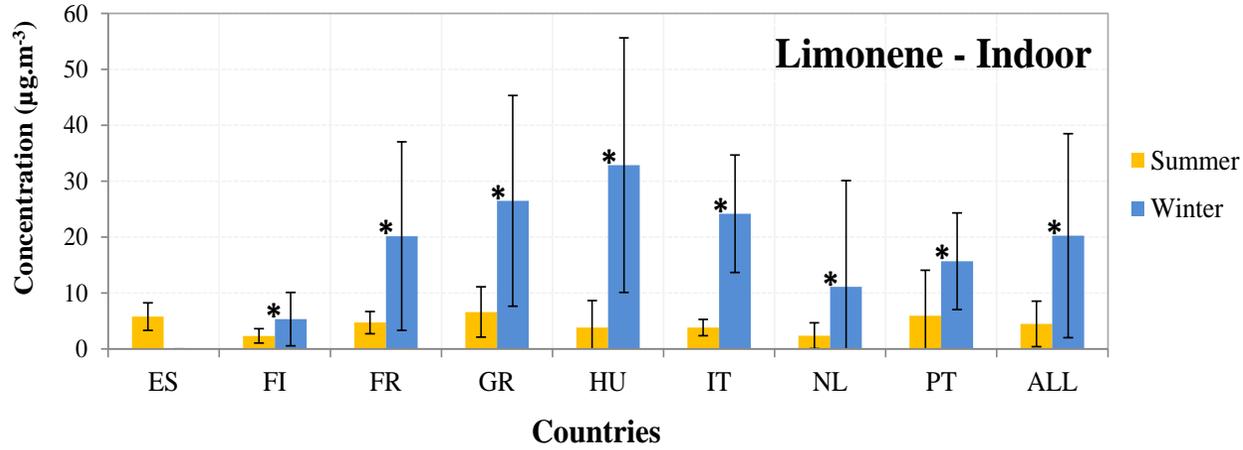


$p < 0.05$

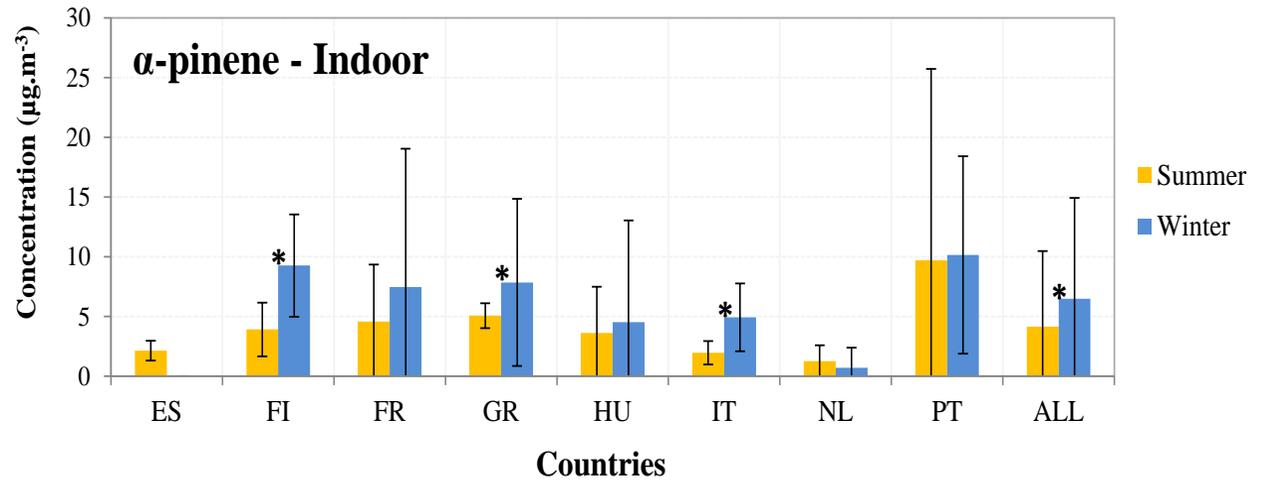


$p < 0.05$

# Variabilités saisonnières (2/3)

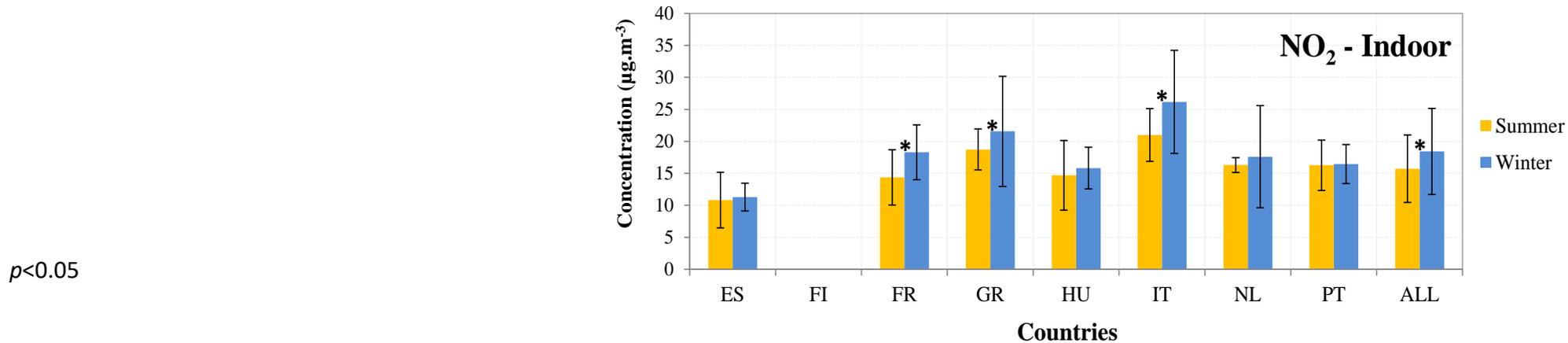
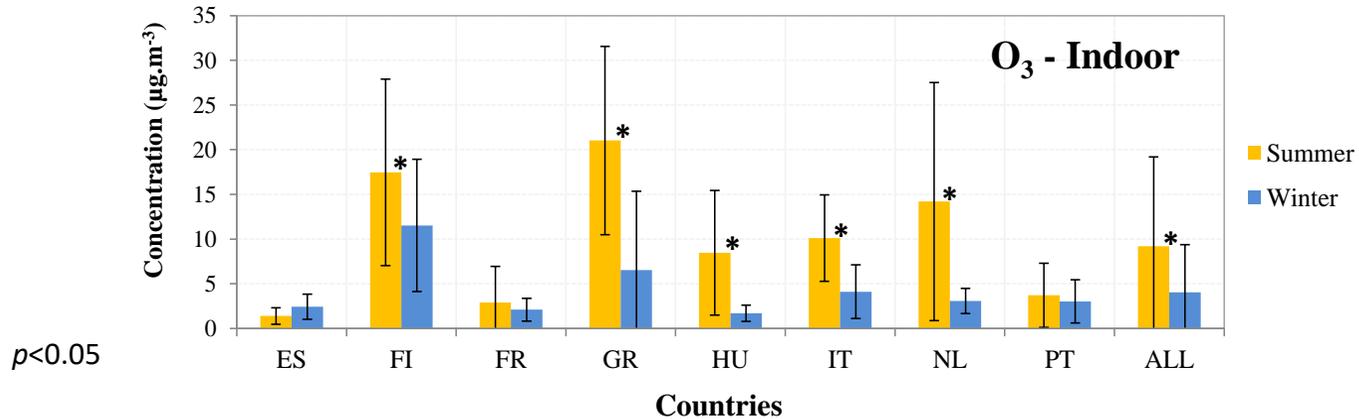


$p < 0.05$



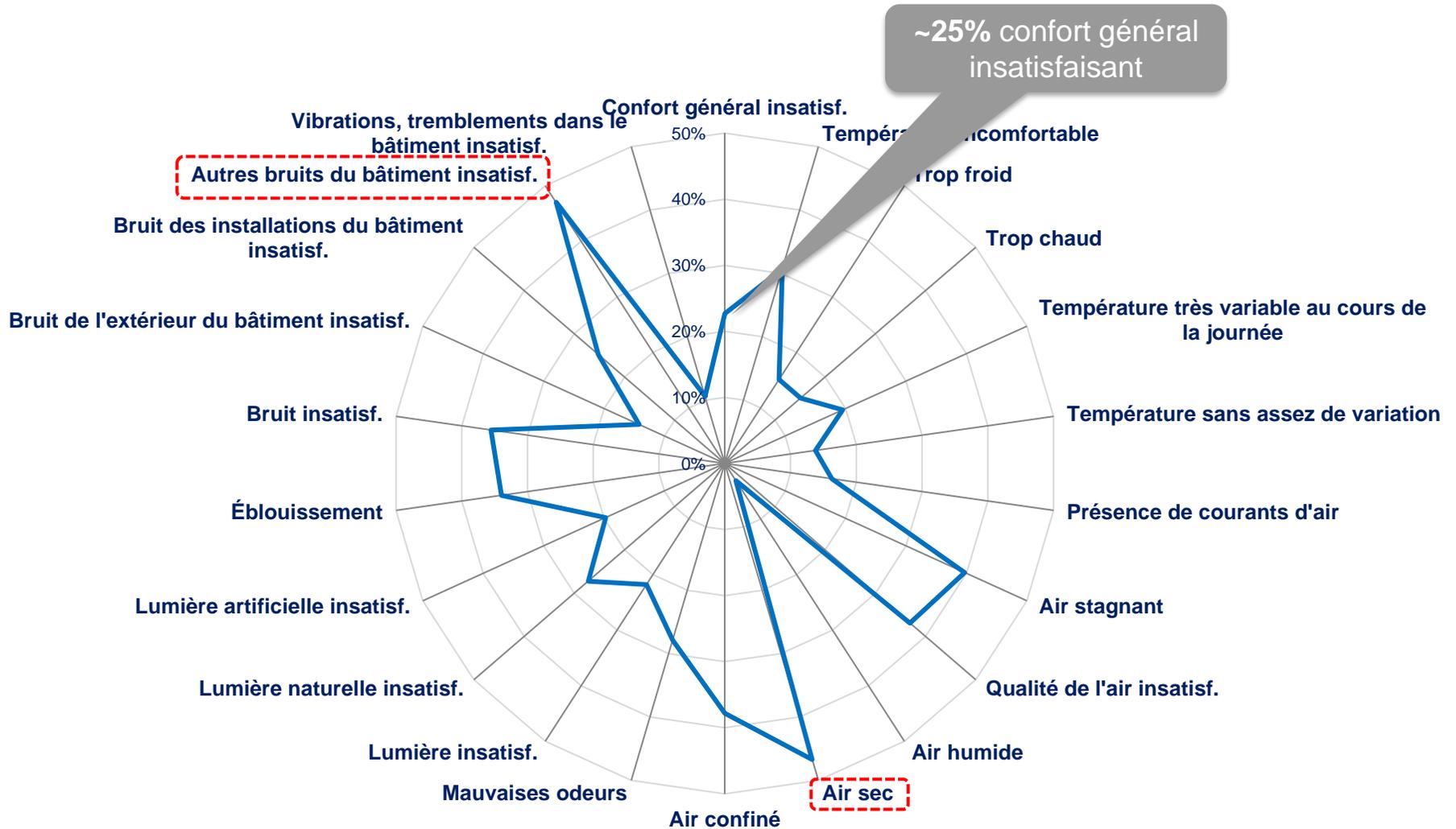
$p < 0.05$

# Variabilités saisonnières (3/3)



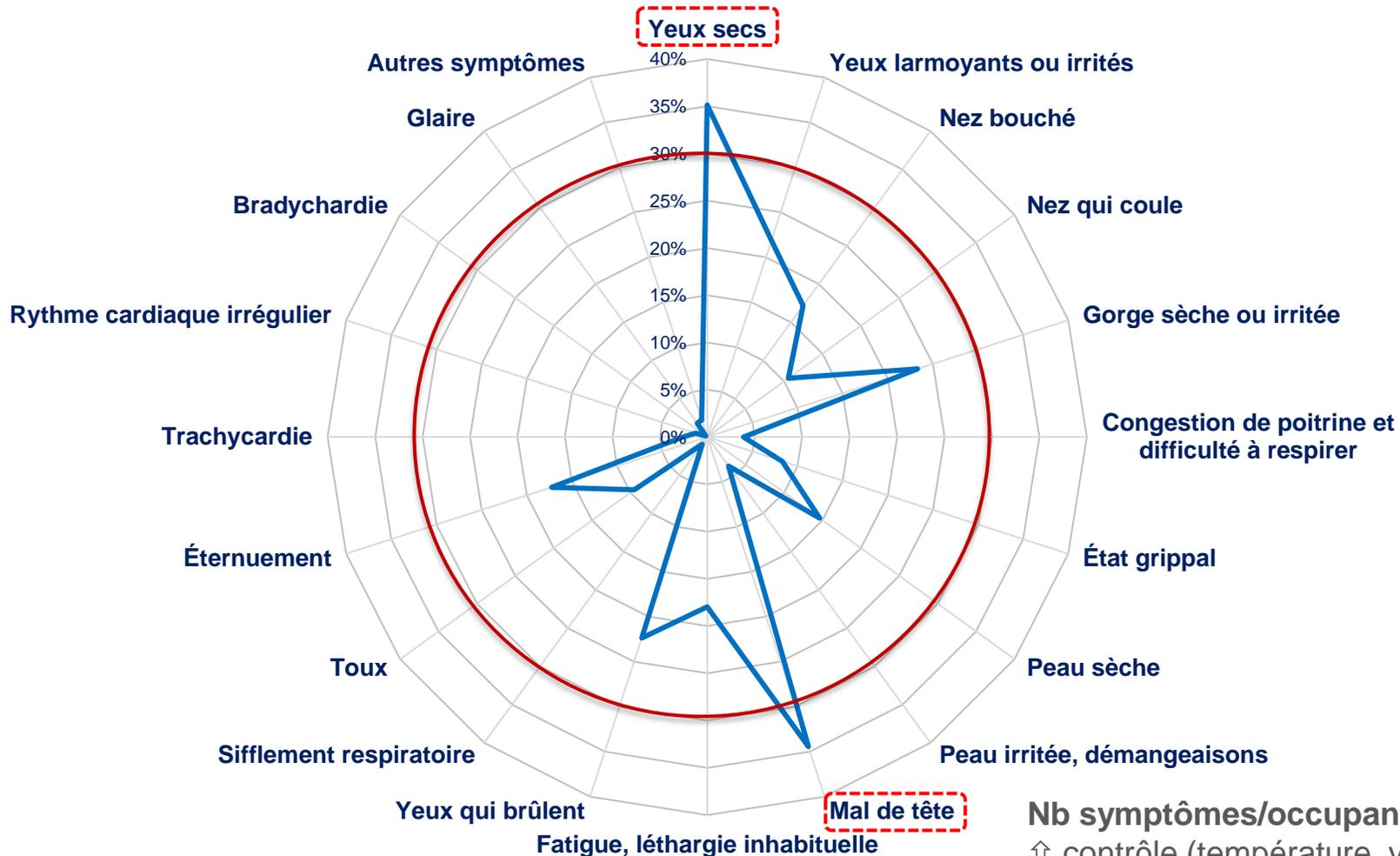
**Une semaine de mesure ne suffit pas pour approcher une moyenne annuelle**

# Perception de la QAI au cours des 4 dernières semaines (% insatisfaits)



Bluyssen et al, Indoor Air 2016

# Pourcentages de symptômes associés au bâtiment par les occupants



**Nb symptômes/occupant** ↓ si  
↑ contrôle (température, ventilation, ensoleillement, éclairage, bruit) dans environnement de travail

# Lien avec la performance

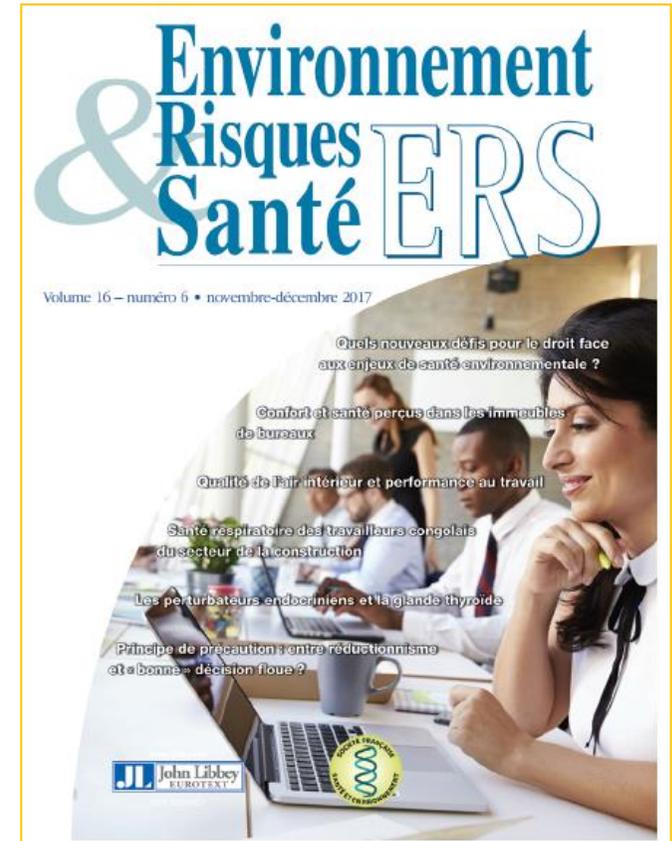
- **Performance autoévaluée**

**90** Pouvez-vous estimer de combien votre productivité est influencée en raison des conditions environnementales dans le bâtiment ?

	Augmentée de 30 % ou plus	+20%	+10%	Stable	-10%	-20%	Diminuée de 30 % ou moins
A votre poste de travail	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

- **Test de réaction** de Deary-Lievald + test de **mémoire** (20 mots)
- Questions sur l'état de **santé** et l'**environnement psycho-social**

- 93 participants en été (2012) et 98 en hiver (2012-2013)
- Les concentrations intérieures en **xylènes** et en **ozone** sont apparues comme pouvant influencer le temps de réaction en période estivale
- Les **variables individuelles** (sexe, âge, prise d'un traitement médical, perception de l'environnement intérieur) sont les principaux déterminants



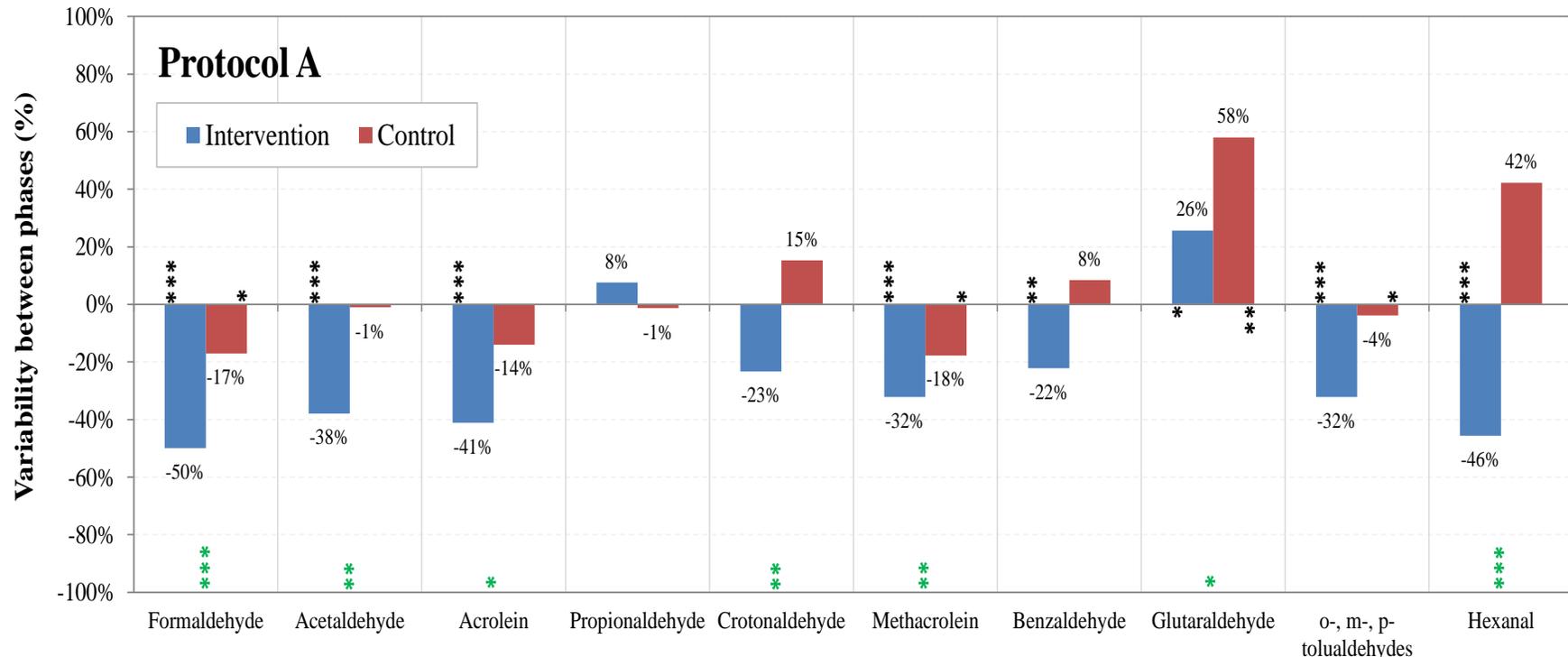
# Ce qui influence le confort, donc la performance

- **Localisation** : éloigné de la pollution industrielle et routière
- **Conception du bureau** : maximum 10 personnes par pièce, imprimantes et photocopieurs dans pièces séparées
- **Equipement** : récupérateur de chaleur
- **Contrôle** : garantir le contrôle personnel de la température, l'éclairage, la ventilation, par exemple avec thermostats réglables et fenêtres ouvrables
- **Gestion** : gestionnaire proactif et bien informé, mettant à disposition une interface permettant de recueillir les plaintes

# Etude d'intervention : changement du produit de nettoyage du sol (1/2)

- **Objectif** : étudier les effets sur la qualité de l'air, le confort et la santé, du remplacement du produit de nettoyage des sols par un produit moins émissif en COV et sans parfum
- **En quelques mots** :
  - 2 espaces de l'immeuble étudiés : 1 avec changement du produit de nettoyage au sol (fourni par le CSTB), l'autre sans changement (produit habituel dont les émissions seront testées en chambre d'essai d'émission)
  - 1 semaine de mesure AVANT, puis 4 semaines d'utilisation du produit alternatif (1 espace), puis 1 semaine de mesure APRES (pas de « grand ménage » entre temps, nettoyage du mobilier à l'eau dans l'espace avec produit alternatif)

# Etude d'intervention : changement du produit de nettoyage du sol (2/2)



\*: p-value entre 0.010 et 0.050; \*\*: p-value entre 0.001 et 0.010; \*\*\*: p-value < 0.001

Pour **tous les aldéhydes (sauf 2)**, les concentrations étaient **significativement inférieures après le changement de produit dans la pièce d'intervention (en bleu) par rapport à avant (en rouge)**. Cette différence n'était **pas observée dans la pièce contrôle**.

**Merci de votre attention !**

**Pour plus d'informations :**

**[www.oqai.fr](http://www.oqai.fr)**

**[corinne.mandin@cstb.fr](mailto:corinne.mandin@cstb.fr)**

